

# Aktuelle Versorgungsstrategie der Calcaneusfrakturen

■ Stefan Rammelt, Johann Marian Gavlik, Sven Barthel, Rene Grass, Hans Zwipp

## Zusammenfassung

Das Fersenbein nimmt eine Sonderstellung unter den Fußknochen ein. Durch die spongiöse Binnenstruktur und die Beteiligung an vier Gelenkflächen entstehen am Calcaneus in drei Vierteln der Fälle Frakturen mit Gelenkbeteiligung, in 60% fünf Hauptfragmente, häufig mit Stauchungs- und Trümmerzonen. Die herausragende Funktion des Fersenbeines als hinterer Abschnitt des Fußlängsgewölbes und kräftiger Pfeiler der lateralen Fußsäule wird bei jeglicher Dislokation empfindlich gestört. Die unter hoher Belastung stehende posteriore Gelenkfacette, welche für die Beweglichkeit im Rückfuß und damit für den Abrollvorgang entscheidend ist, wird selbst bei geringsten Verwerfungen dauerhaft geschädigt. Das Ziel der Versorgung von Calcaneusfrakturen muss daher die exakte Wiederherstellung der äußeren Form und die subtile Gelenkrekonstruktion sein, was sich in den meisten Fällen aufgrund des Ver-

letzungsmaßes nur mit einer offenen Reposition und übungstabiler, nicht gelenkübergreifender Plattenosteosynthese erreichen lässt. Die prekäre Weichteilbedeckung macht eine sorgsame Präparation und exakte Planung des Operationszeitpunktes obligat. Bei Beachtung dieser Punkte liegt die Rate guter und sehr guter Behandlungsergebnisse zwischen 65 und 80%. Somit hat das operative Vorgehen mit anatomischer Rekonstruktion und frühfunktioneller Übungsbehandlung zu einer deutlichen Verbesserung der Prognose dieser schweren Verletzungen geführt. Neuere Tendenzen, wie die arthroskopische Gelenkkontrolle in Verbindung mit offener oder perkutaner Reposition, die frühe Lappendeckung bei offenen Frakturen, der Einsatz winkelstabiler Implantate bei zunehmendem Verzicht auf eine autologe Spongiosaplastik und die Arthrolyse im Rahmen der Implantatentfernung sollten perspektivisch eine weitere Verbesserung

ren lange Zeit das therapeutische Regime [3]. Erst in den 80-er Jahren wurde von einer zunehmenden Anzahl von Autoren eine primär übungstabile, nicht gelenkübergreifende Osteosynthese favorisiert, wobei erst durch dem routinemäßigen Einsatz des CT eine exakte Frakturanalyse und präoperative Planung ermöglicht wurde [2, 6, 18, 23].

Die Häufigkeit von Calcaneusfrakturen wird in der Literatur mit 1–2% aller Frakturen angegeben [24], wobei sie mit etwa 60% die häufigsten Frakturen der Fußwurzel darstellen. Sie gehen in der Mehrzahl mit einer erheblichen Verkürzung, Verbreiterung und einem Achsenknick einher, was die Statik und Dynamik des Fußes im Sinne eines posttraumatischen Knick-Plattfußes erheblich beeinträchtigt. Zudem können bereits kleine Gelenkverwerfungen von 1–2 mm zu schmerzhaften, teilweise invalidisierenden subtalaren Arthrosen führen [16]. Je nach Ausmaß der Deformität resultieren weitere Probleme wie eine Irritation der Peronealsehnen oder das Anstoßen der Fersenbeinwand an die Spitze der Außenknöchels (Abutment) [11, 24]. Daraus ergibt sich die unbedingte Forderung nach exakter Verletzungsanalyse und Indikationsstellung zur anatomischen Reposition, um schwere Folgeschäden zu vermeiden.

## Einleitung

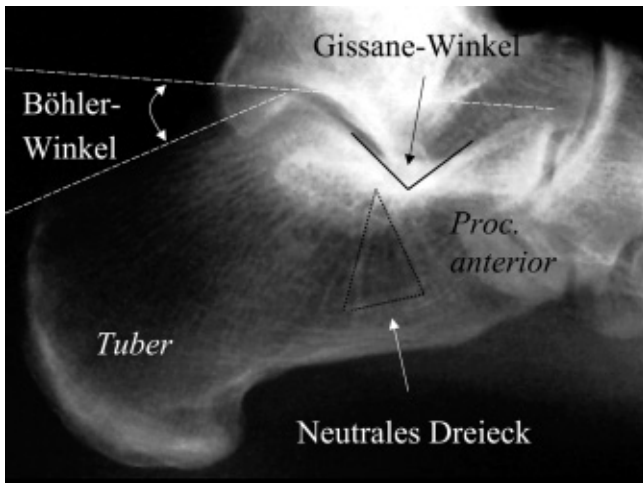
Die komplizierte spongiöse Architektur und spärliche Weichteilbedeckung des Fersenbeines macht die operative Versorgung intraartikulärer Calcaneusfrakturen zu einer der größten Herausforderungen in der Unfallchirurgie. Dies spiegelt sich in einer wechselvollen Geschichte mit zahlreichen Änderungen im generellen Therapiekonzept wider. Bereits im 19. Jahrhundert haben einige Chirurgen noch ohne die Möglichkeit der Röntgendiagnostik einen Traktionsapparat einge-

setzt und mit der offenen Einrichtung von Fersenbeinfrakturen begonnen [24]. Goff beschrieb 1936 in einer Übersichtsarbeit bereits 41 verschiedene offene und halb-offene Operationsverfahren, welche von 1720 bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts propagiert wurden [10].

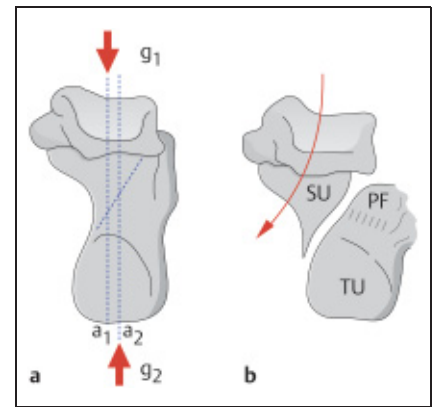
Obgleich bereits Ende der 20er Jahre von den Pionieren der operativen Fersenbeinbruchbehandlung wie Leriche die primäre Schraubenosteosynthese, von Lenormant und Palmer die essentielle Wiederaufrichtung und laterale Unterfütterung der subtalaren Gelenkfläche empfohlen wurde, dominierten aufgrund der zahlreichen Infektverläufe und wenig zufriedenstellender funktioneller Ergebnisse konservative und semi-operative Verfah-

## Anatomie

Das Fersenbein (griech. Calx, lat. Calcaneus, Os calcis) ist der größte Fußwurzelknochen und bildet den Abschluss der lateralen Fußsäule. Als hinterer Abschnitt des Fußlängsgewölbes wirkt er als kräftiger Hebelarm an dem mit der Achillessehne die kräftigste Sehne des Körpers ansetzt. Daraus ergibt sich eine wesentliche Bedeutung für die Statik und Dynamik des gesamten Fußes, welche bei dislozierten Fersenbeinbrüchen empfindlich gestört wird. Das Fersenbein leitet die axial einwirkenden Kräfte vom Sprungbein auf das vordere und hintere



**Abb.1** Anatomie des Fersenbeines. Der Verlauf der Spongiosabälkchen (Trabekulation) gibt die Richtung der Krafteinleitung vom Talus auf den Calcaneus wieder.



**Abb.2** Mechanismus der Entstehung von Calcaneusfrakturen durch axiale Gewalteinwirkung. Die typische Abscherung des sustentaculumtragenden Hauptfragmentes (SU) gegen die Tuberositas (TU) entsteht durch die gegeneinander versetzten Vertikalachsen von Talus (a1) und Calcaneus (a2).

