

Chirurgische Klinik und Poliklinik

Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
der Universitätsmedizin Rostock

Geschäftsführender Direktor:

Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier

**Klinisches und radiologisches 4-Jahres-Outcome nach
operativer Versorgung von dislozierten intraartikulären
Kalkaneusfrakturen mit einem neuartigen Kalkaneusnagel
vs. herkömmlicher Plattenosteosynthese**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der medizinischen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von

Jonas Hüdepohl

2020

| | |
|---|---|
| Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier | Chirurgische Klinik und Poliklinik Abt. für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Universitätsmedizin Rostock |
| Prof. Dr. med. Felix Walcher | Universitätsklinik für Unfallchirurgie Universitätsklinikum Magdeburg |
| Prof. Dr. med. Marc-André Weber, M.Sc. | Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Kinder- und Neuroradiologie Universitätsmedizin Rostock |

Jahr der Einreichung: 2020

Jahr der Verteidigung: 2021

Diese Dissertation zu vollenden kostete Zeit, Energie und häufig Überwindung.

Dennoch weiterzumachen, es nicht bleiben zu lassen und es abzuschließen, erforderte Rückhalt, Stärkung und Motivation.

Das und noch viel mehr gibst Du mir, liebste Marie. In jeder Lebenslage, zu jeder Zeit.

Bedingungslos.

Ich widme diese Arbeit Dir.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Theoretischer Hintergrund..... | 2 |
| 2.1 | Anatomie des Kalkaneus | 2 |
| 2.2 | Epidemiologie | 4 |
| 2.3 | Frakturmechanismen | 5 |
| 2.4 | Symptomatik..... | 6 |
| 2.5 | Diagnostik..... | 6 |
| 2.6 | Klassifikation | 9 |
| 2.7 | Behandlungsoptionen und Komplikationen | 11 |
| 2.7.1 | Konservativ | 12 |
| 2.7.2 | Operativ | 12 |
| 2.7.3 | Komplikationen | 20 |
| 3 | Fragestellung | 24 |
| 4 | Material und Methodik | 25 |
| 4.1 | Patientenkollektiv..... | 25 |
| 4.2 | Perioperative Daten | 26 |
| 4.3 | Radiologische Untersuchung | 28 |
| 4.4 | Funktionelle Untersuchung | 29 |
| 4.5 | Fragebogen | 30 |
| 4.6 | Scores | 30 |
| 4.7 | Statistische Analyse | 33 |
| 5 | Ergebnisse | 34 |
| 5.1 | Patientenkollektiv..... | 34 |
| 5.1.1 | Geschlechterverteilung | 34 |
| 5.1.2 | Altersverteilung | 34 |
| 5.1.3 | Frakturmechanismus | 35 |
| 5.1.4 | Weichteilzustand..... | 36 |
| 5.1.5 | Sanders-Klassifikation | 36 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.1.6 | Essex-Lopresti Klassifikation | 37 |
| 5.1.7 | Krankenhausaufenthalt, operatives Vorgehen, Op-Zeit..... | 38 |
| 5.1.8 | Zeit bis zur Nachuntersuchung | 38 |
| 5.2 | Komplikationen | 39 |
| 5.3 | Folgeoperationen..... | 40 |
| 5.4 | Radiologische Ergebnisse | 42 |
| 5.5 | Funktionelle Ergebnisse | 44 |
| 5.6 | Verlaufsdaten | 45 |
| 5.6.1 | Scores | 48 |
| 5.7 | Zusammenfassung der Ergebnisse | 50 |
| 6 | Diskussion | 52 |
| 6.1 | Material und Methodik | 53 |
| 6.1.1 | Patientenkollektiv | 53 |
| 6.1.2 | Nachuntersuchungszeit | 53 |
| 6.1.3 | Scores | 54 |
| 6.1.4 | Statistik | 54 |
| 6.2 | Ergebnisse | 55 |
| 6.2.1 | Patientenkollektiv | 55 |
| 6.2.2 | Frakturmorphologie..... | 56 |
| 6.2.3 | Radiologische Ergebnisse | 57 |
| 6.2.4 | Perioperative Daten | 59 |
| 6.2.5 | Komplikationen | 61 |
| 6.2.6 | Funktionelle Ergebnisse..... | 64 |
| 6.2.7 | Scores | 65 |
| 6.2.8 | Wiedereingliederung | 67 |
| 6.3 | Limitationen der Studie | 68 |
| 7 | Thesen | 70 |
| 8 | Schlussfolgerungen..... | 71 |
| | Abkürzungsverzeichnis..... | 74 |
| | Literaturverzeichnis | 76 |

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis..... | 87 |
| Tabellenverzeichnis | 88 |
| Danksagung..... | 89 |
| Selbstständigkeitserklärung..... | 90 |

1 Einleitung

Die Therapie der Kalkaneusfraktur hat eine lange Geschichte, die in niedergeschriebener Form bis zurück in das frühe 18. Jahrhundert führt. Zu jener Zeit fehlte jegliche bildgebende Diagnostik und die Therapie bestand zunächst in Hochlagerung und Kühlung der betroffenen Extremität und gegebenenfalls der geschlossenen Reposition mittels Holzhammer und Sandsack (siehe Abbildung 1 links).¹ Nach Anraten von Pott², wurde um 1768 aus Angst vor einer Tetanusinfektion, die Amputation des gesamten Fußes durchgeführt. Nach und nach entwickelten sich verschiedene operative Strategien zur Versorgung der Fersenbeinfraktur. Goff³ beschrieb aus der Zeit von 1720 bis 1936 über 40 Therapiemöglichkeiten für die Fersenbeinfraktur. Dies zeigt die Komplexität dieser Fraktur und ihrer Therapie. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde insbesondere durch die Entwicklung der Computertomographie 1972 und anatomisch angepasster Implantate die Versorgung mittels offener chirurgischer Techniken ausgereifter. Doch auch zu Beginn des 21. Jahrhunderts ist die Versorgung durch die Entwicklung minimalinvasiver Techniken (siehe Abbildung 1 rechts) weiterhin im Wandel.¹

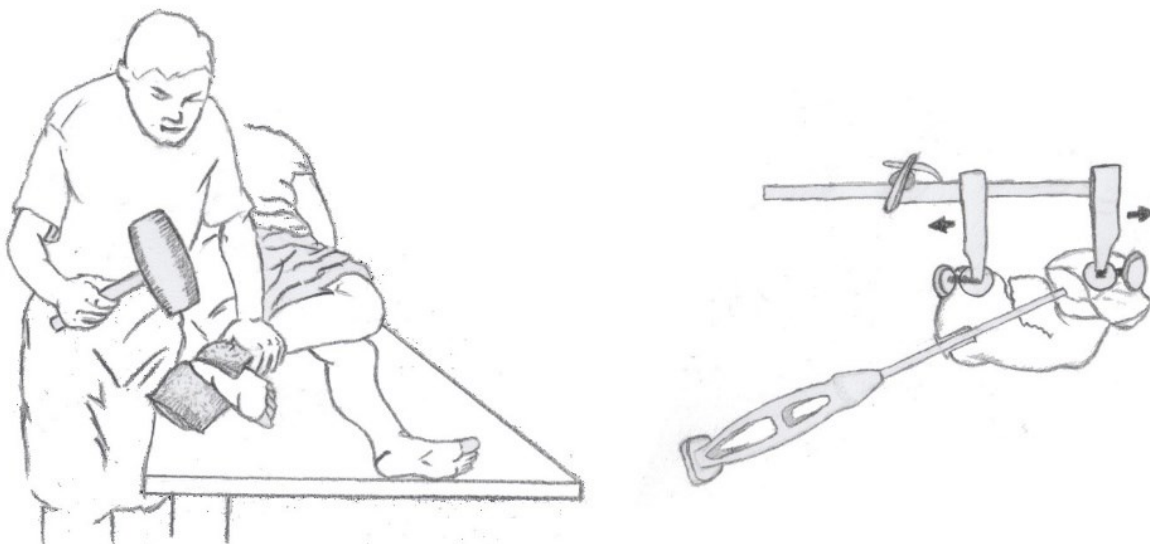


Abbildung 1: Links: Geschlossene Reposition nach Cotton und Wilson 1908 gezeichnet nach: Hans Zwipp, Stefan Rammelt.¹ Rechts: minimalinvasive Reposition mittels Distraktor und Stößel 2012 nach: Group FH Orthopedics.⁴

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Anatomie des Kalkaneus

Das Fersenbein - der Kalkaneus - ist der größte Fußknochen und formgebend für die Ferse.¹ Die Gelenkflächen, die in etwa dreiviertel der Kalkaneusfrakturen mitbetroffen sind⁵, sind mit einer zweiseitigen dünnen Knorpelschicht überzogen. Deren Membrana fibrosa geht in das Periost des Knochens über und besteht aus straffen Kollagenfasern. Die oberflächlicher liegende Membrana synovialis besteht erneut aus zwei Schichten: die synoviale Intima bildet die Gelenkflüssigkeit, im subintimalen Gewebe liegen propriozeptive Sinneszellen und freie nozizeptive Nervenendigungen, die bei Schäden der Gelenkfläche durch Frakturen und Entzündungen Schmerzen bereiten.⁶

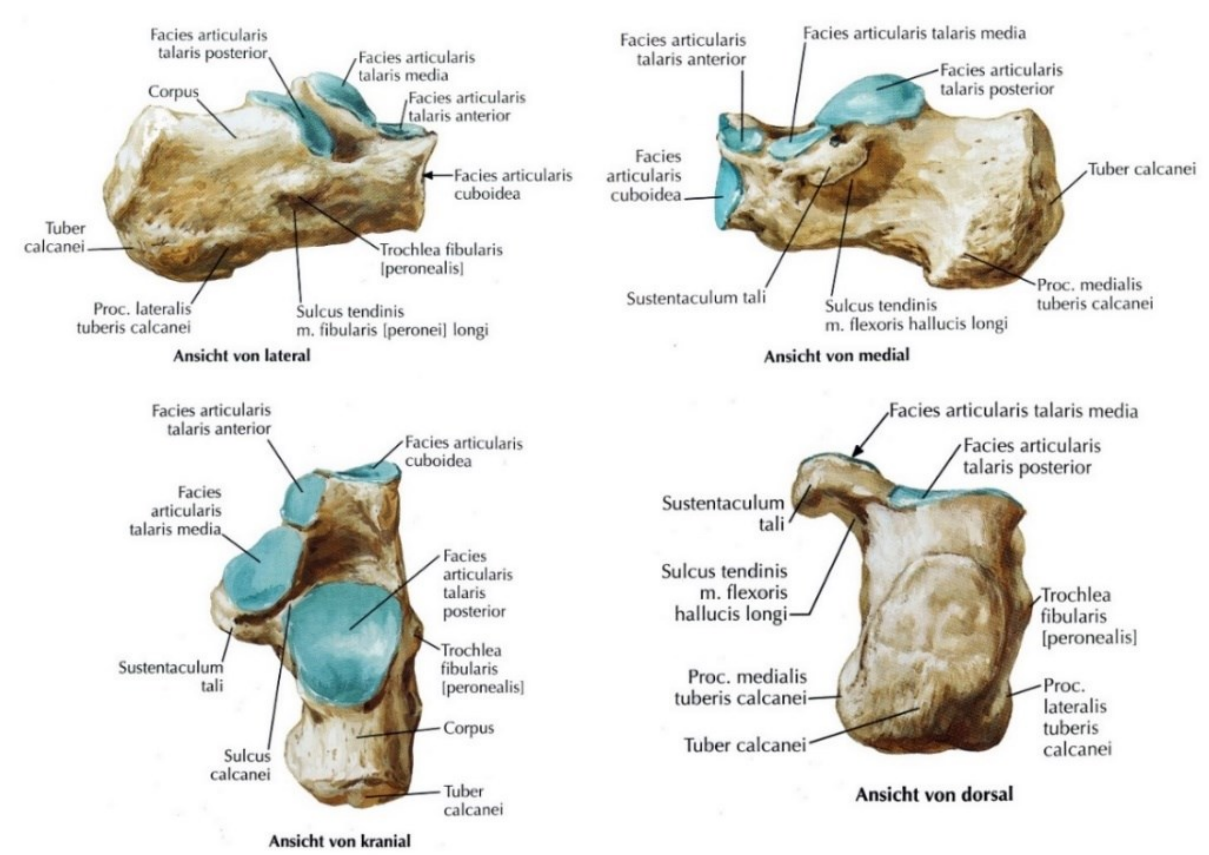


Abbildung 2: Kalkaneus von lateral, medial, kranial und dorsal. Aus Netter, F.H.⁷

Die **Facies superior** (siehe Ansicht von kranial in Abbildung 2) besteht aus drei Anteilen und artikuliert mit dem Talus im unteren Sprunggelenk (USG), das Supination und Pronation des Fußes ermöglicht. Dazu gehört die Facies articularis talaris posterior, die den hinteren Teil des unteren Sprunggelenkes bildet und in 97 %

der intraartikulären Kalkaneusfrakturen mitbetroffen ist.⁵ Sie wird durch den Sulcus calcanei von der Facies articularis talaris media getrennt. Letztere bildet zusammen mit der Facies articularis talaris anterior den vorderen Teil des USG⁷, der in 8 % der intraartikulären Kalkaneusfrakturen Verwerfungen aufweist.⁵ Zwischen den beiden Gelenkkapseln des vorderen und hinteren Teils des USG verläuft das Lig. talocalcaneum interosseum im Sinus tarsi, einem Tunnel, der aus den Sulci calcanei et talaris gebildet wird. Dieses derbe Band fixiert Talus und Kalkaneus und sorgt für die kongruente Gelenkstellung.⁸ Über den Sulcus calcanei projiziert sich im seitlichen Röntgenbild der Processus lateralis tali. Parallel zu dessen Kontur wird der Winkel nach Gissane in der Frakturdiagnostik gemessen (siehe Kapitel 2.5).⁹

Die **Facies inferior** (Plantarfläche) wird nach anterior schmaler. Posterior liegt der breitere Tuber calcanei, der prominent unter der Haut zu tasten ist und an dem der Zwillingswaden- (M. gastrocnemius) und der Schollenmuskel (M. soleus) mittels der Achillessehne (Tendo calcanei) ansetzen. Diese bilden zusammen den M. triceps surae. Der M. triceps surae ist sowohl stärkster Flexor im oberen als auch stärkster Supinator im unteren Sprunggelenk. Dadurch ist der Kalkaneus als Muskelansatz für die Funktion beider Sprunggelenke wichtig. Da die Ursprünge der beiden Köpfe des M. gastrocnemius dorsokranial der Femurkondylen liegen, ermöglicht er zudem die Beugung im Kniegelenk.⁸ Zusammengefasst dient der Tuber calcanei als Ansatzstelle des M. triceps surae der Umlenkung des Muskelzuges während der Fortbewegung.¹

Des Weiteren setzen am Tuber calcanei die Mm. abductor hallucis, flexor digitorum brevis und abductor digiti quinti an und an der Plantarfläche liegen medial und lateral die Ansätze der beiden Köpfe des M. quadratus plantae.⁸

Die **dorsale Fläche** (siehe Ansicht von dorsal Abbildung 2) des Kalkaneus besteht größtenteils aus dem Tuber calcanei. Hier findet sich zwischen Knochen und Achillessehne die Bursa tendinis calcanei.⁷

Die **Facies medialis** (siehe Ansicht von medial Abbildung 2) ist konkav.⁷ Kaudal liegt die Ansatzrinne Sulcus tendinis musculi flexoris hallucis longi für den gleichnamigen Muskel.⁸ Kranial ist die Facies medialis durch das Sustentaculum tali begrenzt - ein dachartiger horizontaler Knochenvorsprung, der über die Facies articularis talaris mit der Facies articularis media des Talus artikuliert und zudem Ansatz für die Ligg.

calcaneonaviculare plantare, deltoideum (pars tibiocalcanea) und talocalcaneum mediale darstellt.⁷ Gelegentlich zeigen sich nach einem Trauma in Supinationsstellung isolierte Sustentaculumfrakturen.¹⁰

Die **Facies lateralis** (siehe Ansicht von lateral Abbildung 2) beinhaltet die Trochlea fibularis, unter der im Sulcus tendinis musculi peronei longi die Sehne des entsprechenden Muskels verläuft.⁷ Bei mehrfragmentären Frakturen nach starker Krafteinwirkung kommt es hier meist zur Abspaltung der dünnen lateralen Kortikalis im Sinne eines „lateral bulge“.¹⁰

Die **anteriore Fläche** des Kalkaneus wird als Processus anterior calcanei bezeichnet und artikuliert durch die Facies articularis cuboidea, die in 59 % der intraartikulären Kalkaneusfrakturen mitbetroffen ist⁵, mit dem Würfelbein (Kuboid) im Kalkaneokuboidalgelenk (siehe Abbildung 2).⁷

Die ansetzenden Muskelsehnen und Bänder am Fersenbein - insbesondere die Achillessehne - bedingen unter anderem die Dislokation der Fragmente bei Frakturen.¹

2.2 Epidemiologie

Fersenbeinfrakturen machen etwa 1-2 % aller Frakturen¹¹ und 60 % der Frakturen, die den Fuß betreffen, aus.¹² Männer sind häufiger betroffen (M:W=2-4:1). In etwa 70-80 % der Fälle liegen intraartikuläre und in 5-10 % der Fälle bilaterale Frakturen vor.¹³ Vorwiegend betroffen sind Erwachsene im berufstätigen Alter von 40-60 Jahren.^{14,15} Männer sind mit durchschnittlich 43 Jahren jünger als die betroffenen Frauen mit 61 Jahren.¹⁵ Knapp ein Fünftel dieser Frakturen entstehen bei der Ausübung des Berufes¹⁴ und führen zu erheblichen sozioökonomischen Kosten. In einer Untersuchung von Prokop et al.¹⁶ betrug die mittlere Dauer der Arbeitsunfähigkeit nach Fersenbeinfraktur 7,5 Monate. In 23 % der Fälle musste eine Umschulung durchgeführt werden und in 13 % trat Arbeitslosigkeit ein. Außerdem wurde im Rahmen dieser Studie eine mittlere Minderung der Erwerbsfähigkeit von 19 % festgestellt. Die dabei erfassten volkswirtschaftlichen Kosten für einen einzelnen Fall beliefen sich auf 25.540 Euro bis zum ersten Rentengutachten.

2.3 Frakturmechanismen

Zum Bruch des Fersenbeins kommt es durch Stürze oder Sprünge von Leitern, Gerüsten, Hausdächern¹ oder anderen großen Höhen aber auch nach Verkehrsunfällen bzw. Hochrasanztraumata.¹⁷ Bei Mitchell et al.¹⁴ waren Stürze von Erhöhungen zu 71,5 % die Ursache, von denen 64,3 % aus über 1,80 m Höhe stattfanden. Intraartikuläre Frakturen treten insbesondere bei axialer Krafteinwirkung auf. Zu extraartikulären Frakturen kommt es hingegen vermehrt durch Distorsionstraumata des Rückfußes.¹⁸

Die Frakturmorphologie hängt von vielen Faktoren ab wie der Stellung des Fußes während des Traumas, der Kraftrichtung und der Knochendichte.¹⁹ So kann eine verminderte Knochendichte wie bei einer vorliegenden Osteoporose, bereits durch Ausrutschen oder Stolpern zu komplexeren Frakturen führen als bei normaler Knochendichte. Rupprecht et al.²⁰ stellten eine um 19 % verminderte Knochendichte am Kalkaneus bei 61-80-jährigen Frauen gegenüber 20-40-jährigen Probanden fest. Passend dazu lagen in ihrer Untersuchung bei Frauen zu 65 % und bei Männern zu 48 % komplexere Frakturen mit drei oder mehr Fragmenten vor.

Anhand der Frakturlinie können Rückschlüsse auf den Unfallmechanismus gezogen werden. So lässt sich anhand der Anatomie erklären, dass es durch sehr starken Zug an der Achillessehne über den Ansatz am *Tuber calcanei* zu einer Abrissfraktur und einem sogenannten „Entenschnabelbruch“ kommt.^{10,21} Durch ein Supinationstrauma wirkt die Kraft auf den *Processus anterior*, wodurch dieser frakturieren oder die kuboidale Gelenkfläche imprimiert werden kann.¹⁷ Bei der häufigen axialen Krafteinwirkung wird der talokalkaneare Gelenkspalt stark belastet. Der *Processus fibularis* des *Talus* wirkt dabei wie ein Meißel auf den Winkel nach Gissane des *Kalkaneus* und es kommt zu intraartikulären Frakturen, bei denen ein *superomediales* und ein *posterolaterales* Fragment entsteht.¹⁷ Je nach Fußstellung verläuft die primäre Frakturlinie unterschiedlich. Befindet sich der Rückfuß in Valgusstellung, liegt sie lateral, in Neutralstellung in der Gelenkfläche und in Varusstellung anteromedial zur posterioren Facette.¹ Reißt bei letzterem zusätzlich das *Ligamentum collaterale laterale*, disloziert das posterolaterale Fragment nach lateral.²²

2.4 Symptomatik

Die Patienten sind nach dem Trauma schmerzbedingt zumeist nicht in der Lage, den betroffenen Fuß zu belasten oder endgradig zu bewegen.¹⁸ Außerdem zeigt sich häufig ein Plattfuß durch Absenkung des Längsgewölbes oder Varus-/Valgusdeformitäten.²³

Innerhalb von 48 Stunden bilden sich meist eine schmerzhaft Schwellung und ein deutlich sichtbares Hämatom aus. Dieses ist markant distal des lateralen Malleolus als schmaler Streifen und mittig an der Fußsohle zu sehen. Die plantare Einblutung (Ekchymose bzw. „Mondor-Zeichen“), die als pathognomonisch gewertet wird²⁴, sollte eine radiologische Diagnostik zur Prüfung einer Kalkaneusfraktur nach sich ziehen.¹⁸ Eine oft beobachtete Folge des erhöhten Drucks im Gewebe sind Spannungsblasen, die – sofern sie im Operationsgebiet liegen – vor der Operation abgeheilt sein sollten, um das Infektionsrisiko zu reduzieren.^{25,26}

Des Weiteren treten Kompartmentsyndrome des Fußes in 3,8 % der Frakturen auf²⁷, die zu Langzeitfolgen wie der Krallenzehenbildung führen können. Sie sind klinisch schwer zu diagnostizieren, präsentieren sich jedoch am ehesten durch eine pralle Schwellung, enorme Schmerzen, ggf. Sensibilitätsstörungen und eine passive Dorsalextension der Zehen.¹⁸

2.5 Diagnostik

In der klinischen Untersuchung fällt ein druckschmerzhafter Rückfuß mit sichtbarem Hämatom und Bewegungseinschränkungen auf. Der Untersucher kann bei Mehrfragmentbrüchen einen deformierten Rückfuß palpieren.¹⁸ Liegen Begleitfrakturen vor, finden sich diese nach Mitchell et al.¹⁴ zu 13,2 % am Unterschenkel und zu 6,3 % an der Wirbelsäule. Die initiale radiologische Diagnostik umfasst wenigstens zwei Röntgeneinstellungen, eine seitliche und eine axiale und bei Vorliegen einer intraartikulären Fraktur zur besseren Beurteilung der Gelenkflächen eine Aufnahmeserie in Bróden-Schrägtechnik.¹¹ Im seitlichen Röntgenbild werden die im Folgenden dargestellten Winkel beurteilt, die Aufschluss über die Verformung und Fehlstellung des Fersenbeines geben.



Abbildung 3: Laterale (a), axiale (b) und einzelne Bröden- (c) Röntgenaufnahme eines gesunden rechten Rückfußes mit Darstellung der Winkel.

Der **Böhler-Winkel**²⁸ (Tubergelenkwinkel, siehe Abbildung 3 a) stellt den Winkel zwischen einer Linie entlang der Oberkante des Tuber calcanei und der Oberkante des Corpus calcanei dar. Der Normwert liegt zwischen 20° und 40° .¹¹ Er dient der Beurteilung der Frakturschwere.²⁹ Eine Verminderung des Winkels spricht für eine Impression der posterioren Gelenkfläche.³⁰

Des Weiteren wird zur Beurteilung der **Winkel nach Gissane** (siehe Abbildung 3 a) genutzt, der sich aus einer Linie entlang der hinteren subtalaren Gelenkfläche und einer Linie über dem Processus anterior bildet. Bei einem gesunden Fuß misst dieser $100-145^\circ$.^{11,31} Treibt der Talus den Kalkaneus bei axialer Kraftwirkung auseinander, wird der Winkel nach Gissane verformt.³² Ein verringerter Winkel spricht für eine Fraktur im Sinne des Tongue-Typs (siehe Kapitel 2.6) durch die Vertikalrotation des dorsalen Fragmentes. Zeigt sich der Winkel vergrößert, spricht dies für eine Impression der posterioren Gelenkfläche³⁰, wie sie beim Joint-Depression-Typ vorliegt (siehe Kapitel 2.6). Zudem wird ein axiales Röntgenbild des Rückfußes zur Beurteilung der Längsachse des Fersenbeines angefertigt (siehe Abbildung 3 b).¹¹ Die Bröden-Schrägaufnahmen ermöglichen die Beurteilung der vorderen und v.a. der hinteren subtalaren Gelenkfläche (siehe Abbildung 3 c).¹¹

Neben den beiden Winkeln kann der **Osteoarthrosegrad** in den Aufnahmen bewertet werden.³³

Die weiterführende Diagnostik beinhaltet eine **Computertomographie** (siehe Abbildung 4 a-l) in 2-3 mm Schichten und Rekonstruktionen in axialer, sagittaler, 30°-semikoronarer und dreidimensionaler Darstellung.³⁴ Sie dient der Klassifikation und weiterführenden Therapieplanung.¹³ Heutzutage gehört die CT zum Goldstandard in der Diagnostik von Kalkaneusfrakturen.¹¹

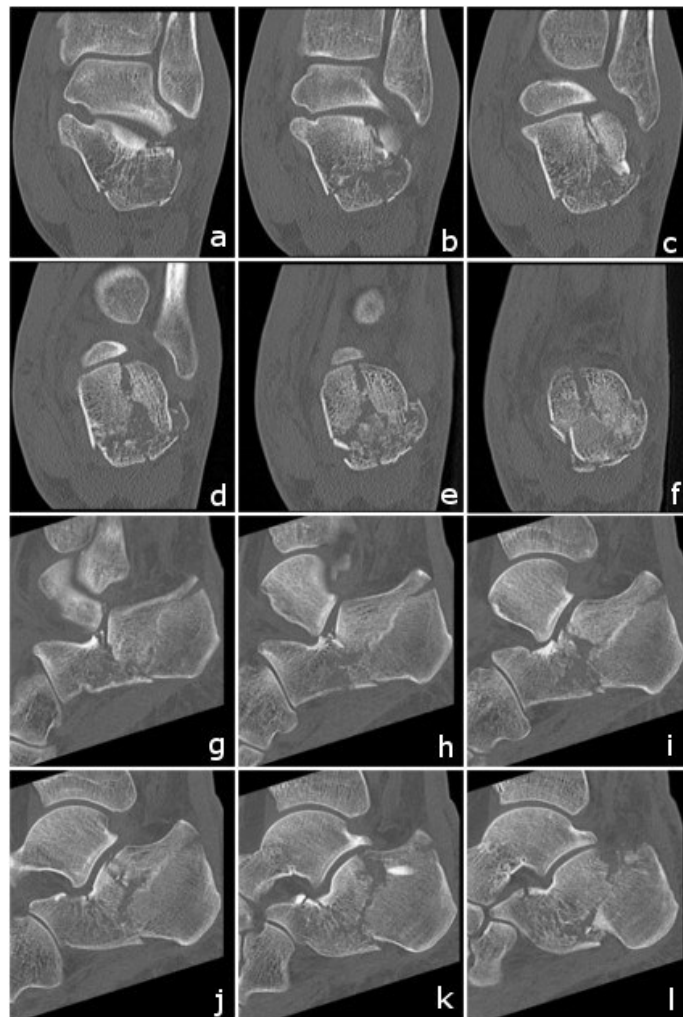


Abbildung 4: CT einer Kalkaneusfraktur Sanders Typ IIIab eines Studienpatienten, linker Fuß; a-f coronare, g-l sagittale Rekonstruktionen

2.6 Klassifikation

Im Folgenden werden die Klassifikationen von **Böhler**³⁵ und **Essex-Lopresti**³⁶, die anhand konventioneller Röntgendiagnostik entwickelt wurden, und von **Sanders**³⁷, die mittels Computertomographie unterteilt wurde, erläutert.

Lorenz **Böhler**^{35,38} klassifizierte den Bruch des Kalkaneus im Jahre 1931. Mithilfe des konventionellen Röntgen formulierte er 8 Frakturtypen. Diese Einteilung hat einen prognostischen Stellenwert.³⁶

Essex-Lopresti³⁶ unterteilte die Kalkaneusfraktur ähnlich wie Böhler nach der Frage, ob das subtalare Gelenk von der Fraktur mitbetroffen ist. Es wurden zwei typische Frakturtypen beschrieben. Der **Tongue-Typ** (siehe Abbildung 5 a) beschreibt eine primäre Frakturlinie vom Winkel nach Gissane vertikal nach plantar, die den Kalkaneus in ein posterolaterales (Tuber calcanei und Sustentaculum tali) und ein anteriomediales Fragment teilt und unter großer Kraffteinwirkung aufklappt. Im posterolateralen Fragment entsteht beim Tongue-Typ eine sekundäre horizontale Frakturlinie, an der sich das kraniale Fragment teilweise nach ventral gekippt zeigt. Bei diesem Typ kann es außerdem zu einem Abriss des Sustentaculum tali kommen. Da über dem dorsalen Bruchspalt wenig Gewebe liegt, kommt es zudem insbesondere bei diesem zweiten Frakturtyp häufig zu Hautschäden, die die Heilung erschweren und eine frühzeitige Versorgung erfordern, um einen ausgedehnten Hautdefekt zu vermeiden.³⁹ Der **Joint-depression-Typ** (siehe Abbildung 5 b) unterscheidet sich vom Tongue-Typ darin, dass die sekundäre Frakturlinie nicht horizontal, sondern direkt dorsal der subtalaren Gelenkfläche verläuft. Dabei entstehen im posterolateralen Fragment ein dorsales Fragment, das durch den starken Zug der Achillessehne nach dorsokranial gekippt wird, und ein mittleres Fragment, das nach ventrokaudal disloziert. Ein Operationsziel ist die korrekte Reposition des mittleren Fragmentes, da es die Gelenkfläche trägt.³⁶

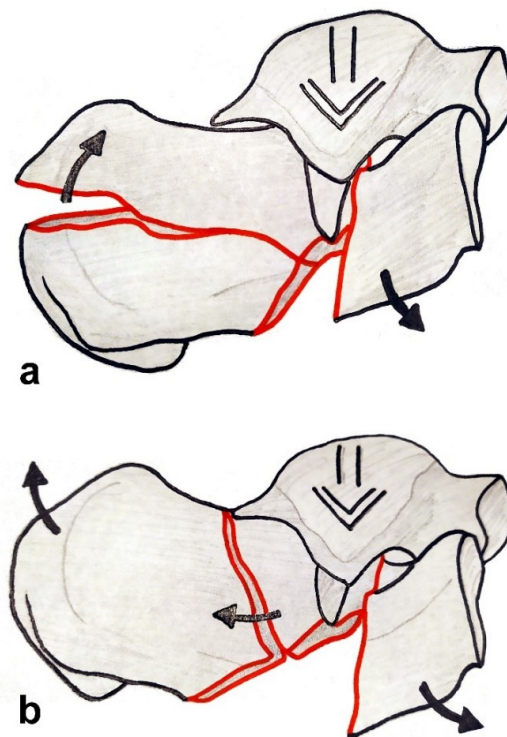


Abbildung 5: Essex-Lopresti-Klassifikation, a: Tongue-Typ, b: Joint-depression-Typ; schematisch gezeichnet; die großen Pfeile stellen die axiale Kraftwirkung dar, die kleinen die Divergenz der Fragmente.⁴⁰

Die **Klassifikation nach Sanders**³⁷ (siehe Abbildung 6 a-e) von 1995 ermöglicht eine Einteilung der Frakturen, die ihren prognostischen Wert noch viele Jahre nach der Fraktur beweist. Mit ihr wird anhand einer koronaren CT-Schichtung die posteriore Gelenkfläche beurteilt und die Fraktur in 4 Typen eingeteilt. Dazu wird die posteriore Gelenkfläche durch zwei Linien (A und B) in 3 Säulen aufgeteilt: die mediale, zentrale und laterale Säule. Eine dritte Linie (C) trennt das Sustentaculum ab, wodurch eine 4. Säule entsteht (siehe Abbildung 6 e). Von lateral nach medial lautet die Reihenfolge der Linien: A - B - C. Alle Gelenkfrakturen, die nicht disloziert sind, werden als Typ 1 eingeordnet. Die Zahl der drei folgenden Typen gibt die Anzahl der Fragmente der Gelenkfläche wieder und die Buchstaben bezeichnen, durch welche der Linien A, B und C die primäre Bruchlinie läuft. Bei Typ 2 Frakturen liegen zwei Fragmente der posterioren Gelenkfläche und eine Frakturlinie vor. Bei Typ 2A (siehe Abbildung 6 a) läuft die primäre Frakturlinie durch die laterale Linie A, bei Typ 2B (siehe Abbildung 6 b) durch die zentrale Linie B und bei Typ 2C (nicht abgebildet) entsprechend durch Linie C. Bei Typ 3 liegen drei Fragmente vor. Somit existieren zwei primäre Bruchlinien und es ergeben sich die Typen 3AB (siehe Abbildung 6 c), 3AC (siehe Abbildung 6 d), und 3BC (nicht abgebildet). Typ 4

Frakturen (siehe Abbildung 6 e) bestehen aus mindestens vier Fragmenten, zu welchen auch alle intraartikulären Mehrfragmentbrüche zählen. Sanders et al.⁴¹ haben zusätzlich im Rahmen einer Studie mit 120 Frakturen erarbeitet, dass Frakturen vom Typ 1 konservativ versorgt werden können und ab Typ 2 eine operative Versorgung indiziert ist – bei Typ 4 alternativ zur Osteosynthese auch die primäre Arthrodesese.

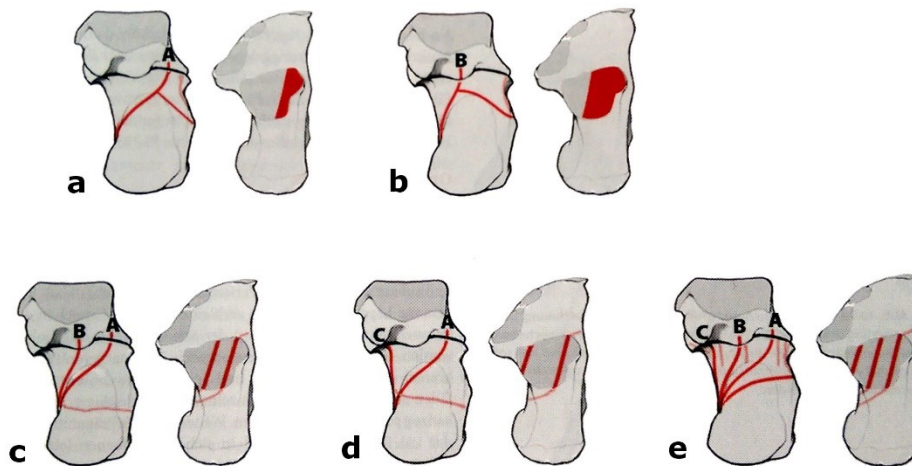


Abbildung 6 a-e: Sanders-Klassifikation mit Darstellung der möglichen Frakturlinien, jeweils links von plantar und rechts von kranial. Nach Dieter Kohn, Tim Pohlemann⁴²

2.7 Behandlungsoptionen und Komplikationen

Die Frage nach der besten Versorgung einer Fersenbeinfraktur wird seit Jahrzehnten und auch heute noch debattiert⁴³ und es zeigte sich ein sehr häufiger Wechsel der therapeutischen Konzepte.¹ Die Ziele einer jeden Therapie sind allen voran Schmerzfreiheit, Wiederherstellung der Funktion, die Vermeidung von Komplikationen und eine möglichst schnelle Wiedereingliederung in das soziale (private und berufliche) Umfeld. Generell stehen konservative und operative Techniken zur Verfügung, wobei Wie et al.⁴⁴ zeigten, dass die operativen Versorgungen mit mehr Komplikationen assoziiert sind, dafür aber bei der anatomischen Wiederherstellung ein besseres Ergebnis erbringen. Randle et al.⁴⁵ evaluierten anhand einer Metaanalyse, dass Patienten mit operativ versorgten Fersenbeinfrakturen häufiger wieder zurück in ihre vorherige Arbeit eingegliedert werden konnten und seltener starke Schmerzen im Verlauf entwickelten als konservativ behandelte Patienten. Außerdem kann die konservative Behandlung

häufiger, insbesondere bei Vorliegen einer intraartikulären Fraktur, zu einer unphysiologischen Belastung der Gelenkflächen führen, die aufgrund starker Schmerzen sekundär eine Folgeoperation wie etwa eine Arthrodesis des Subtalargelenks bedingen.⁴⁶ Nach Bruce et al.⁴⁷ betrifft dies nach operativer Versorgung 3,4 % und nach konservativer Therapie 17 % der Patienten.

2.7.1 Konservativ

Die konservative Therapie ist insbesondere bei nicht dislozierten und extraartikulären Frakturen ohne funktionseinschränkende Fehlstellung oder bei Vorliegen von Kontraindikationen gegen einen operativen Eingriff indiziert.⁴⁸ Das Ziel ist, durch eine gegebenenfalls geschlossene Reposition und anschließende Entlastung durch Ruhigstellung und Hochlagerung eine Retention und Heilung zu erreichen. Nach Schofer et al.⁴⁸ kann hierbei eine Fersenentlastungsorthese genutzt werden, die durch Kraftübertragung auf Längsgewölbe und Wade die Ferse entlastet. Nach Anschwellen des Fußes wird diese Orthese angepasst und mit ihr in der folgenden Woche zunächst unter Belastungssteigerung mit Gehstützen geübt. In der vierten Woche nach Fraktur ist nach einer Röntgenkontrolle eine Vollbelastung ohne Gehstützen möglich. In einer Aussparung in der Orthese unterhalb der Ferse werden ab der sechsten Woche zweiwöchentlich drei verschiedene Schaumstoffpolster mit zunehmender Härte eingelegt, die durch Anregung der Propriozeption die Knochenheilung unterstützen sollen. Nach Anpassung orthopädischer Schuhe erfolgt in der 12. Woche eine abschließende Röntgenkontrolle.

Buckley et al.⁴⁹ zeigten in einer prospektiven randomisierten Studie, dass die Operation gegenüber der konservativen Therapie bei extraartikulären Frakturen keinen signifikanten Vorteil im funktionellen und radiologischen Outcome und der Schmerzzufriedenheit zwei Jahre nach Versorgung bringt.

2.7.2 Operativ

Die Ziele der operativen Versorgung sind Reposition (offen = direkt; geschlossen = indirekt) und Retention. Im Gegensatz zur konservativen Versorgung wird bei der operativen Versorgung häufiger die direkte Reposition durchgeführt, gefolgt von der Fixierung der Frakturfragmente in anatomischer Stellung mittels der nachfolgend dargestellten Osteosyntheseverfahren.⁵⁰

Indikationen, Kontraindikationen

Die **Indikation**⁴⁸ zur Operation bei Kalkaneusfraktur besteht bei intraartikulären Frakturen, insbesondere wenn eine Stufe > 1 mm in der Gelenkfläche vorliegt (CT-morphologisch), bei extraartikulären Frakturen, wenn die Fragmente stark disloziert sind, bei offenen Frakturformen und auf Patientenwunsch (individuelle Ansprüche, hohe körperliche Aktivität).