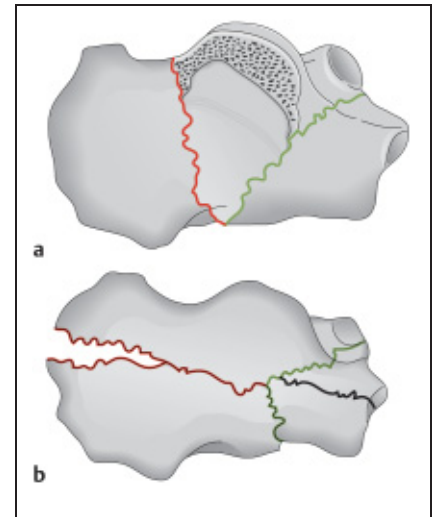
Fußlängsgewölbe weiter, woraus sich die typische Spongiosastruktur mit fächerförmig auslaufenden Lastträgern, den Trabekeln, ableitet. Dadurch entsteht unterhalb des Fersenbeinhalses eine wenig belastete Zone, das sogenannte neutrale Dreieck, mit nur spärlicher Trabekelstruktur (**Abb.1**). Die Schale aus kortikalem Knochen ist ebenfalls von unregelmäßiger Dicke, eine Schwachstelle stellt hier die seitliche Wand des Fersenbeines dar. Die kräftigste Spongiosa findet sich in Gebieten höherer Lastaufnahme, also unterhalb der Gelenkfläche zum Talus, die als „Thalamus calcanei“ bezeichnet wird, im Fersenbeinhöcker (Tuber calcanei), am Sustentaculum tali sowie im Bereich des Gissane'schen Winkels (**Abb.1**). Das Sustentaculum tali bildet einen biomechanisch stabilen Fortsatz, der das Sprunggelenk medialseitig abstützt und über kräftige Bänder mit diesem verbunden ist. Der ebenfalls kräftige Processus anterior calcanei stellt mit seiner Gelenkfläche zum Würfelbein (Calcaneocuboid-Gelenk), und somit zum Mittelfuß her. Die Trochlea peronealis auf der ansonsten glatten und dünnwandigen Außenseite des Calcaneus bildet das biomechanisch wichtige Gleitlager für die Peronealsehnen. Drei der vier Gelenkflächen des Fersenbeines führen zum Talus, eine zum Cuboid. Die größte und funktionell entscheidende posteriore Gelenkfacette bildet mit der korrespondierenden Gelenkfläche des Talus das hintere untere Sprunggelenk. Die mediale und anteriore Gelenkfacette, welche in 20% der Fälle verschmolzen sind, liegen im vorderen Anteil des unteren Sprunggelenkes (Art. talocalcaneonavicular).

Die komplizierte anatomische Form des Fersenbeines leitet sich aus seiner biomechanischen Funktion als Abschluss des Fußlängsgewölbes und der lateralen Fußsäule ab und spiegelt den Weg der Kraftfortleitung vom Sprunggelenk auf den Fuß wider.

Ein wesentliches Kriterium für die anatomische Form und damit Richtlinie für die operative Aufrichtung von Fersenbeinfrakturen ist der sogenannte Tuber-Gelenk-Winkel („Böhler-Winkel“), welcher von zwei gedachten Linien von der Oberkante des Tuber calcanei und des Calcaneocuboid-Gelenkes in Projektion auf den Hinterrand des Subtalargelenkes gebildet wird [3]. Dabei wird als Winkelmaß der Komplementärwinkel zu 180° angegeben, welcher im Normalfall zwischen 25 und 40° liegt (**Abb.1**).

**Frakturmechanismus**

Fersenbeinfrakturen entstehen typischerweise durch axiale Gewalteinwirkung beim Sturz aus der Höhe oder beim Verkehrsunfall (Dezeleration), wobei sich der kräftige Processus lateralis tali in die posteriore Gelenkfacette des Calcaneus einstaucht. Aufgrund der seitlich zueinander versetzten Vertikalachsen von Talus und Calcaneus entsteht zunächst eine Scherfraktur zwischen dem tuberculumtragenden Hauptfragment des Calcaneus und dem Sustentaculum tali (**Abb.2**). Klassischerweise kommt es zur Ausbildung einer primären Frakturlinie (**Abb.3**), welche am Vorderrand der posterioren Gelenkfacette beginnt [7]. Befindet sich der Fuß beim Aufprall in einer Supinationsstellung, liegt diese Frakturlinie weit medial, so dass gelegentlich isolierte extraartikuläre Fraktu-



**Abb.3** Die primäre Frakturlinie (grün) beginnt regelhaft am Vorderrand der posterioren Gelenkfacette. Je nach Verlauf der sekundären Frakturlinie (rot) entsteht das typische Erscheinungsbild einer joint depression- (a) oder tongue type Fraktur (b) nach Essex-Lopresti [7].

ren des Sustentaculum tali entstehen [24]. In Abhängigkeit von der Energie des Aufpralles und der Qualität des Knochens entstehen sekundäre und tertiäre Frakturlinien, so dass bis zu fünf Hauptfragmente entstehen können. Nach CT-Analyse von über 200 Frakturen wurden in 36% vier und in 58% fünf Hauptfragmente gesehen. Über drei Viertel aller Calcaneusfrakturen sind intraartikulär, davon weisen 97% Verwerfungen der posterioren Facette, 59% zusätzlich des Calcaneocuboidgelenkes und 8% der anterioren Facette auf [24].

Durch die spongiöse Binnenstruktur und die Beteiligung an vier Gelenkflächen entstehen am Calcaneus im Vergleich zu anderen Fußknochen häufiger Frakturen mit Gelenkbeteiligung, eingestauchte Frakturen und Trümmerbrüche.

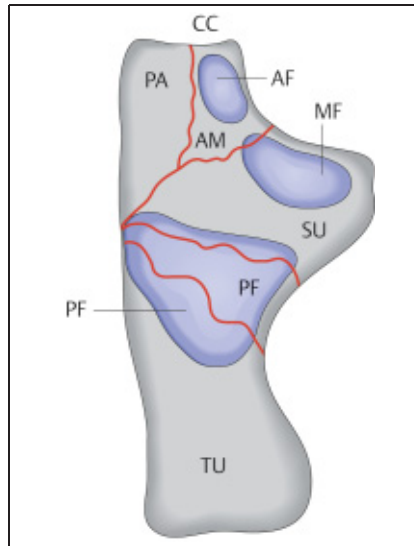
Beim Jugendlichen mit noch elastisch verformbarem Calcaneus entstehen beim Sturz aus der Höhe durch die reflektorische Aktion des M. triceps surae eher die typischen extraartikulären Abrissfrakturen des Achillessehnenansatzes (sog. „Entenschnabelbrüche“). Bei heftigen Distorsionen kann es entlang der Hellpapp'schen Supinationslinie zu einem knöchernen Abriss des Lig. bifurcatum aus dem Proc. anterior calcanei kommen.

**Frakturklassifikation**

Aus den charakteristischen sekundären Frakturlinien im Tuber calcanei leitet sich die klassische Fraktуреinteilung von Essex-Lopresti in „joint-depression-“ und „tongue-type“ ab [7]. Bei der „joint-depression“-Fraktur ist hauptsächlich die posteriore Facette imprimiert und die Frakturlinie verläuft unmittelbar dahinter in den Fersenbeinhöcker hinein. Tritt diese nach langstreckigem Verlauf vor dem Achillessehnenansatz aus, spricht man aufgrund der Form des entstehenden langgezogenen Fragmentes, welches durch den Zug der Achillessehne nach proximal gezogen wird, vom „tongue type“ (Abb. 3).

Tertiäre Frakturlinien können durch den Processus anterior verlaufen, so dass bis zu 5 Hauptfragmente resultieren [23]. Diese bilden die Grundlage einer auf CT-Schnitten basierenden Klassifikation, welche ebenso die Beteiligung von maximal 3 Gelenkfacetten (anteriore und mediale Facette werden hierfür zusammengefasst) berücksichtigt (Abb. 4). Die additive Graduierung des Weichteilschadens bei I.–III.° offenen und geschlossenen Frakturen (1–3 Punkte) sowie die Frakturen benachbarter Knochen oder Trümmerfrakturen eines der Hauptfragmente (Zusatzpunkt) kann zu einer Summation von maximal 12 Punkten führen (Tab. 1). Diese Frakturskala hat einen prognostisch prädiaktiven Wert von 86% [24].