Absolute **Kontraindikationen**^{48,51}, unter denen eine operative Frakturversorgung nicht durchzuführen ist, sind eine Weichteilschwellung bis hin zum Kompartmentsyndrom (hier sofortige Dermatofasziotomie), ausgeprägte periphere arterielle Verschlusskrankheit und höhergradige Weichteilschädigung mit Nekrosen und Spannungsblasen.

Zu den relativen Kontraindikationen^{48,51} zählen ein Diabetes mellitus (v.a. bei vorliegender Polyneuropathie), Kortisoneinnahme, Immunschwäche, schwere Osteoporose, Incompliance, hohes biologisches Alter (>75 Jahre) oder eine neurologische immobilisierende Erkrankung.

Zu den **Vorteilen** einer operativen Therapie zählen die häufig schnellere Belastbarkeit^{52,53} und somit eine frühere Wiedereingliederung in den sozialen und beruflichen Alltag, eine Rekonstruktion des Fersenbeines mit gutem Gangbild und eine geringere Rate sekundärer Arthrodesen gegenüber der konservativen Behandlung.⁴⁷

Die Operation wird in der Regel nach Abschwellung frühelektiv 5 bis 7 Tage nach dem Trauma durchgeführt.^{26,48,54,55} Die Abschwellung wird durch Ruhigstellung, Hochlagerung, Kryotherapie, Lymphdrainage und präoperative Bewegungsübungen beschleunigt.¹

Im Folgenden werden die geläufigsten **operativen Therapien** dargestellt. Dabei wird der Fokus auf die Versorgung mit der winkelstabilen Platte und dem Kalkaneusnagel gelegt.

Plattenosteosynthese (PO)

Eine **Plattenosteosynthese**⁵⁶⁻⁵⁸ imitiert das Prinzip der Kortikalis und überbrückt die Fraktur, wodurch eine neue Integrität geschaffen wird. Nach Pastor et al.⁵⁷ werden derzeit in Deutschland 77 % der Kalkaneusfrakturen mittels Plattenosteosynthese versorgt. Herkömmliche nicht winkelstabile Platten haben glattwandige Schraubenlöcher. Dahingegen ist in die Schraubenlöcher einer winkelstabilen Platte ein Gewinde eingefräst. Eine Schraube in einer nicht winkelstabilen Platte übt zunehmenden Druck auf den Spalt zwischen Platte und Knochen aus, je fester sie gezogen wird. Die Platte dient als Widerlager. Der Nachteil ist hierbei, dass dieser Druck die Blutzufuhr zum Knochen durch Kompression des perfundierten Periosts behindert.

Bei Verwendung einer winkelstabilen Platte (siehe Abbildung 7) sind die Schrauben in einem definierten Winkel zur Platte fixiert und verhindern die Rotation der Fragmente. Die Platte dient der Verriegelung. Eine nachhaltige Reposition lässt sich sowohl mit der winkelstabilen, als auch mit der nichtwinkelstabilen Platte erreichen.³⁷



Abbildung 7: winkelstabile Rimbus®-Platte, Intercus GmbH, Rudolstadt, Deutschland mit passenden Schrauben mit Kopfgewinde

Die **herkömmliche Plattenosteosynthese** erfolgt offen über den erweiterten lateralen Standardzugang.⁵⁹ Hierzu wird der Patient seitlich gelagert, sodass die laterale Seite des betroffenen Fußes nach oben gerichtet ist. Nach den üblichen Vorbereitungen erfolgt der bogenförmige ca. 12-17 cm lange Schnitt. Dieser verläuft zunächst senkrecht in der Mittellinie zwischen Malleolus lateralis und Achillessehnenhinterrand, dann weiter in einem Bogen mit kleinem Radius letztendlich horizontal zwischen der Kante des Malleolus lateralis und nahe der

Fußsohlenaußenkante. Die Schnittführung beginnt dabei etwa auf Höhe der Außenknöcheloberkante und endet über der Basis des Metatarsale V. Das subkutane Gewebe wird senkrecht bis auf den Knochen durchtrennt. In diesem Verlauf werden bei normaler Anatomie weder der Nervus suralis noch die Peronealsehnen verletzt. Anschließend werden vom Kalkaneus die distalen Ansätze der Peronealsehnen und des fibulokalkanearen Bandes abgetrennt und mit dem entstandenen dreieckigen Weichteillappen möglichst spannungsfrei nach oben geschwenkt. Der Kalkaneus und das subtalare Gelenk liegen hiernach frei zugänglich.⁴²

Zunächst wird das Tuberfragment aus der typischerweise vorliegenden Varusfehlstellung aufgerichtet, woraufhin die Reposition der imprimierten posterioren Facette erfolgt unter anderem mittels Stößel, mit dem die Gelenkfläche unter visueller Kontrolle des subtalaren Gelenkspalts wieder aufgerichtet wird.^{42,55}

Außerdem können Drähte oder Schanz-Schrauben sowohl in den Kalkaneus als auch in den Talus eingebracht werden. Über diese wird der Kalkaneus entweder per Hand oder mittels Spreizvorrichtung in die korrekte Achse reponiert.⁴² Das Repositionsergebnis wird vorübergehend mit Spickdrähten gesichert. Es folgt die Reposition weiterer Fragmente, wie gegebenenfalls dem Processus anterior, der unter Wiederherstellung des Winkels nach Gissane ausgerichtet und ebenfalls fixiert wird.

Zur Repositionskontrolle werden mit dem Bildwandler ein seitliches und axiales Bild angefertigt, wenn keine gute Einsicht ins Gelenk möglich war, zusätzlich Bröden-Schrägaufnahmen.⁵⁵ Anschließend wird eine Platte lateral dem Kalkaneus aufgelegt gefolgt von der Fixierung aller Fragmente mit winkelstabilen Spongiosa- und Kortikalisschrauben.⁴²

Minimalinvasive Techniken

Bei **minimalinvasiven Operationen**⁶⁰ wird die Sicht entweder mittels Arthroskop, Bildwandler oder über die direkte Sichtkontrolle vom Sinus-tarsi-Zugang aus gewährleistet. Die Reposition des Kalkaneus wird geschlossen, mithilfe eing Bohrter Pins und gegebenenfalls eines Distraktors (siehe Abbildung 1 rechts) oder durch kleine Zugänge, wie dem Sinus-tarsi-Zugang, und flachen Instrumenten erreicht. Sind alle Fragmente reponiert und die Gelenkfläche desimpaktiert und anatomisch ausgerichtet, folgt die perkutane Retention mit **Kirschner-Drähten und Steinmann-**

Pins⁶¹ oder auch einer **Schrauben- und/oder Plattenosteosynthese**.^{55,61,62} Mittels Bildwandler wird intraoperativ die Lage kontrolliert. Diese Technik stößt bei komplexen Frakturen aufgrund der fehlenden Verbindung zwischen den Pins oder Schrauben an ihre Grenzen und erreicht nur bei einfachen Frakturen gute Repositionsergebnisse.⁶³

Über den minimalinvasiven Sinus-tarsi-Zugang kann eine winkelstabile **Platte** zur Retention implantiert werden. Bei diesem Zugang wird ein 4-5cm langer Schnitt von der anterolateralen Ecke des lateralen Malleolus über den Sinus tarsi und das calcaneocuboidale Gelenk bis zur Basis des Os cuboidale gesetzt. Ein zweiter vertikaler Schnitt verläuft ventrolateral des Tuber calcanei. Durch diesen wird die Platte – nach erfolgreicher Reposition mittels Drähten oder Schanz-Schrauben und Aufrichtung der Gelenkfläche mittels flachem Hebelinstrument – eingebracht und entlang der lateralen Kortikalis des Kalkaneus positioniert. Anschließend wird die Verriegelung mittels winkelstabiler Schrauben durchgeführt. Die Wundgröße fällt dabei deutlich geringer aus als beim lateralen Standardzugang.⁶⁴

Nagelosteosynthese (NO)

Zu den minimalinvasiven Techniken zählt die Versorgung mittels **Kalkaneusnagel** (siehe Abbildung 8).

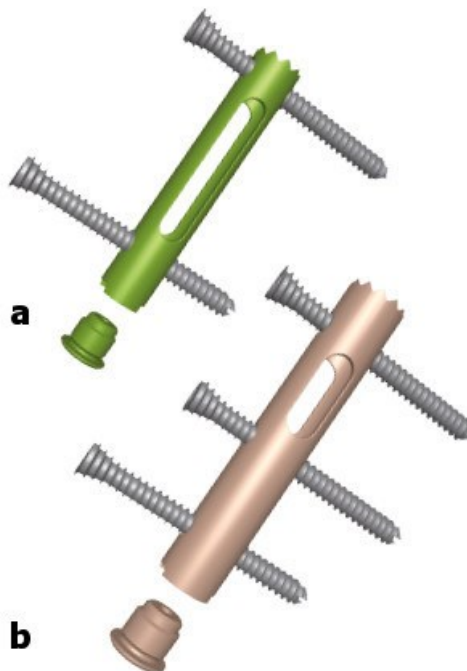


Abbildung 8: Calcanail ®, FH Orthopedics, Heimsbrunn/Mulhouse, Frankreich. a: Osteosynthesenagel; b: Arthrodesenagel.⁴

Der Kalkaneusnagel ist eine Hülse, die über den „through-the-heel“-Zugang von posteroplantar in anterokranialer Richtung in den Kalkaneus eingebracht und von lateral über Schrauben verriegelt wird. An der Spitze ist er zur zusätzlichen Verankerung im Knochen mit Zähnen versehen. Den Kalkaneusnagel gibt es in verschiedenen Durchmessern und Längen zur Frakturversorgung (siehe Abbildung 8 a) und für die primäre oder sekundäre Arthrodesis des subtalaren Gelenkes (siehe Abbildung 8 b).

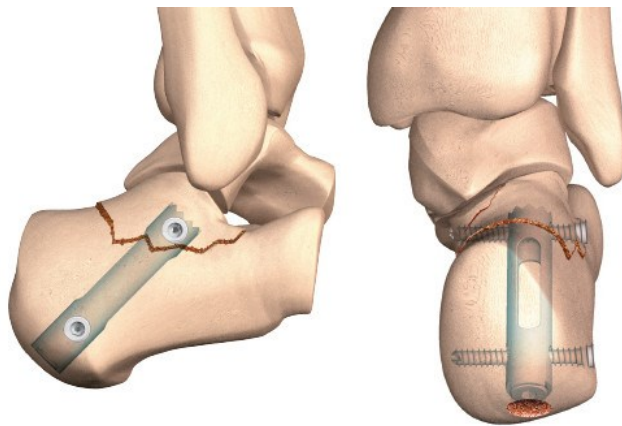


Abbildung 9: Implantierter Calcanail®. FH Orthopedics, Heimsbrunn/Mulhouse, Frankreich⁴

Der Patient wird für die Operation in Bauchlage positioniert. Insbesondere bei beidseitigen Kalkaneusfrakturen ist diese Lagerung empfehlenswert. Alternativ kann der Patient in Seitenlage positioniert und das betroffene Bein ausgelagert werden. Das operative Vorgehen lässt sich in 5 Schritte unterteilen.⁶⁵ Im ersten Schritt wird ein K-Draht in der posterioren Tuberositas positioniert. Hierfür erfolgt eine Inzision am Übergang vom dorsalen zum plantaren Abschnitt der Ferse. Diese sollte vom tiefsten Punkt der Tuberositas 20 mm nach posterior bis auf den Knochen gehen. Über diesen Zugang erfolgt das Einbohren des K-Drahts im 45°-Winkel in Richtung posteriore Facette, dessen Ausrichtung mit dem Bildwandler in zwei Ebenen kontrolliert wird. Die Spitze muss unter dem subtalaren Fragment und oberhalb des Winkels von Gissane positioniert werden. In der anteroposterioren Sicht projiziert sich die Richtung des K-Drahts auf den vierten Interdigitalraum. Der zweite Schritt beinhaltet die Installation eines Distraktors (siehe Abbildung 1 rechts) für die spätere Frakturreposition. Dafür erfolgt die Implantation zwei weiterer 3,2 mm K-Drähte von lateral quer zur Fußachse. Ein Draht wird abhängig vom Frakturtyp in 10 mm Abstand zum späteren Arbeitskanal oberhalb (Joint-depression-Typ Fraktur) oder

unterhalb (Tongue-Typ Fraktur) positioniert. Seine Achse muss senkrecht zum Draht im Arbeitskanal sein, wofür eine Positionierungshilfe genutzt werden kann. Der zweite Draht wird von lateral unter Schonung der Peronealsehnen senkrecht zur lateralen Kortikalis des Talus in diesen eingebracht. Die Spitzen beider Drähte sollten medial tastbar sein, ohne die Haut zu perforieren. Anschließend erfolgt die Anlage des Distraktors und dessen Fixierung an den K-Drähten. Zu diesem Zeitpunkt sollte keine Spannung auf die Drähte gebracht werden. Als dritter Operationsschritt folgt die Präparation des Arbeitskanals. Der 10 mm Hohlbohrer wird über den posterioren K-Draht, der die Richtung des Arbeitskanals anzeigt, geführt und bis unter die eingestauchten Gelenkflächenfragmente vorgebohrt. Während des Bohrens sollte mittels C-Bogen auf mögliches Abweichen des K-Drahts geachtet werden. Anschließend wird mit Entfernung von Hohlbohrer und K-Draht der Bohrkern geborgen. Dieser kann zum Auffüllen des Nagels oder eines möglichen Defektes unter der Gelenkfläche genutzt werden. Im dritten Schritt folgt die Frakturposition. Nun wird mithilfe des Distraktors Spannung auf die zwei K-Drähte aufgebaut und die subtalare Gelenkfläche aufgedehnt. Über den Arbeitskanal erfolgt die Aufrichtung zunächst des medialen und anschließend des lateralen Fragmentes mittels Stößel. Unter Bildwandler-Kontrolle erfolgt die Aufrichtung der Gelenkfläche, bis diese kongruent ist und Böhler-Winkel und Winkel nach Gissane wiederhergestellt sind. Die Implantation des Nagels bildet den letzten Schritt. Zur Bestimmung der Nagellänge liegt eine Messlehre vor. Der ausgewählte Nagel wird nach Einsetzen des Bohrkerns mit dem Nagelhalter unter geringen Drehbewegungen in den Arbeitskanal eingebracht und bis zum Kontakt der Zähne mit den aufgerichteten Fragmenten vorgeschoben. Nach korrekter Ausrichtung des T-Griffes werden über eine Zielhilfe von lateral mit Bohrhilfen K-Drähte in die Verriegelungslöcher bikortikal eingebracht. Nach Abmessen und Überbohren der K-Drähte werden die kanülierten Verriegelungsschrauben in entsprechender Länge eingeschraubt. Über diese erfolgt in diesem Schritt die zusätzliche transversale Reduktion. Die Formen der Verriegelungslöcher bringen Winkelstabilität und die gewindetragenden Schraubenköpfe Kompression. Abschließend erfolgt die Lagekontrolle mit dem Bildwandler. Das Ergebnis zeigt beispielhaft Abbildung 9. Bei frustraner geschlossener Reposition empfiehlt sich der ergänzende Sinus-tarsi-Zugang über dem Winkel nach Gissane. Weiterhin kann mithilfe einer schrägen Schraube von kraniodorsal nach ventrokaudal, die durch die Achillessehnenfasern eingebracht und

durch den Längsschlitz im Nagel geschraubt wird, die Retention erweitert werden (z.B. bei der Tongue-Type Fraktur). Bei der Implantation des Kalkaneusnagels werden kleine Hautinzisionen gesetzt, von denen die größte dorsoplantar liegt und bei diesem „trough-the-heel“-Zugang als Arbeitskanal dient.⁶⁶

Eine weitere Nagelosteosynthese stellt der C-Nail (Fa. Medin) dar, der nach Reposition der Fragmente über den Sinus-tarsi-Zugang in Verbindung mit sieben winkelstabilen Schrauben implantiert wird.⁶⁷

Primäre Arthrodese

Eine weitere Alternative stellt die Versorgung durch primäre **Arthrodese** dar, deren Indikation bei CT-morphologischer multipler Fragmentierung der posterioren Fläche und intraoperativ evaluierter Zerstörung des Knorpels besteht.⁶⁸ Bei hochgradiger Gelenkzerstörung, wie bei Frakturen nach Sanders Typ IV, liegt ein sehr hohes Risiko für eine posttraumatische subtalare Arthrose unabhängig von der Qualität der Reposition vor, weshalb unter Umständen die primäre Arthrodese empfohlen wird.^{1,41} Zudem kann die primäre Arthrodese als eine Alternative bei bereits vorbestehender Subtalararthrose oder schweren Plattfußdeformitäten berücksichtigt werden.⁶⁵ Hierzu wird nach Abtragung der betroffenen Knorpelgelenkflächen eine Verbindung der artikulierenden Knochen mittels langer Zugschrauben oder Arthrodesenägeln (siehe Abbildung 8 b) hergestellt. Der Spalt heilt folgend knöchern aus und es entwickelt sich ein sehr stabiler Rückfuß. Die Konsequenz bei Anwendung am unteren Sprunggelenk ist der Verlust der E- und Inversionsfähigkeit des Rückfußes. In den meisten Fällen wird kein erneuter Eingriff benötigt und die Patienten werden häufig schmerzfrei. Nach Schepers et al.⁶⁹ werden anschließend 75-100 % der Patienten wieder arbeitsfähig.

Additiv zur Plattenosteosynthese oder anderen Verfahren kann eine Defektfüllung mit **Spongiosaplastik** erfolgen. Durch diese Kombination wird die Beweglichkeit/Instabilität der Frakturfragmente weiter reduziert.⁷⁰ Singh et al.⁷¹ zeigten, dass die Reposition - gemessen am Böhler-Winkel - länger erhalten bleibt und die Patienten nach der Operation früher wieder zur Vollbelastung übergehen können.

Zur Kontrolle des Repositionserfolges insbesondere gelenkbetreffender Fragmente und Vermeidung kleiner Stufen (>1mm), die durch Inkongruenzen zu

Gelenkdestruktionen führen können, sind neben der stets verwendeten Kontrolle mittels Bildwandler weitere intraoperativ unterstützenden Techniken, wie Arthroskopie und die 3D-Bildgebung hilfreich. Durch diese werden intraoperativ in bis zu 40 % der Fälle fehlplatzierte Schrauben oder Inkongruenzen aufgedeckt und können somit unmittelbar behoben werden.⁷²⁻⁷⁴

2.7.3 Komplikationen

Wundheilungsstörungen

Die herkömmliche Versorgung einer Kalkaneusfraktur mittels Plattenosteosynthese über den erweiterten lateralen Standardzugang ist mit hohen Komplikationszahlen assoziiert.^{25,75} Es treten zum einen oberflächliche Wundheilungsstörungen auf, die mit Wundrandnekrosen einhergehen können.⁷⁶ Zum anderen zeigen sich tiefreichende Weichteilinfektionen, die sich auf den Knochen ausbreiten und somit eine Osteitis verursachen können mit der Notwendigkeit der frühzeitigen Entfernung des Osteosynthesematerials und meist Repositionsverlust und möglicher erneuter Fehlstellung.^{61,77}

Superfizielle Wundheilungsstörungen treten in den verschiedenen Studien zur Plattenosteosynthese in 7,8 % bis 26,3 % der Fälle auf, tiefe Weichteilinfektionen in bis zu 15,8 %. Zusammengerechnet kommen postoperative Wundheilungsstörungen und Weichteilinfektionen nach ORIF mittels Plattenosteosynthese in 11 % bis 42,1 % der Fälle vor.^{37,76-78}

Die Heilungsschwierigkeiten können infolge des postoperativen Ödems oder Hämatoms entstehen, das sich anatomisch bedingt an der Ferse nur in geringem Maße subkutan sammeln kann. Es spannt bereits bei kleinen Mengen die stark beanspruchte Wunde, was die Durchblutung behindert und die Heilung letztendlich verzögert. Hierdurch kann sich die häufige Komplikation der Wundheilungsstörung nach ORIF (open reduction internal fixation) entwickeln.⁷⁹⁻⁸²

Eine vergleichende Studie von Jin et al.⁸³ stellte der Plattenosteosynthese mittels ORIF die Implantation derselben Platte mittels MIPO (minimalinvasive plate osteosynthesis) gegenüber. Hierbei konnte ein signifikanter Rückgang der oberflächlichen Wundheilungsstörungen nach MIPO (6,7% der Fälle) gegenüber ORIF (37,1% der Fälle) gezeigt werden. Tiefe Infektionen traten nach MIPO nicht auf

und nach ORIF in 5,7% der Fälle. Dies gibt den Hinweis für den Zusammenhang zwischen Größe des Zugangstraumas und Wundheilungsstörungen.

Die zur Frakturversorgung verwendeten **Kirschner-Drähte und Steinmann-Pins** werden perkutan implantiert.⁶¹ Superfizielle Wundheilungsstörungen nach Kirschner-Draht-Osteosynthese fanden sich bei Arastu et al.⁸⁴ in 3,2 % der Fälle und bei Biz et al.⁷⁷ in 9,1 % der Fälle, tiefe Infektionen traten nicht auf.

Die perkutane Fixierung nach Reposition ist außerdem mittels **perkutaner Schraubenosteosynthese** möglich, die nur selten Wundheilungsstörungen verursacht.⁸⁵ Oberflächliche Wundheilungsstörungen treten in bis zu 5,7 % der Fälle und tiefe in bis zu 2,8 % der Fälle auf.^{62,77,78}

Eine Versorgung mittels **Fixateur externe** zeigte sich im Vergleich zu den anderen minimalinvasiven und perkutanen Techniken als weniger weichteilschonend.⁸⁶

In Einzelfällen kann eine Wundinfektion neben der intravenösen Antibiose eine Implantatentfernung mit Anlage eines Fixateur externe und serieller Wundspülung oder die temporäre Versorgung mit Vakuumverbänden bis hin zur plastischen Deckung nach den Prinzipien der septischen Chirurgie zur Folge haben. Um dem entgegenzuwirken, muss bereits präoperativ der korrekte Operationszeitpunkt gewählt werden, der möglichst unmittelbar nach ausreichender Abschwellung liegen sollte, da verlängerte präoperative Phasen eine Wundheilungsstörung begünstigen und die Reposition erschweren.^{42,87} Zudem hat ein intraoperativ sorgsamer Umgang mit der Schnittkante und eine sorgfältige Wundnaht ohne inkarzerierte Haut einen positiven Effekt auf die Wundheilung.⁸⁸ Weitere generelle Risikofaktoren für die Wundheilungsstörung beziehungsweise den Wundinfekt sind höheres Alter, offene verschmutzte Wunden, Diabetes mellitus, Rauchen und Übergewicht.⁸⁹

Pastor et al.⁵⁷ erfassten anhand einer deutschlandweiten Befragung der Leiter traumatologischer und orthopädischer Kliniken Ursachen für Wundheilungsstörungen bei Kalkaneusfrakturen (die Werte in Klammern benennen, wie viele der einbezogenen Kliniken diesen Risikofaktor angaben). Auszugsweise seien die schlechte Mikrozirkulation des Fußes (88 %), die intraoperative Vernachlässigung weichteilschonender Maßnahmen (86 %), eine lange Operationszeit (79 %), Rauchen (76 %), eine inadäquat lange präoperative Liegezeit (76 %), schlechte

Compliance (64 %), geringe Erfahrung des Operateurs (49 %), und das Patientenalter > 50 (38 %) erwähnt.

Weitere Komplikationen

Nach ORIF mittels Plattenosteosynthese kommen revisionspflichtige Hämatome und Kompartmentsyndrome in bis zu 2,6 % der Fälle vor. Als Langzeitkomplikation sei die persistierende Schmerzsymptomatik bei ausgeprägter Osteoarthrose genannt, bei der die sekundäre Arthrodesen als ultima ratio bleibt. Nach Plattenosteosynthese wird sie in bis zu 28,7 % der Fälle nötig.^{37,41,76-78,90-92} Pseudarthrosen wurden in den Studien keine dokumentiert, treten aber in seltenen Einzelfällen auf.⁹³

Nach perkutaner bzw. minimalinvasiver Schraubenosteosynthese zeigten sich bei Abdelazeem et al.⁶², Biz et al.⁷⁷ und Feng et al.⁷⁸ in keinem Fall revisionspflichtige Hämatome oder Kompartmentsyndrome. Zur Pseudarthrose kam es in diesen Studien in bis zu 2,4 % und eine sekundäre Arthrodesen wurde in bis zu 8,6 % nötig.^{62,77,78} Bei Frakturen nach Sanders Typ II zeigt die perkutane Schraubenosteosynthese funktionell vergleichbare Werte mit der Plattenosteosynthese.^{63,94} Bei Sanders Typ III Frakturen fallen nach Feng et al.⁷⁸ die Ergebnisse der perkutanen Schraubenosteosynthese jedoch signifikant schlechter aus als nach Plattenosteosynthese, was aus deren Sicht insbesondere auf eine schlechtere Retention der Schraubenosteosynthese bis zur Heilung im Vergleich zur Plattenosteosynthese zurückzuführen ist. Im Vergleich Plattenosteosynthese vs. Nagelosteosynthese konnte durch Goldzak et al.⁹⁵ anhand von Kadaverpräparaten in-vitro gezeigt werden, dass der Kalkaneusnagel bezüglich primärer Stabilität der Platte überlegen war und der Böhler-Winkel besser erhalten blieb. Sie schlussfolgerten ein geringeres Risiko des Repositionsverlusts nach Nagelosteosynthese gegenüber der Plattenosteosynthese.

Insgesamt ergeben sich als **postoperative Komplikationen** Infektionen (Weichteile, Knochen, Osteosynthesematerial), Wundheilungsstörungen mit möglichen Wundrandnekrosen und -dehiszenzen, teils revisionspflichtige Hämatome, Algodystrophien (complex regional pain syndrome), mechanisch induzierte Peronealsehnenreizungen, Nervenschädigungen (Nervus cutaneus surae lateralis, Nervus tibialis, Nervus plantaris) und Schädigungen der Sehne des M. flexor hallucis

longus⁶¹ sowie als Langzeitfolgen Arthrosen und Repositionsverluste mit Funktionseinschränkungen.^{37,78}

3 Fragestellung

In dieser Arbeit werden die Langzeitergebnisse zweier verschiedener operativer Therapien für die Fersenbeinfraktur verglichen. Bisher ist die Plattenosteosynthese über den erweiterten lateralen Standardzugang die überwiegend durchgeführte Methode, wenngleich sie mit einem hohen Komplikationsrisiko einhergeht. Es wurde aufgezeigt, dass sich dieses vor allem in häufigen oberflächlichen Wundheilungsstörungen und teils tiefreichenden Wundinfektionen, die Folgeeingriffe nötig machen können, widerspiegelt. Der Kalkaneusnagel birgt das Potential, diese Risiken zu minimieren. Seine Implantation geht mit einem geringen Weichteilschaden einher. Weiterhin retiniert er die posteriore Gelenkfläche, die durch den „through-the-heel“-Arbeitskanal direkt erreicht und aufgerichtet werden kann, in korrekter Stellung durch seine intrafokale Lage. Die dabei aus dem gebohrten Arbeitskanal gewonnene autologe Spongiosa kann zur Defektauffüllung genutzt werden, was die Frakturkonsolidierung fördert.

In dieser retrospektiven Studie werden die Resultate nach Osteosynthese mit dem intramedullären Kalkaneusnagel über einen minimal-invasiven Zugang mit jenen der Plattenosteosynthese über den erweiterten lateralen Standardzugang durchschnittlich 3,9 Jahre nach operativer Versorgung verglichen. Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

1. Gelingt die Reposition und Retention der Gelenkflächen bei beiden Verfahren gleichwertig?
2. Unterscheidet sich das funktionelle Outcome nach Nagelosteosynthese im Vergleich zur Plattenosteosynthese?
3. Sind die Komplikationszahlen beim minimalinvasiven Verfahren niedriger?
4. Spiegelt sich dies in den sozioökonomisch bedeutsamen perioperativen Parametern wie Operations- und Liegezeit wieder?

4 Material und Methodik

Die Nachuntersuchung umfasste eine seitenvergleichende funktionelle Untersuchung beider unterer Extremitäten. Zudem wurden der subjektive Leidensdruck sowie die Funktion im Alltag mittels eines Fragebogens erhoben. Mit diesem konnten zwei Fersenbeinoutcome-Scores (American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score⁹⁶, Revised Foot Function Index⁹⁷⁻⁹⁹ (R-FFI)) sowie die Visuelle Analogskala für das Schmerzempfinden erfasst werden. Weiterhin wurden von den Patienten Röntgenaufnahmen des betroffenen Fersenbeins angefertigt. Im Falle einer vorliegenden aktuellen Bildgebung (nicht älter als 3 Monate) wurde auf eine erneute Röntgenaufnahme verzichtet. Zusätzlich wurden Arztbriefe und Operationsberichte in die Auswertung eingeschlossen und hierdurch Angaben unter anderem bezüglich des intraoperativen Vorgehens und der Operationszeit, Informationen zum Unfallzeitpunkt und -hergang, eventuelle Begleitverletzungen, den Zustand der Weichteile und Verletzungsschwere, präoperative Zusatzmaßnahmen, die stationäre Liegezeit und postoperative Komplikationen gesammelt. Die retrospektive Nachuntersuchung erfolgte in allen Fällen durch den gleichen Untersucher.

Die Studie wurde am 05.07.2016 unter der Nummer A 2014-0103 bei der zuständigen Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock bewilligt. Alle einbezogenen Patienten erklärten sich mit der Studie einverstanden und willigten schriftlich in die Nachuntersuchung ein.

4.1 Patientenkollektiv

Dem Einschluss der Patienten lagen die Kriterien Alter über 18 Jahre, intraartikuläre Fersenbeinfraktur, operative Versorgung mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese oder Kalkaneusnagel und die schriftliche Einwilligung durch den Patienten vor. Als einziges Ausschlusskriterium galt eine bestehende Schwangerschaft zum Rekrutierungszeitpunkt.

Die untersuchten Patienten wurden anhand der Osteosynthese in zwei Gruppen eingeteilt. Die Patienten, deren Fersenbeinfraktur über den erweiterten lateralen Standardzugang mit winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt wurde, bildet die eine (Platten-Gruppe) und die Patienten mit Osteosynthese durch den

Kalkaneusnagel die andere Gruppe (Nagel-Gruppe). In der Studie wurde ausschließlich der kurze Calcanail® zur Frakturversorgung verwendet.

Das Ausgangskollektiv umfasste 45 Patienten, welche von 2010 bis 2014 die initiale Frakturversorgung durch die beiden genannten Verfahren erhielten. In der aktuellen Studie nahmen 39 Patienten (86,7 %) teil, die in 2016 und 2017 nachuntersucht wurden.

Von den sechs nicht untersuchten Patienten wurden drei weder telefonisch noch postalisch erreicht und drei lehnten die Teilnahme aus persönlichen Gründen ab.

In beiden Gruppen gab es je einen männlichen Patienten, bei dem ein beidseitiger Fersenbeinbruch vorlag. Da sich die Füße beider Patienten im Verlauf nicht identisch entwickelten und es daher in vielen Teilen der statistischen Auswertung sinnvoller war, wurden beide Patienten für beide Füße separat betrachtet. Dadurch ergab sich in der Statistik ein Kollektiv von 41 Fällen, von denen 24 in die Platten- und 17 in die Nagel-Gruppe zählten.

4.2 Perioperative Daten

Anhand der Dokumentation wurden die Unfallmechanismen, die zur Fraktur führten, aufgenommen und ihre Häufigkeiten ermittelt. Außerdem wurde erfasst, in wie vielen Fällen der Unfall während der Arbeitszeit stattfand und welcher Beruf zum Unfallzeitpunkt ausgeübt wurde.

Der posttraumatische **Weichteilzustand** der Verletzungsregion wurde dokumentiert und nach Tscherne und Oestern¹⁰⁰ klassifiziert. Hierbei werden bei geschlossenen Frakturen vier Grade unterschieden (siehe Tabelle 1). Offene Frakturen traten in keinem der Fälle auf.

Tabelle 1: Weichteilschaden geschlossener Frakturen, Einteilung nach Tscherne und Oestern

| Tscherne und Oestern | Kriterien |
|----------------------|---|
| Grad 0 | geringer Weichteilschaden; einfache Fraktur |
| Grad 1 | oberflächliche Abschürfungen oder Prellung; einfache, mäßige oder schwere Fraktur |
| Grad 2 | tiefe kontaminierte Abschürfung und umschriebene Haut- und Weichteilprellung; unmittelbar drohendes Kompartmentsyndrom; mäßige oder schwere Fraktur |
| Grad 3 | subkutanes Décollement und ausgedehnte Haut und Muskelprellung; bestehendes Kompartmentsyndrom; alle Frakturen |

Die **Frakturschwere** wurde anhand der computertomographischen Bildgebung nach der Sanders-Klassifikation³⁷ unterteilt. Für die statistische Auswertung und den Vergleich wurde die Einteilung auf Sanders I, II, III und IV reduziert und die Beschreibung der Frakturlinien nach A, B und C vernachlässigt, sodass sich folgende Einteilung ergab:

Tabelle 2: reduzierte Sanders-Klassifikation für Kalkaneusfrakturen

| Schweregrad | Kriterien |
|-------------|--|
| Sanders I | Keine Fragmentdislokation im Bereich der posterioren Facette |
| Sanders II | Gelenkbeteiligung mit zwei Fragmenten, disloziert |
| Sanders III | Drei Fragmente durch zwei entstandenen Frakturlinien, disloziert |
| Sanders IV | Alle Frakturen mit vier oder mehr Fragmenten, Trümmerfrakturen |

Außerdem wurde anhand der konventionellen Röntgendarstellung nach Essex-Lopresti³⁶ klassifiziert. Daraus ergab sich die Unterscheidung in Tongue-Typ und Joint-depression-Typ.

4.3 Radiologische Untersuchung

Die radiologische Untersuchung umfasste eine seitliche und eine axiale Aufnahme des Fersenbeins.

Im seitlichen Bild wurden der **Böhler Winkel** und der **Winkel nach Gissane** gemessen (siehe Abbildung 3 a). Anschließend wurde der Repositionsverlust berechnet. Dieser ergibt sich als Differenz aus dem postoperativen und dem aktuell gemessenen Winkel.

Zudem wurde mittels beider Aufnahmen der **Osteoarthrose-Grad** im subtalaren Gelenk beurteilt. Die Einteilung erfolgt hierbei nach dem Paley Grading System (siehe Tabelle 3).¹⁰¹

Tabelle 3: Paley Grading System für Osteoarthrose^{101,102}

| Osteoarthrose-Grad | Kriterien |
|--------------------|---|
| Grad 1 | Geröllzysten (Pseudozysten aus nekrotischem Knochen- und Knorpelgewebe), Osteophyten (knöcherne Vorsprünge am Rande der Gelenkfläche), Subchondrale Sklerose (Knochenverdichtung unmittelbar unter der Knorpelschicht als Kompensation der höheren Belastung) |
| Grad 2 | Zusätzlich Abnahme der Breite des Gelenkspaltes |
| Grad 3 | Verlust des Gelenkspaltes im Großteil des Gelenkes |

4.4 Funktionelle Untersuchung

Die funktionelle Untersuchung fand an entkleideten Füßen des liegenden und stehenden Patienten statt. Jeder Untersuchungsschritt wurde im direkten Seitenvergleich durchgeführt. Zunächst wurden beide Füße bezüglich makroskopischer Auffälligkeiten, Zustand der Haut und der Narben inspiziert. Anschließend wurde durch subtiles Bestreichen der intakten und vernarbten Haut auf Sensibilitätsstörungen, wie Hypästhesien, Dysästhesien und Parästhesien, geprüft. Wurde von gelegentlichen Störungen berichtet, wurde auch das dokumentiert. Medial, lateral, plantar und dorsoplantar wurde palpatorisch Druck auf das subtalare und das calcaneocuboidale Gelenk, auf die Weichteile und sämtliche Narben ausgeübt und ein gegebenenfalls provoziertes Schmerz dokumentiert.

Anhand der **Umfänge** beider Füße - horizontal unter den Knöcheln, diagonal über Ferse und Spann und vertikal von der Sohle senkrecht zum Spann - wurde die Seitendifferenz einer Weichteilschwellung bestimmt. Eine mögliche Schwellneigung wurde anamnestisch erfragt und in der klinischen Untersuchung mitbeurteilt.

Die Länge sämtlicher **Narben**, die in Zusammenhang mit den Operationen standen, wurden gemessen und zu einer Gesamtzahl addiert, sodass jedem Patienten ein Wert für die Narbenlänge unabhängig von deren Position zugeteilt werden konnte.

Zur funktionellen Prüfung wurden mithilfe eines Winkelmessers die maximal mögliche aktive Supination, Pronation, Plantarflektion und Dorsalextension gemessen. Tabelle 4 zeigt die zugrunde gelegten Normwerte.⁶

Tabelle 4: zugrunde gelegte Normwerte für das Bewegungsausmaß der Sprunggelenke

| | |
|----------------------------------|------------|
| Supination/ Pronation | 50°/0°/25° |
| Plantarflektion/ Dorsalextension | 45°/0°/25° |

Zuletzt erfolgte die Beurteilung von Fußdeformitäten und des Gangbildes. Anhand des Barfußstands und -gangs wurde gegebenenfalls das Vorliegen eines Pes planovalgus oder planus dokumentiert und auf eine mögliche Achsfehlstellung zwischen Unterschenkel und Ferse und das Gangbild beurteilt. Anschließend wurde die Fähigkeit zum Zehen- und Fersengang geprüft und gegebenenfalls Schmerzen darunter dokumentiert.

Die erhobenen Werte wurden zusätzlich nach dem AOFAS-Score evaluiert (siehe Kapitel 4.6).

4.5 Fragebogen

Der Fragebogen umfasste zwei Abschnitte. Der erste Abschnitt beinhaltet Einzelfragen, die sich auf den Zeitraum seit der Operation beziehen. Es wurde gefragt, ob eine erneute Operation am betroffenen Fuß stattfand (u.a. Implantatentfernung oder Arthrodeese) oder Komplikationen auftraten. Wie viele physiotherapeutische Termine bisher stattgefunden hatten, war in den meisten Fällen nicht sicher erinnerlich, weshalb die dokumentierten Werte diesbezüglich in gemeinsamer Schätzung durch Patienten und Untersucher entstanden und entsprechend eingeschränkt aussagekräftig sind. Zusätzlich sollte angegeben werden, welcher Beruf seit wann ausgeübt wurde (Wiedereingliederungserfolg), ob und wie stark Schmerzen auftraten (AOFAS-Score und Visuelle Analog Skala), Schmerzmittel eingenommen wurden, Sport-/ Freizeitaktivitäten aufgegeben wurden, im Tagesverlauf Schwellungen am Fuß auftraten, Gehhilfen nötig waren, bestimmte Oberflächen Schwierigkeiten beim Gehen bereiteten (AOFAS-Score), inwiefern sich die Patienten beeinträchtigt fühlten (AOFAS-Score) und wie sie das Operationsergebnis rückblickend mit einer Schulnote beurteilen würden. Ziel des Letzteren war die Einschätzung der Patientenzufriedenheit.

Der zweite Teil des Bogens wurde aus dem Revised Foot Function Index (R-FFI) gebildet, der nachfolgend ausführlich erläutert wird.