Die im amerikanischen Raum bevorzugt verwendete Klassifikation von Sanders [18] basiert auf der für das therapeutische Vorgehen und funktionelle Ergebnis entscheidenden Anzahl der Frakturlinien im koronaren CT-Schnitt auf Höhe der poste-



**Abb. 4** Die 5 Hauptfragmente (TU = Tuberositas, SU = Sustentaculum tali, PF = posteriore Facette, PA = Proc. anterior und AM = antero-mediales Facettenfragment) und 3 Gelenkfacetten (posteriore Facette = PF, anteriore/mediale Facette = AF + MF, Calcaneocuboid-Gelenk = CC) dienen als Basis für die Frakturklassifikation [24].

rioren Facette. Alle nichtdislozierten Frakturen werden unabhängig von der Anzahl der Frakturlinien Typ I zugeordnet. Typ II weist eine, Typ III zwei, Typ IV (Trümmerfraktur) 3 und mehr Frakturlinien in der posterioren Facette auf.

**Diagnostik**

*Klinische Diagnostik*

Die klinische Diagnose weist nicht nur den Weg zu den erforderlichen bildgebenden Verfahren, sondern erfasst auch die für das weitere Vorgehen und die Prognose wichtige Graduierung des primären Weichteilschadens.

Typischerweise findet sich eine druckschmerzhafte Schwellung mit begleitendem Hämatom über der gesamten Fersenregion. Der betroffene Fuß kann nicht belastet und nicht schmerzfrei pro- oder supiniert werden. Bei erheblicher Schwellung muss immer ein akutes Kompartmentsyndrom, gegebenenfalls mit Druckmessung ausgeschlossen werden. Nicht selten finden sich Spannungsblasen über dem Rückfuß. Frakturen ohne ersichtliche Dislokation oder Weichteilschäden werden nach wie vor gelegentlich als Sprunggelenksdistorsion fehl-diagnostiziert und insbesondere bei polytraumatisierten oder mehrfachverletzten Patienten initial leicht übersehen, wenn andere Verletzungen im Vordergrund stehen.

*Bildgebende Diagnostik*

Die klinische Verdachtsdiagnose wird radiologisch durch konventionelle Röntgenaufnahmen in 3 Standardebenen (Calcaneus lateral und axial, Fuß dorsoplantar) gesichert. Ergänzend wird immer eine OSG Map-Aufnahme sowie zur Darstellung des Subtalgelenkes eine Brodén-Serie durchgeführt. Bei klarer OP-Indikation sollte präoperativ zum Vergleich eine seitliche Aufnahme des kontralateralen Fußes angefertigt werden, da der Böhler-Winkel, und somit das anzustrebende Repositionsergebnis, einer erheblichen interindividuellen Schwankung unterliegt. Unabdingbare Voraussetzung für die Frakturklassifikation und präoperative Planung ist die Durchführung eines CT mit axialer und koronarer Schnittführung [18,24], während das MRT keine therapierelevanten Zusatzinformationen erbringt und daher nicht routinemäßig empfohlen wird.

**Tab. 1** Calcaneus-Frakturskala (Zwipp 1994)

x Fragmente	max. 5 Punkte
y Gelenke	max. 3 Punkte
Weichteilschaden (I–III° geschlossen oder offen)	max. 3 Punkte
Trümmerfraktur eines Hauptfragmentes, regionale Zusatzfraktur	+ 1 Punkt
gesamt	max. 12 Punkte



## Therapie

### OP-Indikation und -Zeitpunkt

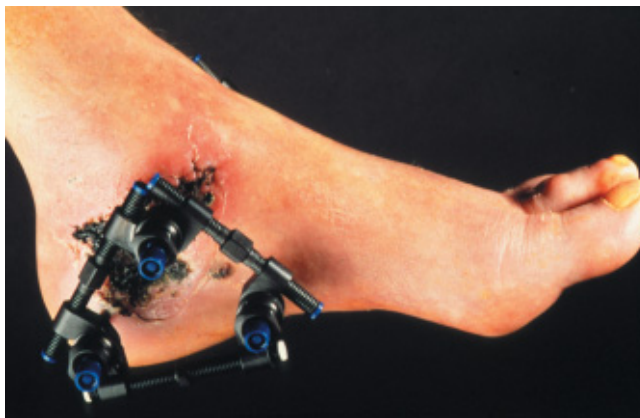
Die Indikation zum operativen Vorgehen besteht bei allen intraartikulären Fersenbeinfrakturen mit  $> 1$  mm Gelenkstufe sowie bei extraartikulären Frakturen mit relevanter Rückfußfehlstellung (Varus  $> 5^\circ$ , Valgus  $> 10^\circ$ ),

sofern keine Kontraindikationen vorliegen [24]. Lokale Kontraindikationen zur Osteosynthese bestehen bei kritischen Weichteilverhältnissen mit hohem Infektionsrisiko wie Spannungsblasen, Hautnekrosen sowie bei fortgeschrittenen arteriellen bzw. venösen Durchblutungsstörungen. Systemische Kontraindikationen sind der juvenile insulinpflichtige Diabetes mellitus, die manifeste HIV-Infektion bzw. Immunsuppression sowie eine fehlende Compliance von Seiten des Patienten (wie z.B. bei Alkohol- und Drogenabhängigen). Ein höheres biologisches Alter von ( $> 65$  Jahren) stellt lediglich eine relative Kontraindikation dar, hier steht der individuelle Aktivitätsgrad und Funktionsanspruch im Vordergrund.

Aufgrund der zumeist erheblichen Weichteilschwellung liegt der Operationszeitpunkt bei I° und II°ig geschlossenen Frakturen im Allgemeinen zwischen dem 6. und 10. Tag nach dem Trauma. In der Zwischenzeit wird der betroffene Fuß durch lokale und systemische Maßnahmen (Hochlagerung, Eisapplikation bzw. cryo-cuff®, aktive Venenpumpe, Lymphdrainage, Antiphlogistika, enzymatische Präparate) zum Abschwellen gebracht. Eine verzögerte Versorgung nach mehr als 14 Tagen nach dem Unfallereignis, insbesondere bei stärkerer Dislokation, ist mit einer potentiell erhöhten postoperativen Infektionsgefahr behaftet und sollte daher vermieden werden [25].

Die notfallmäßige OP-Indikation besteht bei offenen Frakturen, inkarzierten Weichteilen sowie manifestem Kompartmentsyndrom.

Offene Fersenbeinfrakturen stellen absolute Problemverletzungen dar, deren Behandlung spezialisierten Zentren vorbehalten bleiben sollte. Die Notfallversorgung besteht in einem initialen Wunddebridement, der Reposition und temporären minimal-invasiver Osteosynthese mit perkutan eingebrachten Kirschner-Drähten oder einer medialen Transfixation (mit je einer Schanz-Schraube in distaler



**Abb. 5** Mediale Dreipunkt-Fixation bei offenen Frakturen oder geschlossenen Frakturen mit erheblichem Fragmentdruck auf die Weichteile: Prototyp eines röntgenstrahlendurchlässigen Distraktors.

Tibia, Tuber calcanei und Metatarsale I bzw. als medialer Dreipunkt-Fixateur im Calcaneus, s. **Abb. 5**) sowie der temporären Kunsthautdeckung. Eine Second-look-Operation muss regelhaft innerhalb von 48–72 Stunden erfolgen, zu diesem Zeitpunkt sollte idealerweise bereits die definitive Osteosynthese und Weichteildeckung durchgeführt werden. Bei definitiver Osteosynthese im Intervall von etwa einer Woche ist selbst bei korrektem Vorgehen die Infektionsrate von II.–III.°ig offenen Frakturen etwa um das 5-fache gegenüber geschlossenen Frakturen erhöht [17]. Die Indikation zur frühen Lappendeckung sollte daher großzügig gestellt werden, und hat bei komplexen Fußverletzungen mit höhergradigem Weichteilschaden zu einem Rückgang der schicksalhaften Infekte geführt [4]. Nicht praktikabel ist dies bei polytraumatisierten Patienten, bei denen lebenserhaltende Maßnahmen im Vordergrund stehen und Patienten, deren eingeschränkter Allgemeinzustand längere Eingriffe nicht zulässt.