4.6 Scores

Zu den verwendeten Scores gehörten eine visuelle Schmerzskala,¹⁰³ der AOFAS-Score⁹⁶ und der Revised Foot Function Index.^{98,99}

Für die Einordnung seines subjektiven Schmerzempfindens zum aktuellen Zeitpunkt erhielt der Patient eine graphische Schmerzskala (Visuelle Analog Skala; VAS),¹⁰³ die nachfolgend abgebildet wurde:

Auf einer Skala von 1-100, wo würden Sie Ihre Schmerzen einordnen?

(1= kein Schmerz, 100= stärkster sich vorzustellender Schmerz)

1100

Abbildung 10: VAS-Schmerzskala

Der verwendete im Deutschen validierte **AOFAS-Score** (Sprunggelenk/Rückfuß Sektion)⁹⁶ enthält Kriterien zu **Schmerz**, **Funktion** und **Alignement** (Achsenstellung des Rückfußes). Der **Schmerz** wurde vom Patienten mit „kein“, „leicht-gelegentlich“, „mittelmäßig-täglich“ oder „heftig-fast immer“ eingeordnet. Dies wurde dabei mit 40, 30, 20 oder 10 Punkten bewertet. Für die **Funktion** wurden insgesamt 0-50 Punkte vergeben, wobei in sieben Abschnitte unterteilt wurde (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: AOFAS-Score und dessen Beurteilung; ADL=activities of daily living

| AOFAS - Funktion | Einschränkung bzw. Beurteilung und Punkte | | | |
|-----------------------------|---|--|---|--|
| Aktivität, Gehhilfen | 10P keine Einschränkung und Gehhilfen | 7P Einschränkung bei Sport, nicht bei ADL/ keine Gehhilfe | 4P Einschränkungen bei Sport und ADL + Gehstock | 0P bei Allem starke Einschränkung + Orthese, Rollator, Rollstuhl |
| Maximale Gehstrecke | 5P >2500m | 4P 1600-2500m | 2P 400-1200m | 0P <400m |
| Gehprobleme auf Untergrund | 5P keine | 3P gering auf Unebenheiten | | 0P stark auf Unebenheiten |
| Gang-abnormalität | 8P keine/leichte | 4P augenscheinliche | | 0P ausgeprägte |
| Sagittale Bewegung | 8P leicht/normal (>30°) | 4P mäßig (15°-29°) | | 0P stark (<15°) |
| Rückfuß-bewegung | 6P normal (75-100 %) | 3P mäßig (25-74 %) | | 0P stark (<25 %) |
| Gelenk-Hinterfuß-Stabilität | 8P stabil | | | 0P definitiv instabil |

Das **Alignment** wurde mit folgenden Punkten bewertet:

- „gut plantigrader Fuß, Gelenk-Hinterfußachse normal“ (10 P)
- „ausreichend plantigrader Fuß, um einige Grad der Gelenk-Hinterfußachse abweichend ohne Symptome“ (5 P)
- „nicht plantigrader Fuß, erhebliche Abweichung der Gelenk-Hinterfußachse mit Symptomen“ (0 P)

Die maximal erreichbare Punktzahl im AOFAS-Score waren 100 Punkte.¹⁰⁴ Abhängig von der erreichten Gesamtpunktzahl ließen sich Unterteilungen in „sehr gut“ (90-100 P), „gut“ (80-89 P), „befriedigend“ (60-79 P) und „schwach“ (< 60 P) ableiten.¹⁰⁵ Es wird jedoch davon abgeraten, die Ergebnisse ausschließlich auf diese Beurteilung zu reduzieren, da hierdurch die Verteilung der Punkte in den einzelnen Kriterien nicht berücksichtigt wird.¹⁰⁶

Der **Revised Foot Function Index (R-FFI)**^{97-99,107} umfasste 5 Kategorien: Schmerz (11 Fragen), Steifigkeit (8 Fragen), Schwierigkeiten in Folge der Fraktur (20 Fragen), Leistungseinschränkung (10 Fragen) und soziale Aspekte (19 Fragen), jeweils bezogen auf die letzte Woche. Dabei wurden 1-4 Punkte vergeben (siehe Tabelle 6 als Beispiel). In einigen wenigen Fällen stand „5“ zur Auswahl, das als „nicht zutreffend“ anzusehen war.

Tabelle 6: Beispiel R-FFI, Kategorie Schmerz

| Schmerz | kein | mild | mäßig | stark |
|---------------|------|------|-------|-------|
| barfuß Stehen | 1 ✘ | 2 | 3 | 4 |
| barfuß Gehen | 1 | 2 ✘ | 3 | 4 |

Insgesamt wurden 68 Situationen (bspw. „Beim barfuß Stehen“) abgefragt mit denen eine Punktzahl von 68 bis 272 Punkten erreicht werden konnte. Zur Auswertung wurden die Werte eines Patienten addiert und durch die maximal mögliche Punktzahl dividiert, um einen Prozentwert zu erhalten. Wenn eine „5“ angekreuzt werden musste, wurde diese Frage gestrichen und auch von der maximal möglichen Gesamtpunktzahl abgezogen. Ein hoher Wert entsprach einem schlechteren Ergebnis.^{99,108}

4.7 Statistische Analyse

Die ermittelten Daten wurden auf Papierbögen notiert und in eine Microsoft Excel (Standard 2013) Tabelle übertragen. Die Mittelwerte mit Standardfehler, Minima und Maxima wurden in dieser Tabelle ermittelt. Die Prüfung auf Normalverteilung für ordinal und metrisch skalierte Werte erfolgte mittels „Kolmogorov-Smirnov-Test“. Daraufhin erfolgte die Signifikanzprüfung mit dem „T-Test für zwei unabhängige Stichproben“ bei normalverteilten Werten und dem „Mann-Whitney-U-Test“ bei nicht normalverteilten Werten. Lagen nominal verteilte Werte vor, wurde für die Signifikanzprüfung der Chi-Quadrat-Test angewendet. Die genannten Tests wurden mit SPSS (Superior Performing Software System, Version 25 - 2017, Premium Edition, IBM) durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha=0,05$ festgelegt. Werte mit $p<0,05$ wurden als signifikant beurteilt.

Die Angabe der Werte erfolgte mit Mittelwert (MW) \pm Standardfehler vom Mittelwert (SEM) und der Streubreite in Klammern (Minimum - Maximum).

5 Ergebnisse

5.1 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv setzte sich aus 41 Fällen/Füßen (39 Patienten) zusammen. Es wurde in die Platten-Gruppe (PG) mit 24 und die Nagel-Gruppe (NG) mit 17 Fällen unterteilt.

5.1.1 Geschlechterverteilung

Die Geschlechterverteilung des gesamten Kollektivs entsprach mit 38 Männern (93 %) und 3 Frauen (3 %) etwa einem Verhältnis von 13:1.

Alle betroffenen Frauen wurden mit einem Kalkaneusnagel versorgt. Somit fanden sich in der Platten-Gruppe 24 Füße von männlichen Patienten. Zur Nagel-Gruppe zählten 14 Füße von männlichen und 3 Füße von weiblichen Patienten.

5.1.2 Altersverteilung

Im gesamten Kollektiv lag zum Zeitpunkt des Frakturgeschehens das durchschnittliche Alter bei $52,2 \pm 2,0$ Jahren (26-88). Die Altersverteilung in den beiden Gruppen ist im folgenden Diagramm gegenübergestellt.

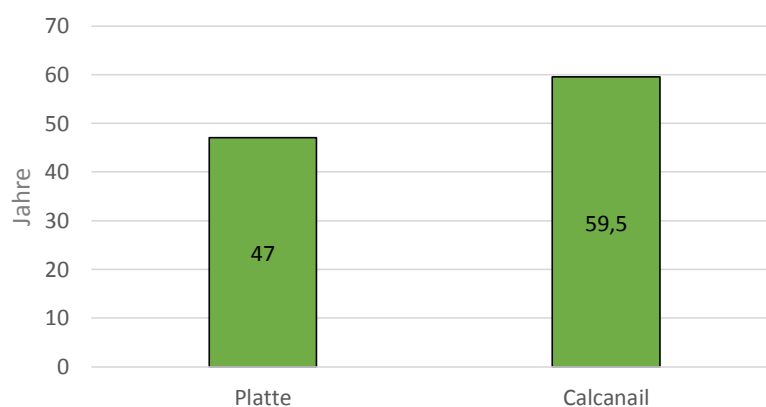


Abbildung 11: durchschnittliches Alter in den Gruppen (Jahre)

In der Platten-Gruppe lag das Alter bei durchschnittlich $47,0 \pm 1,9$ Jahren (26-64), in der Nagel-Gruppe waren es $59,5 \pm 3,3$ Jahre (31-88).

5.1.3 Frakturmechanismus

Die Mechanismen, die zur Fraktur des Kalkaneus führten, wurden in vier Gruppen eingeteilt. Die erste und häufigste Gruppe stellte der „Sturz aus Höhe“ dar (33 Fälle), in den meisten Fällen (21/33) von einer Leiter. „Hochrasanztrauma“ (1 Fall), „Distorsionstrauma“ (5 Fälle) und „Quetschtrauma“ (2 Fälle) waren seltener. Das folgende Diagramm zeigt die Verteilung.

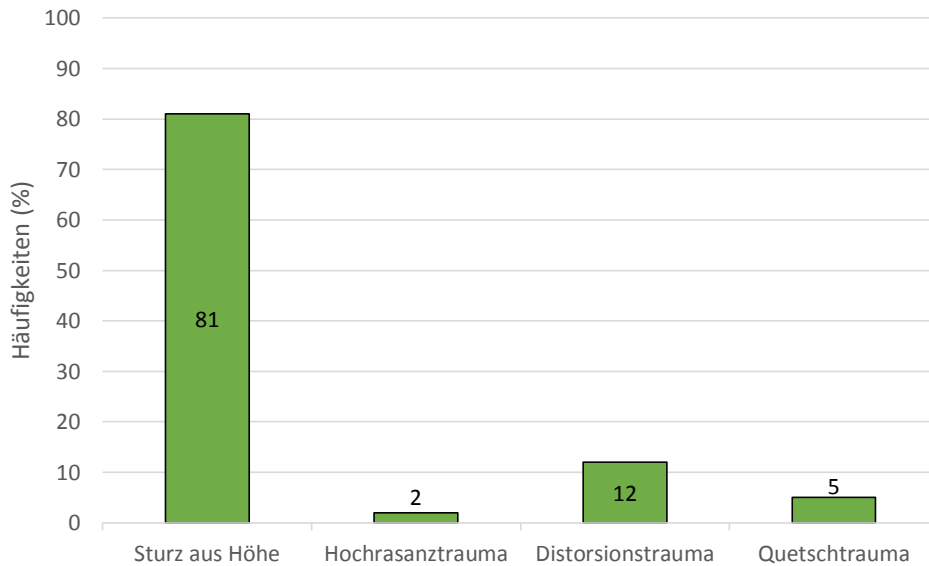


Abbildung 12: Unfallhergang im gesamten Kollektiv (%)

In 27 Fällen (66 %) geschah der Unfall während der Arbeit, in 14 Fällen (34 %) während der Freizeit.

Die prozentuale **Seitenverteilung** ist in Abbildung 13 dargestellt.

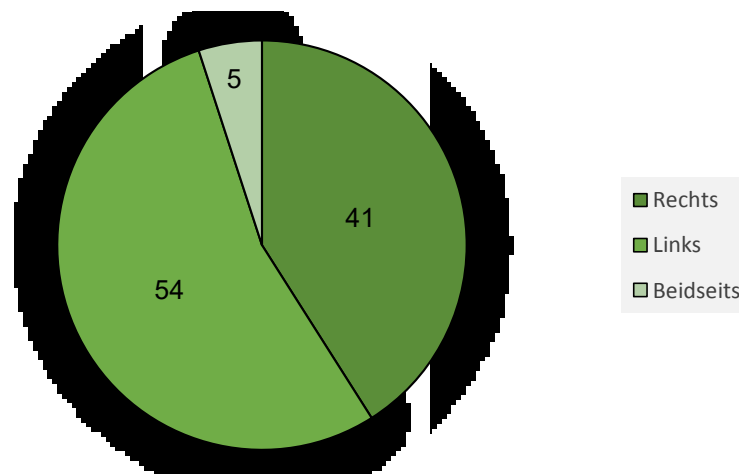


Abbildung 13: Seitenverteilung der Frakturen des gesamten Kollektivs (%)

Im gesamten Kollektiv lagen in 16 Fällen linksseitige, in 21 Fällen rechtsseitige und mit je einem Fall pro Gruppe 2 bilaterale Frakturen vor.

5.1.4 Weichteilzustand

Die perioperative Dokumentation ermöglichte die Einteilung der Weichteilverhältnisse für alle Fälle nach Tscherne und Oestern (siehe Abbildung 14). In der Platten-Gruppe zeigte sich in 12 Fällen kein Weichteilschaden und in je 4 Fällen Grad 1-3. In der Nagel-Gruppe fanden sich 9 Fälle ohne Weichteilschaden, 5 Fälle mit 1°, 2 Fälle mit 2° und 1 Fall mit 3°. Zur besseren Vergleichbarkeit der Patienten mittels statistischer Verfahren erfolgte eine Zuordnung der Schweregrade zu den ganzen Zahlen 1-4. Hierdurch ergab sich eine numerische Ordinalskalierung. Somit wurde für die Berechnung anstelle Grad 0 mit 1 gerechnet, für Grad 1 mit 2, für Grad 2 mit 3 und für Grad 3 mit 4. Daraus ergaben sich als Mittelwerte für die Platten-Gruppe $2,1 \pm 0,3$ (1-5) und für die Nagel-Gruppe $1,7 \pm 0,3$ (1-5). Gerundet ließ sich für beide Gruppen der Wert 2 ermitteln, was zurückgeführt einem Weichteilschaden 1° entsprach.

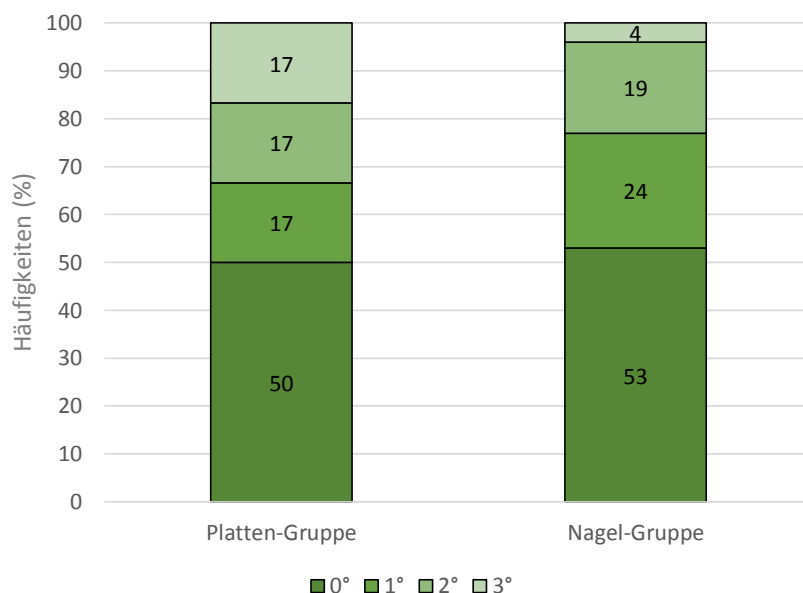


Abbildung 14: Weichteilzustand des betroffenen Fußes in den Gruppen (%)

5.1.5 Sanders-Klassifikation

Die Häufigkeitsverteilung der Frakturschwere nach der Sanders-Klassifikation (siehe Abbildung 15) zeigte schwerere Frakturmuster in der Nagel-Gruppe, wobei in dieser die Fraktur nach Sanders-Typ I in keinem Fall, Typ II in 6 Fällen, Typ III in 9 Fällen und Typ IV in 2 Fällen vorkam. In der Platten-Gruppe verteilten sich die Fälle auf 3

Sanders-Typ I, 11 Typ II, 8 Typ III und 2 Typ IV Frakturen. Im Durchschnitt lagen in der Platten-Gruppe Frakturen nach Sanders-Typ II ($2,4 \pm 0,2$ (1-4)) und in der Nagel-Gruppe Sanders-Typ III ($2,8 \pm 0,2$ (2-4)) vor.

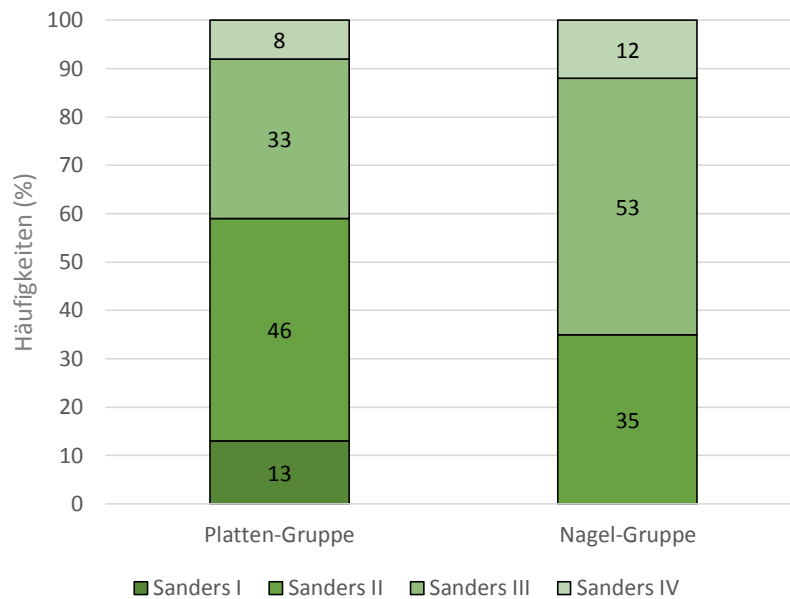


Abbildung 15: Sanders-Klassifikation der Frakturen in den Gruppen (%)

5.1.6 Essex-Lopresti Klassifikation

Des Weiteren erfolgte die Frakturklassifikation nach Essex-Lopresti (siehe Abbildung 16). In beiden Gruppen traten sowohl Frakturen entsprechend dem Tongue-Typ (Platten-Gruppe 7 Fälle, Nagel-Gruppe 3 Fälle) als auch dem Joint-depression-Typ (Platten-Gruppe 17 Fälle, Nagel-Gruppe 14 Fälle) auf.

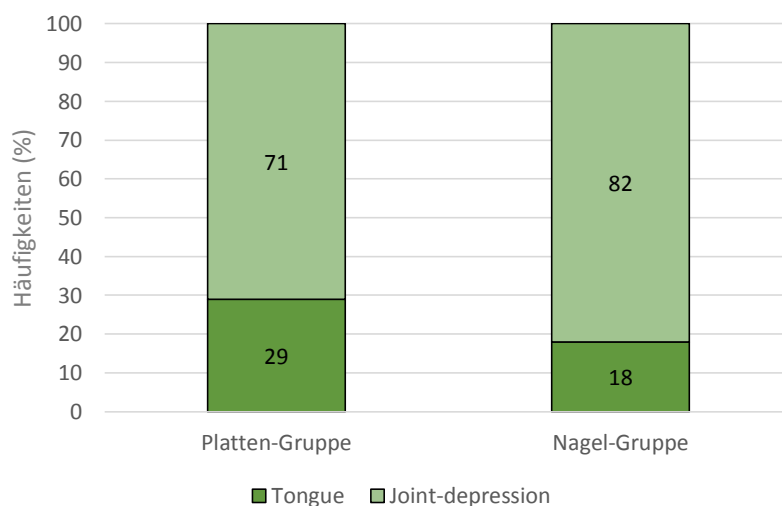


Abbildung 16: Essex-Lopresti-Klassifikation der Frakturen in den Gruppen (%)

5.1.7 Krankenhausaufenthalt, operatives Vorgehen, Op-Zeit

Die stationäre **Liegezeit** präoperativ lag zwischen 0 und 20 Tagen und betrug im Mittel $6,9 \pm 0,9$ Tage (0-18) in der Platten-Gruppe und $5,5 \pm 1,2$ Tage (0-20) in der Nagel-Gruppe. Diese zeigt keinen signifikanten Unterschied (t-Test $p=0,379$).

Postoperativ betrug die stationäre Liegezeit im Krankenhaus in der Platten-Gruppe im Mittel $11,5 \pm 1,4$ Tage (6-37) und in der Nagel-Gruppe $7,9 \pm 0,8$ Tage (3-14). Hierbei lag ein statistisch **signifikanter** Unterschied vor (Mann-Whitney-U-Test $p=0,043$).

Das **intraoperative Vorgehen** unterschied sich bezüglich der Operationstechniken. In 15 von 16 Fällen der Nagel-Gruppe wurde minimalinvasiv operiert, in sechs Fällen erfolgte die Operation zudem arthroskopisch assistiert. In der Nagel-Gruppe wurde der Eingriff nur in einem Fall als „offen“ beschrieben, bei dem eine komplexe Sanders IV-Fraktur vorlag, für deren Versorgung zusätzlich ein Sinus-tarsi-Zugang zum unteren Sprunggelenk nötig war. In der Platten-Gruppe wurden alle Frakturen mit dem erweiterten lateralen Zugang offen versorgt.

Die durchschnittliche **Operationszeit** betrug für das Gesamtkollektiv im Mittel $93,7 \pm 7,2$ Minuten (34-305). In der Platten-Gruppe waren durchschnittlich $96,3 \pm 11,0$ Minuten (36-305) nötig, in der Nagel-Gruppe hingegen $90,0 \pm 8,2$ Minuten (34-157). Es lag kein signifikanter Unterschied vor (t-Test $p=0,672$).

Die **postoperative Teilbelastung** dauerte nach Plattenosteosynthese $8,7 \pm 0,5$ Wochen (6-12) an. Nach Nagelosteosynthese konnte nach $8,0 \pm 0,3$ Wochen (6-10) wieder voll belastet werden (nicht signifikant nach Mann-Whitney-U-Test $p=0,569$).

5.1.8 Zeit bis zur Nachuntersuchung

Sämtliche Patienten wurden wenigstens 1,5 Jahre nach der Operation nachuntersucht. Durchschnittlich lag die Zeit bis zur Nachuntersuchung bei $3,9 \pm 0,2$ Jahren (1,7-7,3). Der gesamte Untersuchungszeitraum lief vom 30.05.2016 bis zum 28.08.2017 und betrug 15 Monate.

5.2 Komplikationen

Tabelle 7 zeigt die postoperativen Komplikationen in den beiden Gruppen, wobei übersichtshalber jeweils nur die schwerste Weichteilkomplikation (Wundheilungsstörung < Wundrandnekrose < Infektion/revisionspflichtiges Hämatom) je Fall dargestellt ist.

Tabelle 7: postoperative Komplikationen in den Gruppen (absolute Anzahl / Anteil der Gruppe)

| Komplikation | Platten-Gruppe | Nagel-Gruppe |
|----------------------------|----------------|--------------|
| Wundheilungsstörung | 3 / 12,5 % | 3 / 17,6 % |
| Wundrandnekrose | 8 / 33,3 % | 0 / 0 % |
| Infektion | 3 / 12,5 % | 1 / 5,9 % |
| Hämatom | 1 / 4,2 % | 0 / 0 % |
| Keine | 9 / 37,5 % | 13 / 76,5 % |

In der Platten-Gruppe traten in 15 von 24 Fällen (62,5 %) Weichteilkomplikationen auf. In 14 Fällen kam es zu einer Wundheilungsstörung mit prolongierter Sekretion, Rötungen im Wundbereich bzw. starker Schwellung, die in 3 Fällen unter konservativer Therapie mit Hochlagerung, lokaler Kryotherapie, Entstauung und Krankengymnastik unter Bettruhe ohne weitere Folgen sistierten. In 8 dieser 14 Fälle kam es unter gleicher Therapie zudem zu einer Wundrandnekrose, die aber nach Fortführung der konservativen Therapie ebenfalls zur Ruhe kam. Zwei weitere der 14 Fälle entwickelten eine Infektion. Nr. 1 der beiden Fälle wurde nach einem Sturz aus 8 Metern Höhe vorgestellt und erhielt bei multiplen Frakturen beider unterer Extremitäten mit drohendem Kompartmentsyndrom beider Füße eine initiale Kompartmentspaltung. Die Wunde nach Versorgung der linksseitigen Kalkaneusfraktur und Verschluss der Weichteile zeigte eine ausgeprägte und verlängerte Wundsekretion mit Rötung und Schwellung, die sich unter konservativer Therapie und intravenöser Antibiose therapieren ließen. Fall Nr. 2 wies eine Wundrandnekrose auf und erhielt aufgrund einer prolongierten Sekretion ab dem 7. postoperativen Tag eine vierwöchige intravenöse Antibiose mittels Cefuroxim. Bei weiterhin persistierender Sekretion aus der Wunde und schließlich Wunddehiszenz

erfolgte am 13. postoperativen Tag ein Folgeeingriff mit Débridement und Lavage. Diese wurde bei weiterer Persistenz der Sekretion am 23. postoperativen Tag wiederholt. Hiernach sistierte die Sekretion. Im weiteren Verlauf entwickelte sich ein Plattenlagerinfekt, der 7 Monate postoperativ zur Entfernung des Osteosynthesematerials führte. Im 14. Fall mit Wundheilungsstörung entwickelte sich zusätzlich ein subkutanes Hämatom, welches am 7. postoperativen Tag operativ entlastet und debridiert wurde. Der verbliebene 15. Fall entwickelte einen Plattenlagerinfekt, der nach 4,1 Monaten mittels frühzeitiger ME therapiert werden konnte.

In der Nagel-Gruppe fanden sich in 4 von 17 Fällen (23,5 %) Komplikationen. Die vier von Komplikationen betroffenen Fälle hatten eine Wundheilungsstörung, die in einem Fall mit einer Weichteilinfektion einherging. Diese war in der Verlaufskontrolle am 7. Postoperativen Tag aufgefallen und durch eine 3-tägige intravenöse Antibiose mittels Unacid erfolgreich therapiert worden. Die anderen Verläufe waren unter konservativer Therapie regredient.

Der Unterschied der Komplikationsrate zwischen den Gruppen war nach Chi-Quadrat-Test **signifikant** zugunsten der Nagel-Gruppe ($p=0,027$).

Allgemeine Komplikationen der Operation wie Thrombosen oder Lungenarterienembolien zeigten sich keine. Die Erfassung des Repositionsverlustes wird in Kapitel 5.4 beleuchtet.

5.3 Folgeoperationen

Eine **erneute Operation** war in zehn von 24 Fällen (41,7 %) der Platten-Gruppe notwendig. In sieben Fällen (29,2%) wurde das Implantat wegen anhaltender Schmerzen entfernt, wovon in einem Fall (4,2%) eine USG-Arthrodesese mittels Arthrodesenagel erfolgte. In einem der sieben Fälle (4,2 %) war das Osteosynthesematerial zudem gebrochen und in einem anderen Fall (4,2 %) gelockert. In einem weiteren Fall (4,2 %) erfolgte die Entfernung nach Frakturkonsolidierung auf Patientenwunsch und in zwei Fällen (8,4 %) trat eine Infektion am Implantat auf. Einer dieser Patienten war bereits innerhalb der ersten vier Wochen postoperativ zweimal revidiert worden (siehe Kapitel 5.3). Nach zwei der sieben schmerzbedingten Re-Operationen wurden weitere Operationen nötig (8,4

%). Der erste Patient erhielt aufgrund persistierender Schmerzen und einer vorliegenden Arthrose nach Materialentfernung eine Arthrodesen mittels zweier Zugschrauben und im Verlauf eine Re-Arthrodesen erneut mit 2 Schrauben und Beckenkammspan bei nicht erfolgter Konsolidierung. Der zweite Patient bekam ebenfalls bei Schmerzen und Arthrose nach Materialentfernung eine Arthrodesen mittels zweier Zugschrauben und Beckenkammspan. In diesem Fall musste etwa fünf Monate später das Arthrodesematerial entfernt werden, da es durch eine protrudierte Schraube zu einem chronischen Druckulcus gekommen war. Knapp zwei Monate später erfolgte ein Revisionseingriff bei Wundinfektion und Osteomyelitis mit Débridement und Lavage, der zehn Tage später aufgrund persistierender Sekretion wiederholt werden musste. Bei einem weiteren Patienten dieser Gruppe ist das Implantat gebrochen, verblieb jedoch in situ da asymptomatisch. Es kam somit in zwei Fällen zum Materialversagen. Insgesamt mussten in dieser Gruppe bis zum Untersuchungszeitpunkt in drei Fällen Arthrodesen durchgeführt werden.

In der Nagel-Gruppe war in sechs Fällen (35,3 %) eine erneute Operation notwendig. In zwei Fällen (11,8 %) wurde eine störende Schraube entfernt, die lokale Schmerzen verursachte, das übrige Osteosynthesematerial verblieb in situ. In den anderen vier Fällen (23,5 %) wurde das Implantat bei Schmerzen komplett entfernt, von denen ein Fall (5,9 %) zusätzlich eine Arthrodesen erhielt. In keinem Fall versagte das Implantat. In einem der sechs Fälle (5,9 %) bildeten sich Hornhautschwielen an der dorsalen Narbe, die zweimal oberflächlich abgetragen wurden, was nicht als Re-Operation gewertet wurde. Nach Chi-Quadrat-Test lag für die Häufigkeit einer notwendigen Re-Operation kein signifikanter Unterschied vor ($p=0,422$).

Die **Zeit bis zur Folge-Operation** betrug in der Platten-Gruppe im Mittel $15,9 \pm 3,7$ Monate (4,1-38,3) und in der Nagel-Gruppe $19,5 \pm 4,2$ Monate (10,7-32,6). Damit wurde nach Nagelosteosynthese im Durchschnitt 3,6 Monate später eine erneute Operation notwendig (nicht signifikant nach t-Test $p=0,465$). Beschränkt auf die sekundäre Arthrodesen betrug die Zeit bis zur Folgeoperation nach Plattenosteosynthese $14,9 \pm 0,7$ Monate (12,4 – 23,6) und nach Nagelosteosynthese $32,6 \pm 0$ Monate (32,6) (nicht signifikant nach Mann-Whitney-U-Test $p=0,180$).

5.4 Radiologische Ergebnisse

Von jeweils zwei untersuchten Fällen aus beiden Gruppen ließen die Umstände kein aktuelles Röntgenbild zu oder die erneute Aufnahme wurde verweigert, weshalb in diesen Fällen die letzten vorliegenden Bilder genutzt wurden. In drei weiteren Fällen aus der Platten-Gruppe und einem Fall aus der Nagel-Gruppe waren die Winkel aufgrund einer sekundären Arthrodese nicht einwandfrei beurteilbar und wurden sowohl für die Auswertung der Winkel als auch der Osteoarthrose nicht mit einbezogen. Die folgenden Tabellen zeigen beide Winkel der Gruppen im Verlauf.

Die durchschnittlichen **Böhler-Winkel** sind in Tabelle 8 dargestellt. In beiden Gruppen lagen die Winkel zum Untersuchungszeitpunkt im Normbereich. Beide Operationsverfahren haben über den Nachuntersuchungszeitraum die Frakturposition retinieren können.

Tabelle 8: Durchschnittlicher Böhler-Winkel im Verlauf in den Gruppen

| Zeitpunkt | Platten-Gruppe | Nagel-Gruppe |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| präoperativ | 27,8° ± 2,1° (5-47) | 19,1° ± 4,1° (-5-58) |
| postoperativ | 36,5° ± 1,1° (25-48) | 32,8° ± 2,1° (16-48) |
| 4 Jahre postoperativ | 30,7° ± 2,4 ° (7-47) | 23,3° ± 2,1° (11-39) |

Der Repositionsverlust am Böhler-Winkel betrug zur Nachuntersuchung in der Platten-Gruppe 5,2° und in der Nagel-Gruppe 9,3° (nicht signifikant nach Mann-Whitney-U-Test $p=0,182$). Direkt postoperativ zeigte sich nach Plattenosteosynthese im Mittel eine Aufrichtung um 8,8°, durch Nagelosteosynthese um 13,8° (nicht signifikant nach T-Test $p=0,211$). Zur Nachuntersuchung war die Platten-Gruppe 3,7° über dem präoperativen Stand und die Nagel-Gruppe 4,8° (nicht signifikant nach T-Test $p=0,748$).

Die **Winkel nach Gissane** sind in Tabelle 9 abgebildet.

Tabelle 9: Durchschnittlicher Winkel nach Gissane im Verlauf in den Gruppen

| Zeitpunkt | Platten-Gruppe | Nagel-Gruppe |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| präoperativ | 108,8° ± 3,0° (78-143) | 106,4° ± 1,7° (93-116) |
| postoperativ | 113,7° ± 1,8° (94-129) | 116,7° ± 1,3° (103-125) |
| ≥ 1,5 Jahre postoperativ | 107,3° ± 1,7° (92-121) | 113,4° ± 1,9° (93-123) |

Die intraoperative Aufrichtung betrug nach Plattenosteosynthese durchschnittlich 4,9° und nach Nagelosteosynthese 10,2° (nicht signifikant nach T-Test: $p=0,100$). Zur Verlaufsuntersuchung lag in der Platten-Gruppe ein Repositionsverlust von 7,4° und in der Nagel-Gruppe von 3,4° vor (nicht signifikant Mann-Whitney-U-Test: $p=0,086$).

Die Verteilung des **Osteoarthrose-Grades** ist in Abbildung 17 veranschaulicht. In der Platten-Gruppe zeigte sich 0° in keinem Fall, 1° in 6 Fällen, 2° in 12 Fällen und 3° in 3 Fällen. In der Nagel-Gruppe lag in 1 Fall 0°, in 13 Fällen 1°, in 2 Fällen 2° und in keinem Fall 3° vor.

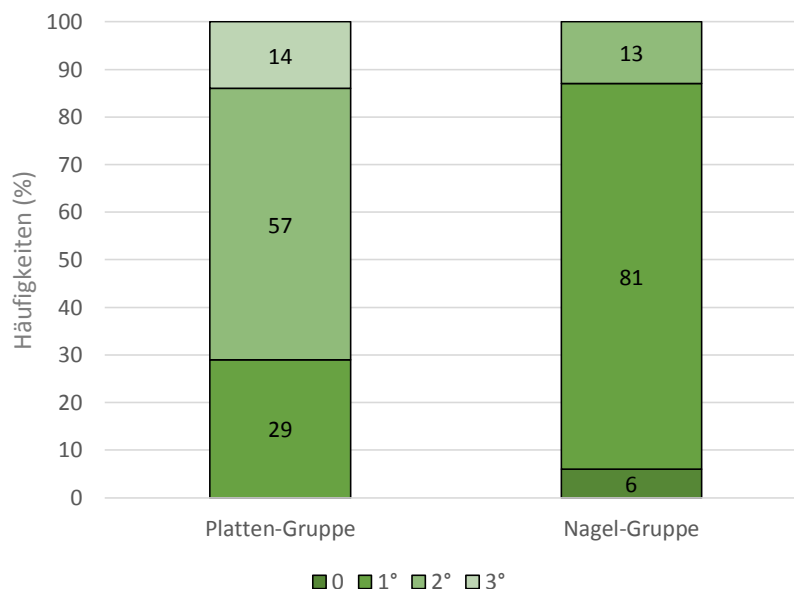


Abbildung 17: Osteoarthrosegrade nach Paley in den beiden Gruppen (%)

Der Mittelwert betrug für die Platten-Gruppe $1,9 \pm 0,1$ (1-3) und für die Nagel-Gruppe $1,1 \pm 0,1$ (0-2). Dieser Unterschied war nach dem Mann-Whitney-U-Test **signifikant** ($p=0,000$).

5.5 Funktionelle Ergebnisse

Umfangsdifferenzen an den Füßen ließen sich in beiden Gruppen in insgesamt 16 Fällen messen. In der Platten-Gruppe war in 7 Fällen und in der Nagel-Gruppe in 5 Fällen der Umfang des operierten Fußes größer, als der des nicht operierten, und in 3 Fällen der Platten-Gruppe und 1 Fall der Nagel-Gruppe umgekehrt. Im Durchschnitt lag eine positive Umfangsdifferenz vom operierten Fuß zur Gegenseite von je 0,3 cm vor (nicht signifikant nach Mann-Whitney-U-Test $p=0,760$).

Die Erfassung der **Narbenlänge** zeigte für die Fälle der Platten-Gruppe durchschnittlich $12,4 \pm 0,5$ cm (5-16) und der Nagel-Gruppe $6,3 \pm 1,7$ cm (1-33). Mit einem $p < 0,001$ lag hierbei nach t-Test eine **Signifikanz** vor. Dabei wurden alle Patienten berücksichtigt, inklusive eines Falls in der Nagel-Gruppe, der nach einer Versteifungs-OP eine gesamte Narbenlänge von 33 cm aufwies. Wenn dieser Patient exkludiert wird, ergibt sich eine durchschnittliche Narbenlänge von $4,6 \pm 0,4$ (1-7,5) in der Nagel-Gruppe.

Für die Beurteilung der **Beweglichkeit** (siehe Tabelle 10) wurden Dorsalextension gegen Plantarflektion und Pronation gegen Supination gemessen.

Tabelle 10: Beweglichkeit des betroffenen Fußes in den Gruppen

| Bewegung | Platten-Gruppe | Nagel-Gruppe | t-Test |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|-----------|
| Dorsalextension | $10,9 \pm 1,4^\circ$ (0-25) | $11,9 \pm 1,7^\circ$ (1-25) | $p=0,643$ |
| Plantarflektion | $21,8 \pm 2,1^\circ$ (0-35) | $23,6 \pm 2,1^\circ$ (10-40) | $p=0,541$ |
| Pronation | $4,0 \pm 0,6^\circ$ (0-10) | $4,7 \pm 1,1^\circ$ (0-15) | $p=0,529$ |
| Supination | $12,9 \pm 1,7^\circ$ (0-30) | $17,4 \pm 3,7^\circ$ (0-60) | $p=0,233$ |

Der Bewegungsumfang der Füße, die mit einem Kalkaneusnagel versorgt wurden, war im Schnitt in jeder Bewegungsrichtung $0,7^\circ$ bis $4,5^\circ$ größer. Ein signifikanter Unterschied bestand nicht.

Ein **Druckschmerz** ließ sich in sieben (29,2 %) Fällen der Platten-Gruppe und sechs (35,3 %) der Nagel-Gruppe auslösen. Der Unterschied war nicht signifikant (Chi-Quadrat-Test: $p=0,678$).

Sensibilitätsstörungen (Hyp- und/oder Dysästhesien) ließen sich bei der Hälfte (12/24; 50 %) der Füße mit Plattenversorgung und etwa einem Drittel (6/17; 35,3 %) der Füße mit Kalkaneusnagel feststellen. Nach Chi-Quadrat-Test lag keine Signifikanz vor ($p=0,350$).

In der Platten-Gruppe fand sich ein **Plattfuß** in mehr als der Hälfte (13/24; 54,2 %) und ein **Knickfuß** in knapp einem Drittel (7/24; 29,2 %) der Fälle. Ein Plattfuß lag in der Nagel-Gruppe in über der Hälfte vor (9/15; 60 %), genauso auch der Knickfuß (8/15; 53,3 %). Zusammengefasst lagen in 16 Fällen (66,6 %) der Platten-Gruppe ein Platt- und/oder Knickfuß vor und in 11 Fällen (73,3 %) der Nagel-Gruppe (nicht signifikant nach Chi-Quadrat-Test: $p=0,734$). In zwei Fällen der Nagel-Gruppe konnte die Fußform im Stand und Gang aufgrund körperlicher Schwäche und zu starker Schmerzen beim Auftreten nicht beurteilt werden.