Bei geschlossenen Frakturen mit erheblichem Fragmentdruck auf die Weichteile kann notfallmäßig eine geschlossene Reposition versucht werden, was jedoch nur selten gelingt. Meist ist eine perkutane Reposition mit einer in das Tuber calcanei eingebrachten Schanz-Schraube erforderlich. Die Hauptfragmente werden gegebenenfalls minimal-invasiv mit Kirschner-Drähten fixiert, das Hämatom über Stichinzisionen abgesaugt. Das Repositionsergebnis wird durch einen medialen Dreipunkt-Fixateur (**Abb. 5**) gesichert, um nach Ablauf von 8–10 Tagen die definitive Versorgung, wie unten geschildert, durchzuführen [24]. Bei III°ig geschlossenen Frakturen mit manifestem Kompartmentsyndrom erfolgt beim Polytrauma die notfallmäßige Dermatomfasziotomie über einen ausgedehnten dor-

so-medialen Zugang, mit Anlage eines medialen Fixateurs, beim Monotrauma die sofortige operative Versorgung mit definitiver Plattenosteosynthese.

### Konservative Therapie

Die konservativ-funktionelle Therapie ist bei extraartikulären Frakturen ohne relevante Fehlstellung, den seltenen undislozierten intraartikulären Frakturen sowie bei bestehenden Kontraindikationen zur operativen Therapie angezeigt. Das Ziel ist die frühe Mobilisation des Patienten nach initialer Abschwellung der Weichteile, was durch kurzzeitige Bettruhe (3–4 Tage) mit begleitenden antiphlogistischen Medikamenten, lokaler Kühlung und späterhin Lymphdrainage erreicht wird. Nach dieser Zeit beginnt die aktive Beübung der Sprunggelenke und die Mobilisation mit Abrollen des betroffenen Fußes unter Entlastung für 3–6 Wochen. Die Vollbelastung wird abhängig von der Knochenqualität und Frakturatomie nach 6–12 Wochen erreicht. In speziell angefertigtem Schuhwerk mit Abstützung am Tibiakopf (z.B. nach Pässler) ist die Vollbelastung unter Umständen bereits nach 8–10 Tagen erlaubt.

Besteht bei jungen Patienten mit absoluter Kontraindikation zur operativen oder semioperativen Behandlung eine ausgeprägte Fehlstellung des Rückfußes, so kann das geschlossene Repositionsmanöver nach Omoto et al. [14] durchgeführt werden, welches allerdings von intakten talocalcanearen Bändern zum Erhalt der Retention abhängig ist. Der Patient befindet sich in Bauchlage mit rechtwinklig gebeugtem Knie, in Regional- oder Allgemeinanästhesie. Die Reposition beginnt mit einem Lösen der Fragmente unter ruckartiger Varisierung oder Valgisierung des Rückfußes bei ständiger bilateraler Kompression der Ferse unter maximalem

axialen Zug. Das Repositionsergebnis wird mittels Bildwandler kontrolliert. Unter permanentem Zug und bimanueller Kompression wird ein zirkulärer Unterschenkelgips angelegt, welcher je nach Frakturschwere für 3–6 Wochen belassen wird. Die Entlastungsdauer entspricht den oben genannten Perioden. Die günstigsten Ergebnisse werden bei möglichst früher Reposition erreicht, was jedoch aufgrund der Weichteilschwellung in den wenigsten Fällen möglich ist. Zudem geht nach Abschwellung der Weichteile das ohnehin oft unvollständige Repositionsergebnis zumeist verloren.

### Semi-operative Therapie

Die heute praktizierten semi-operativen Methoden gehen im Wesentlichen auf die von Westhues 1934 entwickelte Aufriechung des Tuber calcanei mit einer perkutan eingebrachten Schanz-Schraube zurück. Die Fixation, von Westhues [22] und später Essex-Lopresti [7] im Gips durchgeführt, erfolgt heute mit perkutan eingebrachten Kirschner-Drähten oder Schrauben bzw. einem Fixateur-System, wie z.B. dem medialen 3-Punkt-Distraktor (**Abb. 5**). Diese Verfahren dienen mehrheitlich der Stabilisierung dislozierter Frakturen beim jungen Patienten mit lokaler oder allgemeiner Kontraindikation zum offenen Vorgehen oder geschlossenen Frakturen beim Polytrauma mit innerem Druck der Fragmente auf die Weichteile. Bei offenen Frakturen erlauben sie eine temporäre Fixation der Fragmente bis zur definitiven Versorgung. In neuerer Zeit werden zur Weichteilschonung perkutane Osteosyntheseverfahren unter Bildwandlerkontrolle auch bei speziellen Frakturtypen mit einer Frakturlinie im Subtalargelenk (Sanders II) favorisiert [21]. Im eigenen Vorgehen wurde bei bislang 15 Patienten mit Sanders-II-Frakturen eine perkutane, arthroskopisch assistierte Schraubenosteosynthese durchgeführt, die ersten 1-jahres-Ergebnisse sind exzellent [9].

### Operative Therapie

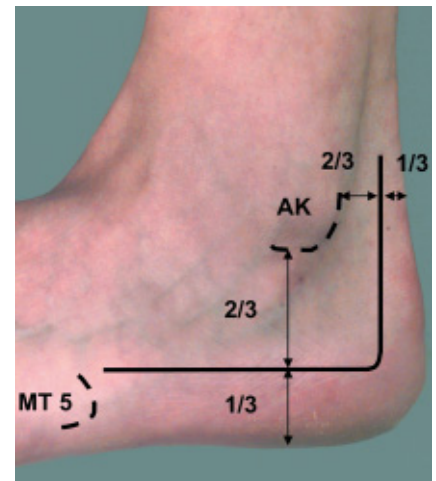
Ziel der operativen Versorgung von Fersenbeinfrakturen ist die anatomische Rekonstruktion von äußerer Form und Gelenkkongruenz mittels primärer, übergreifender und nicht gelenkübergreifender Osteosynthese.

Calcaneusfrakturen werden üblicherweise in Intubationsnarkose und optional in regionaler Blutsperre versorgt. Bei den

relativ seltenen extraartikulären 2- und 3-Fragment-Brüchen wird ein medialer Zugang (nach McReynolds, 6) gewählt. Der Patient befindet sich in Rückenlage. Die Inzision erfolgt auf einer Länge von 8–10 cm parallel zur Fußsohle exakt auf halber Strecke zwischen Malleolus medialis und medialem Rand der Fußsohle. Unter stumpfem Weghalten des tibialen Gefäß-Nerven-Bündels wird das sustentakulumtragende Fragment dargestellt. Die Flexor-hallucis-longus-Sehne wird identifiziert und in situ belassen. Das tuberositäre Fragment wird über eine perkutan eingebrachte Schanz-Schraube zum sustentakulären Fragment reponiert. Ein eventuell vorhandenes Processus-anterior-Fragment wird zur medialen Wand des sustentakulären Fragmentes bündig reponiert und ebenfalls mit temporären Kirschner-Drähten gehalten. Anschließend wird das sustentakulumtragende Fragment mittels eines kleinen H-Plättchens, im Sinne eines medialen Antgleit-Plättchens, gegen das tuberositäre und Processus-anterior-Fragment retiniert. Extraartikuläre Frakturen des Tuber calcanei wie z.B. die sogenannten „Entenschnabelbrüche“ können mit Schrauben über Stichinzision versorgt werden.

Intraartikuläre Fersenbeinfrakturen werden bevorzugt über den ausgedehnt lateralen Zugang versorgt. Dieser berücksichtigt die Blutversorgung des Rückfußes und gewährt eine ausreichende Übersicht vom subtalaren Gelenkspalt bis zum Calcaneocuboid-Gelenk.

Der Eingriff erfolgt in Seitenlage. Der Hautschnitt liegt bumerangförmig zwischen Außenknöchel und Achillessehne bzw. lateralem Fußsohlenrand (**Abb. 6**). Neuere anatomische Studien zur Blutversorgung des lateralen calcanearen Hautlappens haben gezeigt, dass die ideale Schnittlinie nicht exakt auf halber Strecke, sondern mehr in Richtung auf die Achillessehne bzw. Fußsohle verlaufen sollte (im eigenen Vorgehen auf ca.  $\frac{2}{3}$  der Strecke). Dies entspricht dem Versorgungsgebiet der A. calcanea lateralis und dient der Schonung des N. suralis sowie der V. saphena parva [8]. Anschließend erfolgt die subperiostale einschichtige Anhebung eines lateralen Haut-Weichteil-Lappens unter Schonung der Hautnervenäste (N. cutaneus dorsalis intermedius et lateralis) mit scharfer periostaler Ablösung des Lig. fibulocalcaneare und des distalen peronealen Retinakulums. Bei Beteiligung des Calcaneocuboidgelenkes werden die Peronealseh-

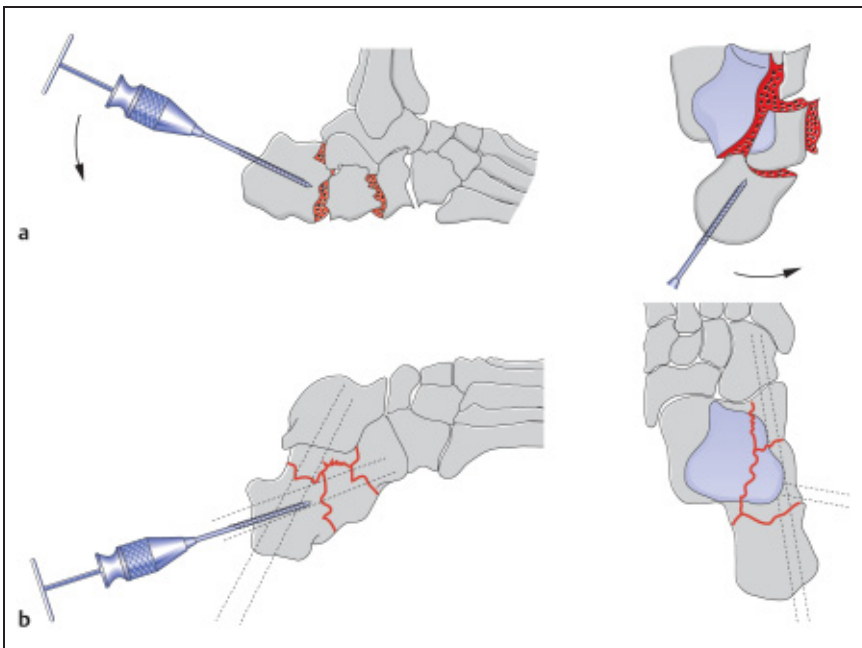


**Abb. 6** Erweiterter lateraler Zugang modifiziert nach Benirschke et al. (extended lateral approach, 1).

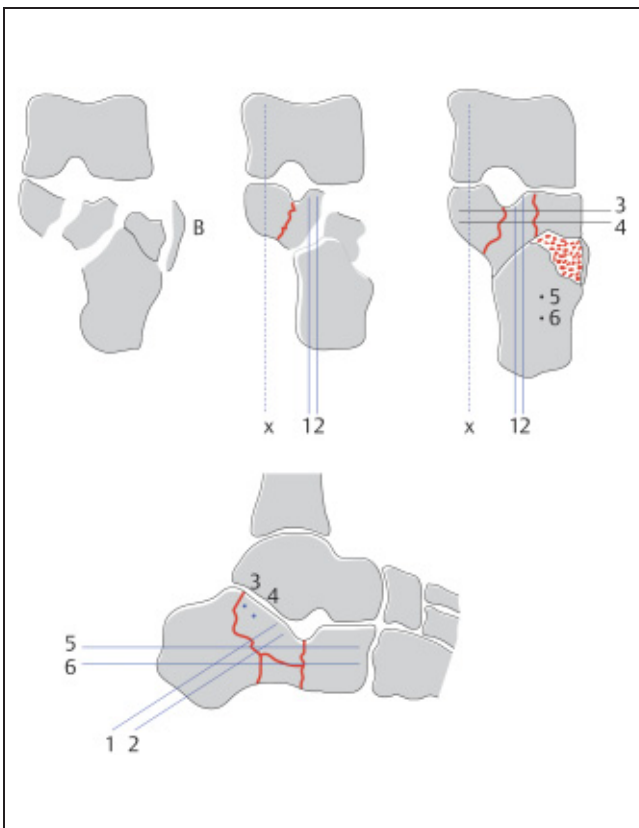
nen weit nach distal mobilisiert, wobei die Sehnenscheide geschlossen bleibt.

Die Aufriechung und Achsenkorrektur des tuberositären Hauptfragmentes erfolgt wiederum durch das Repositionsmanöver nach Westhues mit Einbringen einer Schanz-Schraube in das Tuber calcanei (**Abb. 7a**). Durch axialen Zug und Valgisation kann die regelhaft impaktierte posteriore Facette dargestellt werden, wobei zur besseren Übersicht das laterale Wandfragment türflügelartig weggeklappt werden muss. Ist das sustentakulumtragende Fragment in Relation zum Talus gekippt, muss dieses zunächst reponiert und temporär kongruent gegen den Talus fixiert werden. Der Aufbau der posterioren Gelenkfacette erfolgt nun schrittweise von medial nach lateral. Die Fragmente werden mit 2 parallel zur Gelenkfläche eingebrachten Kirschnerdrähten gegeneinander fixiert. Anschließend wird das tuberositäre Fragment mittels der eingebrachten Schanz-Schraube gegen das Proc.-anterior-Fragment reponiert, wodurch der Böhler-Winkel wiederhergestellt wird (**Abb. 7b**). Die erreichte Position wird nun durch 2–3 Kirschner-Drähte, welche von posterolateral, d.h. vom tuberositären Fragment durch das posteriore Facettenfragment in den Talus eingebracht werden sowie durch 2 weitere Drähte, welche vom Cuboid aus durch das Proc.-anterior-Fragment in den Tuber calcanei eingebracht werden, fixiert. Zuvor ist jedoch die Kongruenz im Calcaneocuboid-Gelenk zu überprüfen (**Abb. 8**).

Verbleiben nach der Reposition in der Stauchungszone Knochendefekte von



**Abb. 7** Mit einer perkutan in das tuberositäre Fragment eingebrachten Schanz-Schraube wird sowohl das Fersenbein aufgerichtet als auch begleitende Varus- bzw. Valgus-Fehlstellungen ausgeglichen (Westhues-Manöver, 22).



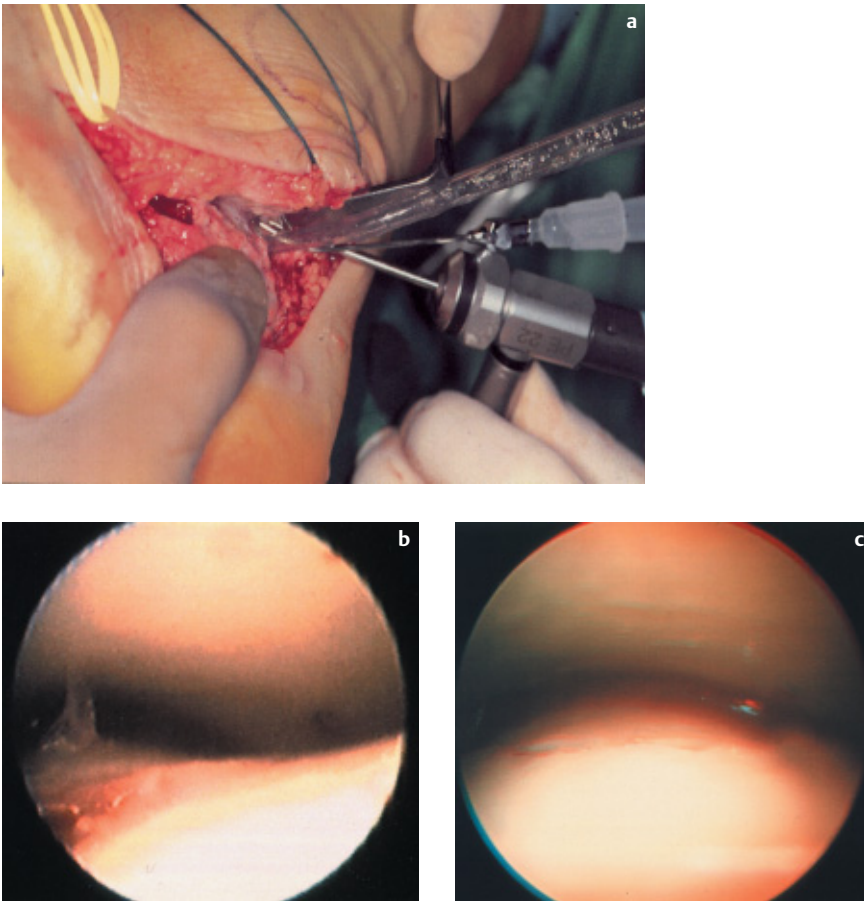
**Abb. 8** Schema der temporären Kirschner-Draht-Transfixation bei der schrittweisen Rekonstruktion der Hauptfragmente. Die genaue Anzahl und Richtung der benötigten Drähte richtet sich nach der individuellen Fraktur-anatomie.