Als letzter Untersuchungspunkt wurde barfuß der **Fersen- und Zehengang** überprüft. In der Platten-Gruppe war der Fersengang in 20 von 24 Fällen (83,3 %) und der Zehengang in 18 von 24 Fällen (75 %) möglich. Mit Kalkaneusnagel war der Fersengang in 10 von 17 Fällen (58,8 %) und der Zehengang in 14 von 17 Fällen (82,4 %) möglich. Die Unterschiede waren nicht signifikant (Fersengang nach Chi-Quadrat-Test: $p=0,151$; Zehengang nach Chi-Quadrat-Test: $p=0,711$).

5.6 Verlaufsdaten

Weiterhin wurde die Dauer bis zur **Wiedereingliederung** in den Beruf verglichen (siehe Abbildung 18). In 16 Fällen (69,6%) der Platten-Gruppe konnte nach einer durchschnittlichen Dauer der Arbeitsunfähigkeit von $13,2 \pm 4,3$ Monaten (1,1-74,2) wieder erfolgreich die Berufstätigkeit erreicht werden. Bei zwei Patienten war hierzu eine Umschulung notwendig. Sieben Patienten (30,4%) konnten bisher nicht wieder eingegliedert werden und bei einem lag bereits vorher die Berentung vor.

In der Nagel-Gruppe waren 9 Patienten bereits zum Unfallzeitpunkt berentet. Von den restlichen acht Patienten konnten zwei (25%) nicht mehr eingegliedert werden

und die übrigen sechs (75%) arbeiteten nach durchschnittlich $5,1 \pm 1,3$ Monaten (1,1-14,5) wieder. Nach Mann-Whitney-U-Test lag kein signifikanter Unterschied vor ($p=0,580$). Mit 69,6 % (16 Fälle) in der Platten-Gruppe und 75 % (6 Fälle) in der Nagel-Gruppe gelang die Wiedereingliederung bisher annähernd gleich häufig (Chi-Quadrat-Test: $p=0,771$).

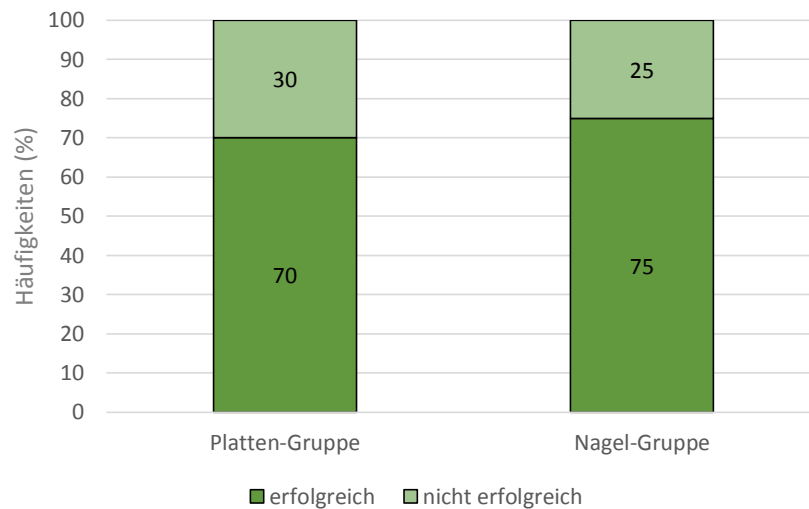


Abbildung 18: bisherige Wiedereingliederung in einen Beruf der nicht berenteten Patienten in den Gruppen (%)

Die Abbildung 19 zeigt die Notwendigkeit einer **Gehhilfe** in Prozent in beiden Gruppen. Es wurden nur die Hilfsmittel gewertet, die vor dem Unfall noch nicht nötig waren. Konfektions-/orthopädische Schuhe fanden in 4 (PG) bzw. 2 (NG) Fällen, Einlagen in je 4 Fällen (PG;NG), ein Rollator in 1 (PG) bzw. keinem Fall (NG) und eine Gehstütze/ein Gehstock in 1 (PG) bzw. 3 (NG) Fällen Verwendung. In 14 Fällen der Platten-Gruppe und 8 Fällen der Nagel-Gruppe war kein Hilfsmittel nötig.

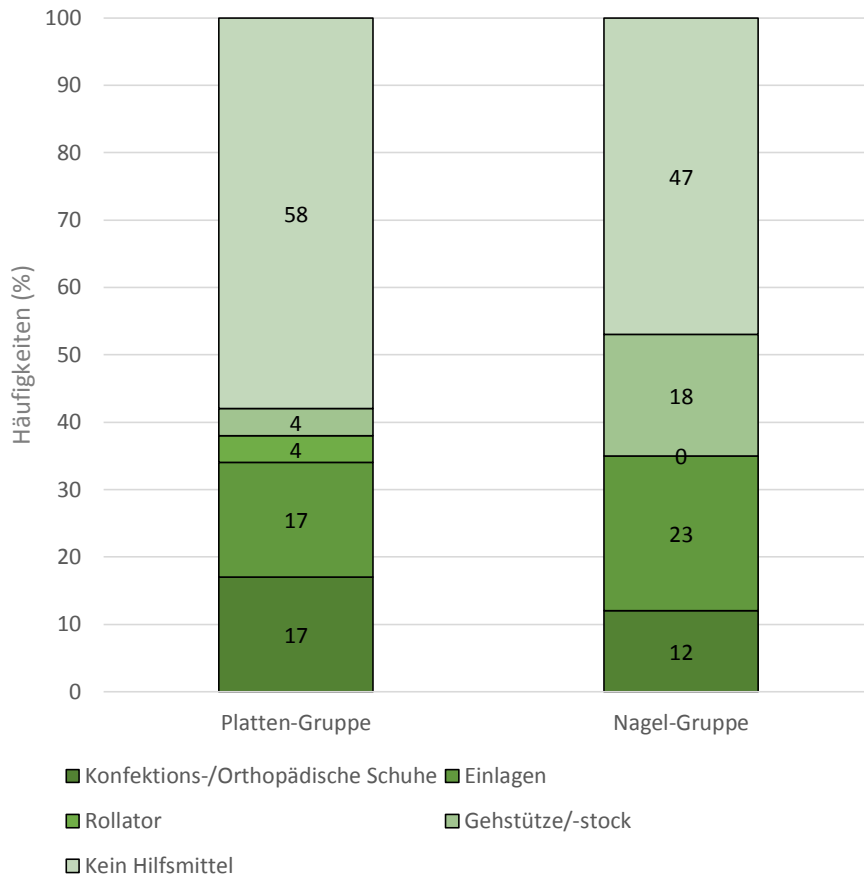


Abbildung 19: notwendige Hilfsmittel in den Gruppen (%)

In der Platten-Gruppe benötigten 10 % der Patienten weniger ein Hilfsmittel als in der Nagel-Gruppe. Nach Nagelosteosynthese war in 17,6 % der Fälle (3 Fälle) ein stark unterstützendes Hilfsmittel wie ein Rollator oder Gehstützen nötig, nach Plattenosteosynthese in 8,4 % der Fälle (2 Fälle). Nach Chi-Quadrat-Test zeigte sich kein signifikanter Unterschied ($p=0,279$).

Die Beurteilung der Operation mit ihren individuellen Verläufen wurde durch beide Gruppen abgegeben und in Abbildung 20 gegenübergestellt. In der Platten Gruppe wurde in 5 Fällen Note 1, in 15 Fällen Note 2, in 3 Fällen Note 3 und in einem Fall Note 4 vergeben. In der Nagel-Gruppe beliefen sich die Bewertungen auf Note 1 in 3 Fällen, Note 2 in 8 Fällen, Note 3 in 4 Fällen und Note 4 in 2 Fällen.

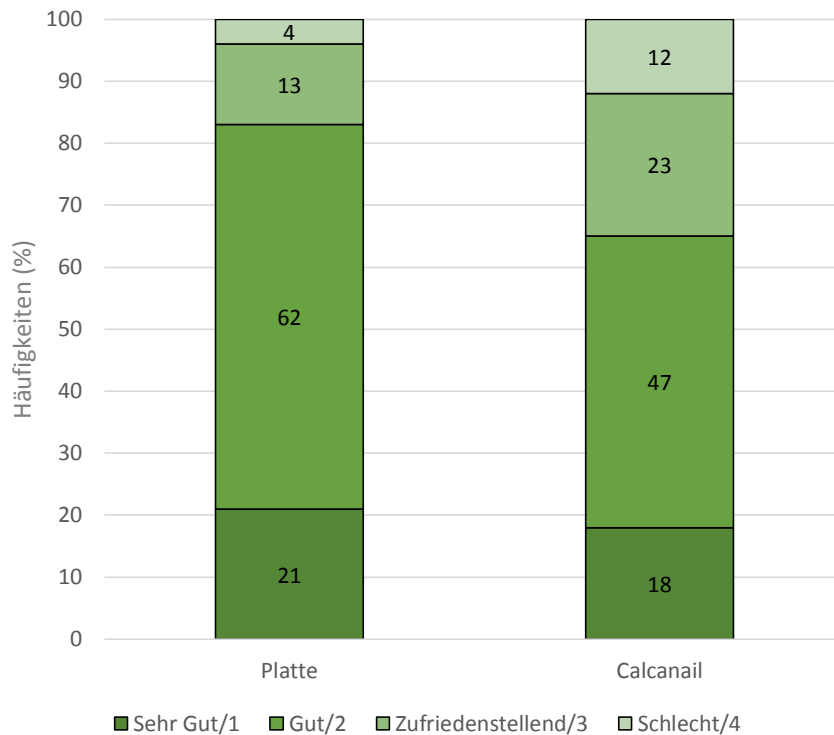


Abbildung 20: Beurteilung der OP in den Gruppen (%)

Im Durchschnitt wurde in der Platten-Gruppe eine Schulnote von $2,0 \pm 0,2$ (1-4) und in der Nagel-Gruppe eine $2,3 \pm 0,2$ (1-4) erzielt. Der Unterschied war nicht signifikant (t-Test $p=0,206$).

In der Platten-Gruppe wurden im Durchschnitt 86 ± 35 (5-714) **physiotherapeutische** Termine wahrgenommen, in der Nagel-Gruppe 101 ± 26 (4-375). Damit lag nach Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied vor ($p=0,497$).

5.6.1 Scores

Die subjektive Schmerzanalyse erfolgte anhand der **Visuellen Analog Skala**. Für die Platten-Gruppe fand sich ein durchschnittlicher Schmerz von $30,9 \pm 3,3$ (1-80), wobei nur in einem Fall Schmerzfreiheit vorlag, und in der Nagel-Gruppe $37,8 \pm 5,8$ (1-85) mit zwei schmerzfreien Patienten. Es bestand kein signifikanter Unterschied (t-Test $p=0,274$).

Anschließend wurden die Gesamtpunkte Im **AOFAS-Score** der Gruppen verglichen und anschließend alle Einzelpunkte betrachtet. Der Gesamtpunktwert in der Platten-Gruppe lag im Durchschnitt bei $68,7 \pm 3,4$ Punkten (33-92) und in der Nagel-Gruppe

bei $66,8 \pm 4,8$ Punkten (22-100). Nach t-Test lag kein signifikanter Unterschied vor ($p = 0,744$). Der erste Einzelpunkt des AOFAS-Score war der Schmerz. Hier lag für die Mittelwerte $25,8 \pm 1,2$ (20-40) in der Platten-Gruppe und $24,7 \pm 2,1$ (10-40) in der Nagel-Gruppe kein signifikanter Unterschied vor (Mann-Whitney-U-Test: $p=0,632$). Die Kategorie Funktion setzte sich aus 7 Unterpunkten zusammen, die nachfolgend gegenübergestellt wurden (siehe Tabelle 11). Hieraus ergab sich für die „maximale Laufstrecke“ ein **signifikanter** Unterschied.

Tabelle 11: Kategorie Funktion aus AOFAS-Score in den Gruppen und Ergebnis des Signifikanztests

| Unterpunkt | Platten-Gruppe | Nagel-Gruppe | p-Wert MWU |
|--------------------------------|---|----------------------|------------|
| Tägliche Aktivitäten | $6,8 \pm 0,6$ (0-10) | $6,4 \pm 0,8$ (0-10) | 0,637 |
| Max. Laufstrecke | $4,6 \pm 0,2$ (0-5) | $3,7 \pm 0,5$ (0-5) | 0,036 |
| Bodenbeschaffenheit | $2,5 \pm 0,4$ (0-5) | $1,9 \pm 0,5$ (0-5) | 0,339 |
| Gangunsicherheit | $6,5 \pm 0,5$ (0-8) | $6,6 \pm 0,7$ (0-8) | 0,772 |
| Sagittale Beweglichkeit | $6,2 \pm 0,6$ (0-8) | $6,8 \pm 0,6$ (0-8) | 0,466 |
| Rückfußbeweglichkeit | $2,0 \pm 0,3$ (0-3) | $2,3 \pm 0,5$ (0-6) | 0,711 |
| Rückfußinstabilität | Bei allen Patienten lag ein stabiler Rückfuß vor. | | |

Die dritte Kategorie des AOFAS-Scores war das Alignment (=Ausrichtung/ Achse) bei dem 0, 5 und 10 Punkte möglich waren. Im Durchschnitt kam die Platten-Gruppe auf $6,3 \pm 0,8$ (0-10) Punkte und die Nagel-Gruppe auf $6,5 \pm 0,7$ (0-10), womit ein nicht signifikanter Unterschied vorlag (Mann-Whitney-U-Test $p=0,953$).

Im **R-FFI** (Reversed Foot Function Index) ergaben die Prozentwerte der erreichten Gesamtpunktzahl in der Platten-Gruppe im Durchschnitt $39,8 \pm 2,8$ % (25,4 –

82,9 %). Damit erreichte sie einen besseren Wert als die Nagel-Gruppe mit $44,3 \pm 4,7$ % (26,2 – 90,3 %). Der T-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied ($p=0,382$).

5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Studie wurden zur Therapie der Kalkaneusfraktur zwei Operationstechniken verglichen. Zum einen wurde in 24 Fällen die bewährte Osteosynthese mittels winkelstabiler Platte über den lateralen Standardzugang durchgeführt. Zum anderen erfolgte in 17 Fällen die Osteosynthese mit einem neuartigen Kalkaneus-Nagel und minimal invasivem posterioren „through-the-heel“-Zugang. Diese 41 Fälle (39 Patienten) erhielten nun im Mittel 4 Jahre nach frakturversorgender Operation eine klinische und radiologische Untersuchung sowie eine umfassende Befragung.

Das Patientenkollektiv der Nagel-Gruppe war im Mittel 12,5 Jahre älter. In 80,5 % der Fälle führte ein Sturz von einer Erhöhung zur Fersenbeinfraktur, was in 2/3 der Fälle während der Arbeitszeit geschah. In beiden Kollektiven lag je eine bilaterale Fraktur vor, was 5 % der Fälle entspricht. Die Verletzungsschwere anhand der Sanders-Klassifikation war vor Nagelosteosynthese durchschnittlich ein Grad schwerwiegender und es zeigte sich in beiden Gruppen durchschnittlich ein Weichteilschaden ersten Grades. Die Frakturklassifikation nach Essex-Lopresti ergab in der Platten-Gruppe in 70,8 % einen Joint-Depression-Typ und in der Nagel-Gruppe in 82,4 % der Fälle.

Die Operation verlief bei der Nagelosteosynthese im Mittel 6,3 Minuten schneller (Dauer: $90 \pm 8,2$ Minuten) als beim offenen Vorgehen. Die verbliebenen Narben beim Kalkaneusnagel waren **signifikant** kürzer, Gefühlsstörungen am betroffenen Fuß seltener (nicht signifikant). Die postoperative Komplikationsrate war **signifikant** verschieden – nach Plattenosteosynthese kam es in 62,5 % der Fälle zu postoperativen Komplikationen, nach Nagelosteosynthese in 23,5 %. Die stationäre Liegezeit in der Nagel-Gruppe fiel kürzer aus und die Patienten konnten nach der Operation vier Tage früher (nach $7,9 \pm 0,8$ Tagen) das Krankenhaus verlassen (**signifikant**). Weiterhin war nach Nagelosteosynthese knapp 5 Tage früher eine Vollbelastung möglich (nicht signifikant). Eine erneute Operation war 6,4 % häufiger

in der Platten-Gruppe notwendig (nicht signifikant). Bei zwei Patienten der Platten-Gruppe fand eine dritte bzw. vierte und fünfte Operation statt.

Die Nagelosteosynthese wurde subjektiv durchschnittlich mit der Schulnote 2,3 und damit um 0,3 schlechter als die Plattenosteosynthese bewertet (nicht signifikant).

Nach radiologischer Auswertung des Böhler-Winkels und des Winkels nach Gissane zeigte sich, dass in beiden Gruppen eine Reposition und Aufrichtung der Fersenbeine gelang. Bei beiden Therapieoptionen kam es zu einem Repositionsverlust während des Nachuntersuchungszeitraumes, der sich nicht signifikant zwischen den beiden Gruppen unterschied. Die Osteoarthritis des talocalcanearen Gelenkes war bei den Patienten mit Kalkaneusnagel **signifikant** weniger fortgeschritten.

Die berufliche Wiedereingliederung gelang nach Nagelosteosynthese über acht Monate früher (nicht signifikant) als nach Plattenosteosynthese. Es wurden mehr Hilfsmittel in der Nagel-Gruppe benötigt (nicht signifikant).

Die Beweglichkeit ohne Belastung und der Zehengang fielen in der Auswertung beim Kalkaneusnagel besser aus (nicht signifikant), der Fersengang war hingegen schlechter zu bewältigen (nicht signifikant). Weiterhin zeigte sich eine stärkere Ausprägung von Knick- oder Plattfuß (nicht signifikant) in der Nagel-Gruppe. Die Patienten mit Kalkaneusnagel berichteten von einer geringeren Laufstrecke (**signifikant**) und dass mehr Schmerzen persistierten (nicht signifikant). Nach dem AOFAS-Score lagen beide Gruppen mit durchschnittlich 69 (Platte) und 67 (Nagel) von 100 Punkten nah beisammen und erhielten die Beurteilung „befriedigend“. Insgesamt erreichte die Platten-Gruppe eine bessere, niedrigere Punktzahl im R-FFI (nicht signifikant).

6 Diskussion

Der Zweck der vorliegenden Studie bestand darin, den Kalkaneusnagel, der mittels „through-the-heel“-Zugang minimalinvasiv implantiert wird, bezüglich seines Langzeitoutcomes zu verfolgen. Zum Vergleich diente die etablierte winkelstabile Plattenosteosynthese, die mittels lateralem Standardzugangsweg offen implantiert wird. In dieser Untersuchung wurden im Mittel 4 Jahre postoperativ Daten zur Funktionalität und Patientenzufriedenheit erhoben sowie radiologische Kontrollen durchgeführt. Weiterhin erfolgte die Auswertung der perioperativen Parameter und der Faktoren der individuellen Langzeitverläufe.

Die Fersenbeinfraktur stellt in der Therapie eine Herausforderung dar und gilt für die Betroffenen als lebensveränderndes Ereignis.¹⁰⁹ Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keinen Goldstandard, obgleich die Versorgung mittels winkelstabiler Platte über den offenen erweiterten lateralen Standardzugang als Standardverfahren gilt. Dieses Verfahren geht jedoch auch mit einigen Einschränkungen einher.^{76,88,110} Die Hauptproblematik stellen die häufig auftretenden postoperativen Wundheilungsstörungen und die mangelhafte Langzeitfunktionalität der Gelenke, auch in Hinblick auf eine sekundäre Osteoarthrose des Subtalargelenkes, dar.¹¹¹

Die Auswahl an möglichen Operationstechniken wurde binnen des letzten Jahrzehnts stetig größer und somit ist es notwendig, die Therapien und deren Resultate einander gegenüber zu stellen. Jährlich kommen Studien hinzu, die die Komplikationsrate und Funktionalität verschiedener Techniken evaluieren.