mehr als Daumenendgliedgröße wird von einigen Autoren eine Unterfütterung mit autologer Spongiosa vom ipsilateralen Beckenkamm durchgeführt, bevor das zuvor weggeklappte Wandfragment zurückgeschlagen wird, welches sich nun exakt einpassen lassen muss [1,13,23]. Die Notwendigkeit der Unterfütterung solcher Stauchungsdefekte wird jedoch kontrovers diskutiert und von anderen Autoren nicht gesehen [12,18]. Der Einsatz von Knochenersatzstoffen anstelle autologer Spongiosa ist noch nicht als etabliert anzusehen.

Nach erfolgter Reposition wird im eigenen Vorgehen die Kongruenz der visuell schlecht einsehbaren posterioren Facette mittels offener Arthroskopie des subtalaren Gelenkes kontrolliert [16]. Dazu wird ein Arthroskop mit kleinem Durchmesser, ggf. Winkeloptik, in den freiliegenden subtalaren Gelenkspalt eingeführt. Unter arthroskopischer Sicht können jetzt Feinkorrekturen und Nachrepositionen bei verbliebenen Inkongruenzen in der posterioren Gelenkfacette erfolgen, welches nach ersten Erfahrungen in etwa einem Viertel der Fälle notwendig wird [Abb.9]. Dieses Verfahren erfordert keinen großen Zeitaufwand und ist bezüglich Präzision und Gründlichkeit der Bildwandlerkontrolle bzw. der direkten Sicht deutlich überlegen. Die Retention erfolgt mehrheitlich mit einer der Anatomie des Calcaneus angepassten AO-Platte nach Sanders [19], es sind jedoch verschiedene, meist Y-förmige Platten, im Gebrauch. Seit dem vergangenen Jahr steht auch ein winkelstabiles Implantat der AO/ASIF Foot and Ankle Expert Group zur Verfügung, welches sich an einigen Zentren in der klinischen Erprobung befindet. Die Plattenfixation an der lateralen Fersenbeinwand (**Abb.10**) wird in der Regel mit sechs 3,5-mm-Kortikalisschrauben erreicht, davon 2 unterhalb der subtalaren Gelenkfläche in Richtung auf das Sustentaculum tali, 2 gelenknah im Processus anterior und 2 in das Tuberculum calcanei [1,24]. Abschließend wird die Röntgenkontrolle in 3 Standardebenen (Fuß seitlich und dorsoplantar, Calcaneus axial) sowie eine 20° Brodén-Spezialaufnahme durchgeführt. Der Hautverschluss erfolgt schichtweise unter Einlegen einer Redondrainage.

Ein bilaterales Vorgehen ist in den seltensten Fällen erforderlich und mit einer erhöhten Rate an Wundrandnekrosen verbunden. Besteht jedoch eine Fraktur des Sustentaculum tali bis in die mediale Gelenkfacette hinein, welche sich





**Abb. 9** Offene subtalare Arthroskopie zur Kontrolle des Repositionsergebnisses mit dem Mini-Arthroskop unter manueller Spülung (a). Die nach erfolgter Reposition unter Bildwandlerkontrolle arthroskopisch noch sichtbare Stufe beträgt aufgrund des Vergrößerungsfaktors nur ca. 1 mm, kann jedoch zu erheblichen arthrotischen Beschwerden führen (b). Daher erfolgt eine Feinkorrektur, die anschließende Kontrollarthroskopie zeigt einen stufenlosen Verlauf auch des schlecht einsehbaren medialen Anteiles der posterioren Gelenkfacette.

von lateral nicht anatomisch reponieren lässt, so ist zusätzlich zum ausgedehnt lateralen Zugang eine kleine, querverlaufende Inzision direkt über dem tastbaren Sustentaculum tali erforderlich (Sustentaculum-Zugang nach Zwipp, 24). In einem ersten Operationsschritt wird unter Schonung der Sehnen des M. tibialis posterior, M. flexor digitorum longus und M. flexor hallucis longus zunächst das Sustentaculum gegen die mediale Gelenkfacette des Talus reponiert mit zwei Kortikalisschrauben retiniert, um anschließend mit der Versorgung von lateral fortzufahren. In diesen Fällen ist die Lagerung des Patienten in Rückenlage mit Keilanhebung der betroffenen Seite und beiderseitigen Stützen empfehlenswert.

Verschiedene Autoren sehen bei Trümmerfrakturen mit irreparabler Schädigung der posterioren Gelenkfacette die Indikation zur primären subtalaren Ar-

throdese. Während Sanders [19] zunächst eine Standard-Osteosynthese des Calcaneus durchführt um anschließend das Subtalargelenk mit einer Spongiosazugschraube zu fusionieren, praktizieren Buch et al. [5] eine reine primäre Schraubenarthrodese. Im eigenen Vorgehen wird generell die primäre Rekonstruktion angestrebt, um eine exzessive Weichteilkontraktur zu vermeiden und eine eventuelle später notwendige Arthrodese zu erleichtern. Diese erfolgt sekundär bei entsprechendem Beschwerdebild als In-situ-Arthrodese, in einigen Fällen wurde auch die Ausbildung einer symptomarmen Ankylose gesehen, welche kein weiteres operatives Vorgehen erforderte. Die Rate sekundärer subtalarer Arthrodeseen liegt bei diesem Vorgehen zwischen 2,3 und 3,7% [1,24,25].

Die Nachbehandlung erfolgt frühfunktionell aus dem Unterschenkelgipsverband heraus mit krankengymnastischen

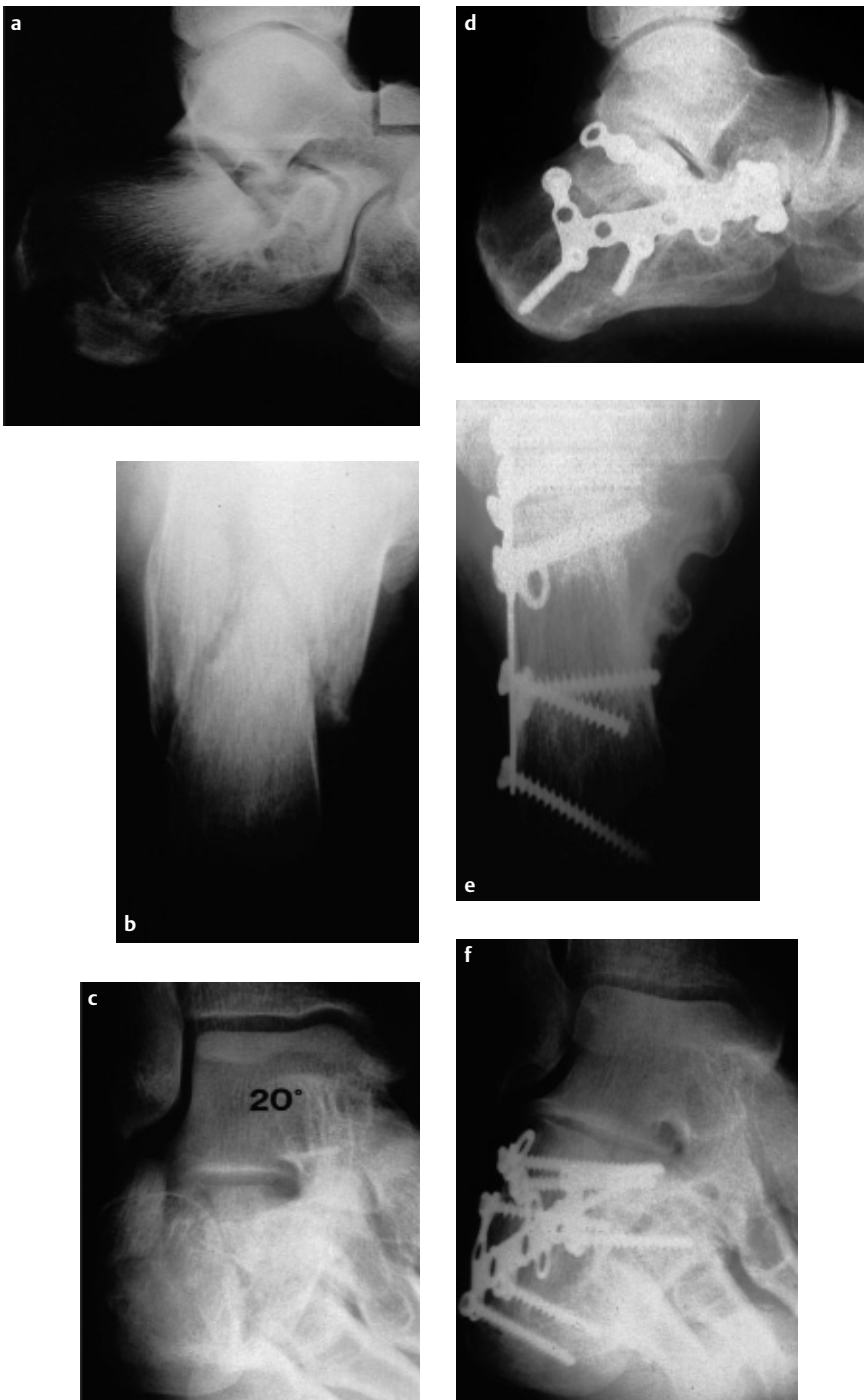
Übungen ab dem 1. postoperativen Tag. Diese beinhalten geführte, aktive Flexions/Extensionsbewegungen. Zum Leerpumpen der venösen Plexus wird der Patient zum regelmäßigen Fußdruck gegen die Gipssohle angehalten. Am 2. postoperativen Tag beginnt der Patient mit aktiven Kreisbewegungen des Fußes sowie passiven Bewegungen auf der Motorschiene. Die Mobilisation erfolgt ab dem 5.–8. postoperativen Tag unter Teilbelastung von 15 kp. Auf Vollbelastung kann abhängig von Bruchform, Knochenqualität und Ausmaß einer eventuell notwendigen Spongiosaimplantation nach 6–12 Wochen übergegangen werden. Schwerstarbeit und Sport sind in der Regel nach 4–6 Monaten möglich. Die Implantatentfernung wird nach einem Jahr empfohlen (Abb. 11), ist jedoch nicht obligat. Bei deutlicher Rückfußsteifung sollte diese aufgrund der nach eigener Erfahrung regelhaft beobachteten fibrösen Verwachsungen immer mit einer lateralseitigen Arthrolyse und Arthroskopie des subtalaren Gelenkes verbunden werden [16,25].

### Komplikationen

Aseptische Wundrandnekrosen treten in 2 bis 10% der Fälle auf und können durch lokal-desinfizierende Maßnahmen zum Ausheilen gebracht werden [1,23,25]. Revisionspflichtige Hämatome werden in 2,6% bis 5% der Fälle gesehen, und heilen nach Entlastung problemlos ab [16,24].

Frühe Komplikationen wie oberflächliche aseptische Wundrandnekrosen, Nervenirritationen oder revisionspflichtige Hämatome können durch sorgfältige Präparationstechnik, das Beachten der lokalen Blutversorgung (korrekter Zugang) sowie das Vermeiden jeglichen scharfen Hakenzuges an den Weichteilen minimiert werden.

Tiefe Weichteil- und Knocheninfekte sind gefürchtete Komplikationen, welche in 1,3% bis 7,0% nach einer Osteosynthese beobachtet werden [1,2,18,23]. Besonders gefährdet sind hierbei offene Frakturen sowie geschlossene Frakturen, welche verspätet (> 14 Tage nach dem Unfallereignis) versorgt werden [17,25]. Die Therapie besteht in einem radikalen Débridement, gegebenenfalls der Plättchenentfernung und alternativer Kirschner-Draht-Transfixation mit anschließender Einlage von Antibiotikaträgern und systemischer Antibiotikatherapie. Pseudarthrosen werden mit 0,7 bis 1,6% [24,25] selten beobachtet. In diesen Fällen ist die



**Abb. 10** Rekonstruktion einer intraartikulären Calcaneusfraktur. Beachte den aufgehobenen Böhrer-Winkel im seitlichen Strahlengang (a), die Verkürzung und Verbreiterung des Fersenbeines in der axialen Aufnahme (b) sowie die Fragmentierung und Depression der posterioren Gelenkfacetten in der 20°-Brodén-Aufnahme (c). Radiologisches Ergebnis nach Osteosynthese mit der AO-Calcaneus-Platte nach Sanders [19], welche an die laterale Fersenbeinwand anmodelliert wird, in denselben Ansichten (d–f).



**Abb. 11** Die CT-Verlaufsdokumentation (selber Patient wie **Abb. 10**) zeigt die anatomische Rekonstruktion der funktionell entscheidenden posterioren Gelenkfacetten nach durchgeführter Implantatentfernung. Die Schraubenkanäle sind unterhalb der Gelenkfläche noch sichtbar.

Revision mit Anfrischung der Fragmentenden, zusätzlicher autologer Knochenplastik und anschließender Schrauben-Kompressionsosteosynthese angezeigt. Die Komplikationsrate im eigenen Patientengut ist in **Tab. 2** dargestellt, sie liegt im Bereich der in größeren Studien angegebenen Zahlen. Auf die besondere Problematik der offenen Calcaneusfrakturen wird mehrfach hingewiesen.

### Ergebnisse

In größeren Serien (über 100 nachuntersuchte Patienten) wurden nach offener Reposition und Plattenosteosynthese in 60 bis 85% gute und ausgezeichnete Resultate beschrieben [2,12,18,23] wengleich auch verschiedene Score-Systeme zur Anwendung kamen, was den direkten Vergleich erschwerte. Im eigenen Patientengut fanden sich mit dem rein funktionellen modifizierten Merle d'Aubigné-Score deutlich bessere Resultate, als mit dem  $\pm 200$ -Punkte-Score, welcher zudem strenge morphologische und objektifizierbare klinische Kriterien einschließt (**Tab. 3, Abb. 12**). Erwartungsgemäß findet sich bei allen Autoren eine negative Korrelation der Ergebnisse mit steigendem Schweregrad der Fraktur und ungenügender Reposition. Dabei wird auf die



**Tab. 2** Komplikationen (Mehrfachnennung möglich) nach operativer Versorgung von Calcaneusfrakturen (eigenes Krankengut 10/1993-12/1999, n = 275)

oberflächliche Wundrandnekrose	23	6,6%
revisionspflichtiges Hämatom	18	5,2%
Weichteilinfekt*	18	5,2%
Knocheninfekt*	9	2,6%
verzögerte Knochenheilung	1	0,3%
Pseudarthrose	1	0,3%

\* Bei 18 von 27 Patienten mit Infektverlauf lag eine II.-III.°ig offene Fraktur vor.



**Abb. 12** Die klinischen Parameter zur Kontrolle des Behandlungsergebnisses beinhalten u. a. die Beweglichkeit im oberen (a, b) und unteren Sprunggelenk (c) sowie die Achsenausrichtung des Rückfußes und die plantare Lastverteilung des Fußes im Podogramm (d). Sehr gutes Ergebnis mit dem Merle d'Aubigné- und ± 200-Punkte-Score (selber Patient wie Abb. 10).

**Tab. 3** Behandlungsergebnisse nach chirurgischer Versorgung von Calcaneusfrakturen (eigenes Krankengut, Nachuntersuchungszeitraum 18 Monate postop., n = 169)

Score	± 200 Punkte (Zwipp)	Merle d'Aubigné (mod. n. Buch)
sehr gut	10%	45%
gut	57%	41%
befriedigend	30%	11%
schlecht	3%	3%

nicht unerhebliche Lernkurve von etwa 2 Jahren bzw. 40 Fällen hingewiesen [19]. Mehrere Autoren haben beobachtet, dass ein schlechteres Resultat insbesondere mit Inkongruenzen im subtalaren Gelenk, weniger mit der Aufrichtung des Böhler-Winkels in den konventionellen Aufnahmen einhergeht. Letzterer hat nur bei deutlichem Korrekturverlust einen negativen Einfluss auf das Behandlungsergebnis [15, 16, 25].

Während nach der Rehabilitationsstatistik der gewerblichen Berufsgenossenschaften von 1990 die Fersenbeinbrüche noch den höchsten MdE-Index unter allen Frakturen aufwiesen (im Mittel 25.5 v.H.), so beträgt heute nach ersten eigenen Erfahrungen bei 17 abschließend begutachteten berufsgenossenschaftlich versicherten Patienten (II. Rentengutachten) mit isolierten Calcaneusfrakturen die mittlere MdE 18.9 v.H. Die Rate notwendiger sekundärer Arthrodesen konnte von 28% nach konservativer Therapie (11) im eigenen Vorgehen auf 3.7% nach operativer Therapie gesenkt werden.

Wenige Studien vergleichen operatives und konservatives Vorgehen bei intraartikulären Calcaneusfrakturen, die einzige prospektiv-randomisierte Untersuchung von Thordarson und Krieger (20) zeigt jedoch eine eindeutige Überlegenheit der Osteosynthese. Verschiedene retrospektive Studien fanden jeweils signifikant bessere Ergebnisse bei operativ versorgten Patienten mit anatomiegerechter Frakturreposition [13, 15, 16, 18].

**Schlussfolgerung**

Insgesamt hat das operative Vorgehen mit anatomischer Rekonstruktion und frühfunktioneller Übungsbehandlung zu einer deutlichen Verbesserung der Prognose dieser schweren Verletzungen ge-

Dieses Dokument wurde zum persönlichen Gebrauch heruntergeladen. Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Verlages.

führt. Neuere Tendenzen, wie die arthroskopische Gelenkkontrolle in Verbindung mit offener oder perkutaner Reposition, die frühe Lappendeckung bei offenen Frakturen, der Einsatz winkelstabiler Implantate bei zunehmendem Verzicht auf eine autologe Spongiosaplastik und die Arthrolyse im Rahmen der Implantatentfernung sollten diese Entwicklung zugunsten besserer funktioneller Ergebnisse weiter voranbringen.

## Literatur

- <sup>1</sup> Benirschke SK, Sangeorzan BJ. Extensive intraarticular fractures of the foot. Surgical management of calcaneal fractures. *Clin Orthop* 1993; 128–134
- <sup>2</sup> Bèzes H, Massart P, Delvaux D et al. The operative treatment of intraarticular calcaneal fractures. Indications, technique, and results in 257 cases. *Clin Orthop* 1993; 290: 55–59
- <sup>3</sup> Böhler L. Fersenbeinfrakturen. In: Böhler, L.: Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Mauderich, Wien 1957, S. 2148–2217
- <sup>4</sup> Brenner P, Rammelt S, Gavlik JM, Zwipp H. Die frühe Defektdeckung nach offenen Fußverletzungen. *Langenbecks Arch Surg Suppl Kongressbd* 1999; 116: 990–992
- <sup>5</sup> Buch BD, Myerson MS, Miller SD. Primary subtalar arthrodesis for the treatment of comminuted calcaneal fractures. *Foot Ankle Int* 1996; 17: 61–70
- <sup>6</sup> Burdeaux BD. Reduction of calcaneal fractures by the McReynolds medial approach technique and its experimental basis. *Clin Orthop* 1983; 177: 87–103
- <sup>7</sup> Essex-Lopresti P. The mechanism, reduction technique, and results in fractures of the os calcis. *Br J Surg* 1952; 39: 395–419
- <sup>8</sup> Freeman B, Duff S, Allen P et al. The extended lateral approach to the hindfoot. Anatomical basis and surgical implications. *J Bone Joint Surg (Br)* 1998; 80: 139–142
- <sup>9</sup> Gavlik JM, Rammelt S, Zwipp H. Minimal-invasive, arthroskopisch gestützte Osteosynthese von Calcaneusfrakturen. *Hefte Unfallchirurg* 2000; 282: 172–173
- <sup>10</sup> Goff CW. Fresh fractures of the os calcis. *Arch Surg* 1938; 36: 744–765
- <sup>11</sup> James ET, Hunter GA. The dilemma of painful old os calcis fractures. *Clin Orthop* 1983; 177: 112–115
- <sup>12</sup> Letournel E. Open treatment of acute calcaneal fractures. *Clin Orthop* 1993; 290: 60–67
- <sup>13</sup> Leung KS, Yuen KM, Chan WS. Operative treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneum. Medium-term results. *J Bone Joint Surg (Br)* 1993; 75: 196–201
- <sup>14</sup> Omoto H, Sakurada K, Sugi M, Nakamura K. A new method of manual reduction for intra-articular fracture of the calcaneus. *Clin Orthop* 1983; 177: 104–111
- <sup>15</sup> Paley D, Hall H. Intra-articular fractures of the calcaneus. A critical analysis of results and prognostic factors. *J Bone Joint Surg (Am)* 1993; 75: 342–354
- <sup>16</sup> Rammelt S, Gavlik JM, Zwipp H. Effizienz der offenen subtalaren Arthroskopie bei der operativen Versorgung intraartikulärer Calcaneusfrakturen. *Hefte Unfallchirurg* 1997; 268: 99–104
- <sup>17</sup> Rammelt S, Gavlik JM, Barthel S et al. Management offener Calcaneusfrakturen. *Hefte Unfallchirurg* 2000; 282: 29–30
- <sup>18</sup> Sanders R, Fortin P, DiPasquale A et al. The results of operative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures using a CT scan classification. In: Tscherne H, Schatzker J, Major fractures of the pilon, the talus and the calcaneus. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1992; 175–189.
- <sup>19</sup> Sanders R. Intra-articular fractures of the calcaneus. *J Bone Joint Surg (Am)* 2000; 82: 225–250
- <sup>20</sup> Thordarson DB, Krieger LE. Operative vs. nonoperative treatment of intra-articular fractures of the calcaneus: a prospective randomized trial. *Foot Ankle Int* 1996; 17: 2–9
- <sup>21</sup> Tornetta P. 3rd. The Essex-Lopresti reduction for calcaneal fractures revisited. *J Orthop Trauma* 1998; 12: 469–473
- <sup>22</sup> Westhues H. Eine neue Behandlungsmethode der Calcaneusfrakturen. *Arch Orthop Unfallchir* 1934; 35: 121–128
- <sup>23</sup> Zwipp H, Tscherne H, Thermann H, Weber T. Osteosynthesis of displaced intraarticular fractures of the calcaneus. Results in 123 cases. *Clin Orthop* 1993; 290: 76–86
- <sup>24</sup> Zwipp H. *Chirurgie des Fußes*. Springer Verlag, Wien, New York 1994
- <sup>25</sup> Zwipp H, Gavlik JM, Rammelt S. Operative Therapie der Calcaneusfrakturen. In: Moorahrend, U., Funktionelle Behandlung ausgesuchter Verletzungen der unteren Extremität. Sympomed, München 1999; 27–37

**Dr. med. Stefan Rammelt**

Assistenzarzt

**Dr. med. Johann Marian Gavlik**

Oberarzt

**Sven Barthel**

Assistenzarzt

**Dr. med. Rene Grass**

Oberarzt

**Prof. Dr. med. Hans Zwipp**

Klinikdirektor

---

Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
Universitätsklinikum „Carl Gustav Carus“ der TU Dresden  
Fetscherstr. 74  
101307 Dresden