Den offenen Verfahren stehen minimalinvasive gegenüber, zu denen auch der Kalkaneusnagel Calcanail® gehört. Es konnte gezeigt werden, dass mithilfe von minimalinvasiven Techniken die Versorgung einer Fersenbeinfraktur mit geringerer Komplikationsrate möglich ist (siehe Tabelle 13).

Die Vorteile des Kalkaneusnagels bestehen in der intrafokalen Positionierung gegenüber der extrafokalen Lage der Plattenosteosynthese. Durch die Lage des Nagels in der Hauptbelastungsrichtung des Kalkaneus entsprechend der Knochenarchitektur unterstützt er seine biomechanische Funktion.⁶⁶ Goldzak et al.⁹⁵ bewiesen die überlegene Stabilität des Kalkaneusnagels gegenüber der herkömmlichen Platte anhand von Kadaverknochen in einer biomechanischen

Studie. Die Implantation erfolgt minimalinvasiv über den „through-the-heel“-Zugang. In Verbindung mit der intraossären Lage stellt der Kalkaneusnagel eine weichteilschonende Frakturversorgung dar.

6.1 Material und Methodik

6.1.1 Patientenkollektiv

Aus dem ursprünglichen operierten Kollektiv von 45 Patienten wurden mit einem Follow-up von knapp 87 % 39 Patienten zur Nachuntersuchung erfolgreich einbestellt. Auch Brunner et al.¹¹² konnten in ihrer Untersuchung zur Kalkaneusfraktur versorgt mittels drei AO Mini-Fragment-Platten aus ihrem Patientengut von 54 Patienten eine vergleichbar hohe Zahl von 45 Patienten (83%) erreichen und erfolgreich einschließen. Es ist davon auszugehen, dass die Kollektivgröße ausreichend ist, um Empfehlungen abzuleiten, da die entstandenen Daten zur Plattenosteosynthese denen vorliegender Studien entsprechen.

6.1.2 Nachuntersuchungszeit

Der Nachuntersuchungszeitraum betrug im Mittel 3,9 Jahre mit einer recht hohen Streubreite von 1,7 bis 7,3 Jahren. Die Nachuntersuchung fand in der Platten-Gruppe nach durchschnittlich 4,5 Jahren und in der Nagel-Gruppe nach durchschnittlich 3 Jahren statt. Brunner et al.¹¹² gaben in ihrer Untersuchung zur Kalkaneusfraktur eine durchschnittliche Nachuntersuchungszeit von 41,7 Monaten an. Ebenso führten Tennent et al.¹¹³ die datenerhebende Nachuntersuchung nach Plattenosteosynthetisch versorgter Kalkaneusfraktur nach 44 Monaten durch. Sie vertraten zudem die Ansicht, dass es nach 12 Monaten zu einer Verbesserung der postoperativen Beschwerden kommen sollte. Agostini et al.¹¹⁴ zeigten, dass nach sechs Monaten bereits der Großteil an unmittelbaren postoperativen Folgen stattgefunden hat. In Zusammenschau mit der Aussage von Tennent et al.¹¹³ kann auch nach der minimalen Nachuntersuchungszeit von 1,5 Jahren und durchschnittlich 47 Monaten in der vorliegenden Untersuchung davon ausgegangen werden, dass der Vergleich der Osteosynthesetechniken zu diesem Zeitpunkt trotz der Differenz der Nachuntersuchungszeiträume in den Gruppen gerechtfertigt ist und die Möglichkeit gibt, erste Langzeitfolgen zu untersuchen. In einer Review von

Veltman et al.¹¹⁵ mit 25 Studien und insgesamt 1730 Kalkaneusfrakturen ergaben sich als durchschnittliche Zeit bis zum Langzeit-Follow-up 4,6 Jahre. In 11 der 25 Studien wurden persistierende Komplikationen und die Entwicklung einer subtalaren Arthrose als Langzeitfolge dokumentiert.

6.1.3 Scores

Der AOFAS-Score (Ankle-Hindfoot) steht für die hohe Wertung der Schmerzen mit bis zu 40 Punkten in der Kritik, da die anderen Abschnitte dadurch deutlich in den Hintergrund rücken und zudem ist die Validität des Scores nach Soohoo et al.¹⁰⁴ fraglich. Dennoch wird er in vielen Studien angewandt,^{86,115,116} weshalb er auch hier zur Vergleichbarkeit Verwendung findet. Für eine feinere Darstellung erfolgte zusätzlich der Vergleich der Einzelpunkte.

Der FFI stellt einen häufig genutzten Score dar,^{117,118} mit dem die Funktion des Fußes nach Traumata, Operationen oder anderen Erkrankungen objektiviert werden kann. Für seine Verwendung sprechen seine Validität und Reliabilität unabhängig von Geschlecht und Alter.⁹⁹ Die „Revised“ Form (R-FFI) wurde erstellt, um die klinische Verwendung benutzerfreundlicher zu gestalten und dabei seine Qualitäten zu erhalten.⁹⁹ In der vorliegenden Untersuchung fand der R-FFI Verwendung.

6.1.4 Statistik

In der statistischen Auswertung wurde für sämtliche Werte zur Darstellung der zentralen Tendenz der arithmetische Mittelwert bestimmt. Der Grund hierfür lag zum einen darin, dass er in Verbindung mit dem Standardfehler die Gesamtheit der Daten gut zusammenfasst.¹¹⁹ Zum anderen, was als Nachteil beschrieben wird,¹¹⁹ sollten in der vorliegenden Arbeit bei der geringen Kollektivgröße extreme Werte nicht unberücksichtigt bleiben, die bei Verwendung des Median nicht als solche einfließen würden. Zum direkten Vergleich wurde für die ordinalskalierten Werte zusätzlich der Median ermittelt. Weiterhin ermöglicht die Verwendung des Mittelwertes eine subtile Betrachtung der Unterschiede. So ergab der Median beispielsweise für die Sanders-Klassifikation der Platten-Gruppe den Sanders-Typ 2 und in der Nagel-Gruppe Typ 3. Durch Bestimmung des arithmetischen Mittels wird deutlich, dass der Unterschied mit durchschnittlich 2,4 in der Platten-Gruppe und 2,8 in der Nagel-Gruppe deutlich geringer ausfällt. Da die Verwendung des arithmetischen Mittelwertes nicht für

nominale Werte verwendet werden kann, erfolgte für die Sanders-Klassifikation entsprechend die Anpassung der Werte auf numerische Ordinalverteilung, was die Berechnung ermöglichte.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Patientenkollektiv

Nach durchschnittlich 6,9 Tagen wurden die Patienten frühelektiv unter abgeschwollenen Weichteilbedingungen operiert. Auch Rawicki et al.¹²⁰ führten die operative Versorgung von Kalkaneusfrakturen über den Sinus-tarsi-Zugang nach durchschnittlich 6,1 Tagen durch. Weiterhin beschreiben Kohn und Pohlemann et al.⁴² die korrekte Beurteilung der Weichteile als essentiell für die optimale Wahl des Operationszeitpunktes.

Der Altersdurchschnitt der 36 Männer und 3 Frauen lag, ähnlich zu vergleichbaren Studien^{15,121,122}, bei 52,2 Jahren. Das durchschnittliche Alter der beiden Gruppen lag mit 47 Jahren in der Platten- und 59 Jahren in der Nagel-Gruppe im höheren Erwachsenenalter. Die biologische Alterung, beziehungsweise das Senium, beginnt ab dem 65. Lebensjahr.¹²³ Holt et al.¹²⁴ fanden bei über 65-jährigen eine signifikant schlechtere Wundheilung als bei jüngeren Patienten. Bezüglich der Frakturheilung hingegen fanden Sarmiento et al.¹²⁵ keine signifikant unterschiedlichen Heilungsgeschwindigkeiten nach Unterschenkelfrakturen bezogen auf das Alter. Anhand von 288 Patienten untersuchten Taormina et al.¹²⁶ das potentiell schlechtere Outcome nach Frakturen abhängig vom Alter und unterteilten das Patientengut in über 65-jährige und jüngere Patienten. Sie stellten keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich Heilungsrate, Zeit bis zur Frakturheilung, Rate postoperativer Wundkomplikationen und chirurgischer Revisionen und der Funktion in den ersten 12 Monaten nach Operation fest. Auch Makki et al.¹²⁷ erfassten keinen Unterschied im Outcome in Abhängigkeit vom Alter.

Aufgrund dieser Studien ist davon auszugehen, dass der Altersunterschied der beiden Gruppen der aktuellen Studie keinen Einfluss auf das Outcome und die vorgestellten Ergebnisse hatte.

6.2.2 Frakturmorphologie

Um für die Sanders-Klassifikation Mittelwerte ermitteln zu können, wurde die Einteilung in der statistischen Auswertung vereinfacht und auf 1-4 für Sanders I-IV anstelle der Untergruppierung in Sanders I, IIA, IIB, IIC, IIIAB, IIIAC, IIIBC und IV reduziert. Sanders I lag in 7,2 %, Sanders II in 41,5 %, Sanders III in 41,5 % und Sanders IV in 9,8 % der Fälle vor. Durchschnittlich lag hiernach in der Platten-Gruppe eine Frakturschwere von 2,4 und in der Nagel-Gruppe von 2,8 vor, was nach dieser Klassifikation zwei bis drei Fragmenten entspricht. Auch in der Untersuchung von Makki et al.¹²⁷ an 47 mittels ORIF versorgten Kalkaneusfrakturen mit einem durchschnittlichen Follow-up von 10 Jahren lagen vorwiegend Typ II (55,3 %) und III (38,3 %) Frakturen vor und zusätzlich 6,4 % Typ IV. Typ I war nicht vertreten. Damit ergibt sich nach Makki et al. mit durchschnittlich 2,5 ein vergleichbarer Wert zur Platten- und Nagel-Gruppe. Biz et al.⁷⁷ zeigten in ihrer Vergleichsuntersuchung (ORIF vs. PS und PK) eine ähnliche Verteilung der Sanders-Klassifikation (PS: 2,9; PK: 2,8; ORIF: 2,6).

Nach Ball et al.¹²⁸ nimmt nach einer Kalkaneusfraktur die Lebensfähigkeit der Chondrozyten durchschnittlich um 22 % ab (74,8 % vs. 96,8 % bei verstorbenen Spendern). Je höher die Verletzungsschwere, desto gravierender diese Folge. Die Untersuchung erfolgte anhand von 12 intraoperativ gewonnenen Proben von Patienten mit Kalkaneusfrakturen, deren operative Versorgung durchschnittlich 21 Tage posttraumatisch erfolgte. Als Kontrollgruppe dienten vier Leichenspenden. Initiiert wurde diese Studie, da Sanders et al.⁴¹ 1993 für 120 Fälle mit Kalkaneusfrakturen trotz anatomischer Rekonstruktion ein funktionell schlechteres Outcome verzeichneten, je höher die Frakturschwere war (Sanders Typ II-III). Es war die Vermutung entstanden, dass Nekrosen im Knorpel ursächlich für Arthrosen und folgend ein schlechteres funktionelles Outcome verantwortlich sein könnten. Die Nekrosen konnten durch Ball et al. bestätigt werden, der Zusammenhang ist naheliegend, bleibt aber spekulativ. Veltman et al.¹¹⁵ ermittelten in einem Review von 5 Studien und einem durchschnittlichen Follow-up von 4,6 Jahren, dass 87 % der Sanders Typ II, 74 % der Typ III und 43 % der Typ IV Frakturen ein exzellentes Outcome hatten. Schlussfolgernd aus beiden Aussagen haben Fälle mit höherer Krafteinwirkung und höher klassifizierter Frakturschwere durch geringere Lebensfähigkeit der Chondrozyten ein höheres Arthroserisiko und ein schlechteres

funktionelles Outcome. Der Schluss liegt nahe, dass darin ein Zusammenhang besteht.

Liegen die Frakturmorphologien der verglichenen Gruppen weit auseinander, ist die Prognose für das Outcome verschieden.³⁷ Unterschiede zwischen den erhobenen Werten wären nicht sicher auf die Operationstechniken zurückzuführen. In dieser Studie war der Unterschied für die Sanders-Klassifikation nicht signifikant ($p=0,116$) und eine Vergleichbarkeit gewährleistet. Das Vorliegen der Frakturen von Stufe 2 und höher stellt eine höhere Anforderung an die Reposition und Osteosynthese dar. Perkutane Schraubenosteosynthesen erreichten bei Rammelt et al.⁶³ und Gavlik et al.⁹⁴ bis Sanders Typ II vergleichbare Ergebnisse zur Plattenosteosynthese, erbrachten bei höherer Frakturschwere jedoch signifikant schlechtere Ergebnisse als die Plattenosteosynthese.⁷⁸ Im Rahmen der aktuellen Studie wurden auch Frakturen höher als Sanders Typ II mit dem Kalkaneusnagel versorgt. Das funktionelle und radiologische Bestehen des Kalkaneusnagels auf diesem Niveau, ermöglicht die Beurteilung, ob er eine gute Alternative zur Plattenosteosynthese darstellt. Die meisten Kalkaneusfrakturen entsprechen den Sanders Typen II und III.¹²⁹ Daher werden vergleichende Studien auch häufig an diesen Frakturschweren durchgeführt.⁸⁰

6.2.3 Radiologische Ergebnisse

35 Patienten willigten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zu einer Röntgenuntersuchung ein. Von den 38 Rückfüßen dieser Patienten wurden axiale sowie laterale Röntgenaufnahme angefertigt. In der lateralen Aufnahme wurden der Böhler-Winkel, der nach Su et al.¹³⁰ mit dem funktionellen Outcome korreliert, und der Winkel nach Gissane gemessen. Die diagnostische Relevanz der Winkel ist nach Knight et al.³¹ nachrangig. Die Betrachtung der Veränderungen im Verlauf nach einer Kalkaneusfraktur jedoch geläufig. Die Reliabilität des Winkels nach Gissane ist schwach,³¹ weshalb sämtliche Werte von einem Untersucher erhoben werden sollten.

Beide Winkel bestätigten eine Wiederaufrichtung durch die Operationen und beide zeigten einen Repositionsverlust von wenigen Grad zum Nachuntersuchungszeitpunkt nach beiden Operationstechniken. Die Winkel wurden auch in anderen Studien zur radiologischen Therapieevaluierung genutzt und auch

dort wurde nach Wiederaufrichtung ein Repositionsverlust verzeichnet.¹³¹⁻¹³⁴ Hoeve et al.⁸⁶ zeigten in einem Review minimalinvasiver und perkutaner Techniken eine Wiederaufrichtung im Böhler-Winkel von durchschnittlich 16°. Das ist mehr als die in dieser Studie vorliegenden 8,8° nach Platten- und 13,8° nach Nagelosteosynthese. Wie weit aufgerichtet werden muss, hängt von der Fraktur ab. Letztendlich zählt die Wiederherstellung des physiologischen Böhler-Winkels. Brunner et al.¹¹² maßen nach ORIF mittels einer Triple-Mini-Plattenosteosynthese nach einer Zeit von 41,7 Monaten einen Repositionsverlust von 5,3°, was den Werten der vorliegenden Studie mit 5,2° nach Plattenosteosynthese und 9,3° nach Kalkaneusnagel ähnelt. Beim aktuellen Follow-up lagen alle Werte der beiden Winkel in den Normwertbereichen aus der Literatur.

Des Weiteren erfolgte die Beurteilung der Osteoarthrose. Sie ist ein Prozess (siehe Abbildung 21), der unter anderem nach posttraumatischem Gelenkschaden stetig weiter fortschreitet¹³⁵ und daher umso häufiger dokumentiert wird, desto länger die Nachuntersuchungszeit ist. Eine Osteoarthrose kann bei starken therapieresistenten Schmerzen die sekundäre Arthrodeuse zur Folge haben. Makki et al.¹²⁷ untersuchten 47 Kalkaneusfrakturen 10 Jahre nach herkömmlicher Plattenosteosynthese. Unter anderem erfassten sie den Arthrose-Grad mittels Klassifikation nach Morrey und Wiedeman¹³⁶, die ebenfalls Grad I bis III mit ähnlichen Kriterien wie das Paley-Grading-System aufweist. In allen Fällen lagen Arthrosen vor, in 30,2 % Grad I, in 46,5 % Grad II und in 23,2 % Grad III. Dies entspricht durchschnittlich einem Grad II (1,9). In der aktuellen Studie lagen nach Plattenosteosynthese durchschnittlich Grad II (1,9) und nach Nagelosteosynthese Grad I (1,1) vor.

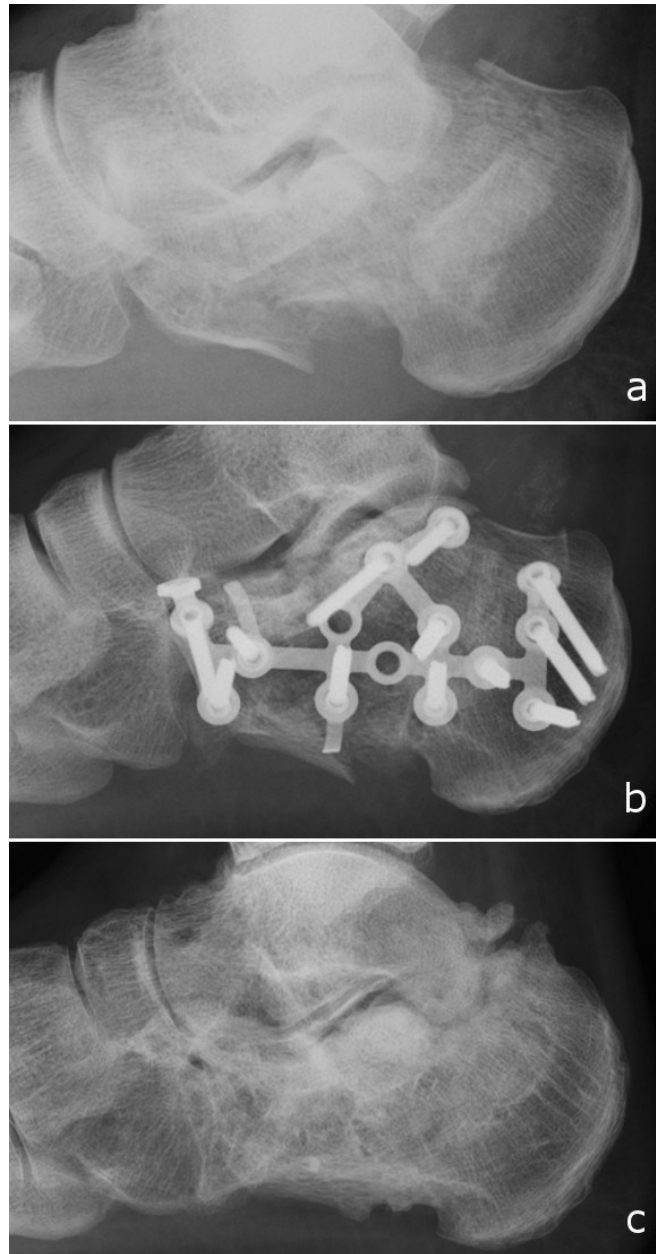


Abbildung 21: Verlauf einer Kalkaneusfraktur eines Studienpatienten; a: posttraumatisch; b: nach Plattenosteosynthese; c: zum Nachuntersuchungszeitpunkt

6.2.4 Perioperative Daten

Der Sturz aus großer Höhe als häufigste Ursache der Fraktur und das bilaterale Vorliegen in 5 % der Fälle in diesem Kollektiv sind im Einklang mit der vorherrschenden Epidemiologie.^{11,14,15}

Posttraumatisch kommt es nach Kalkaneusfrakturen zur Umfangszunahme des Fußes durch Hämatom und Ödem, was die Operationsbedingungen verschlechtert. Deshalb wurde in der vorliegenden Studie eine ausreichende Abschwellung u.a. mit Kühlung und Hochlagerung unterstützt und abgewartet, wie auch Schofer et al.⁴⁸ und

Lim et al.²⁶ es in ihren Studien handhabten und es gängige Praxis ist.⁴² Nach durchschnittlich 6,9 Tagen wurden die Patienten frühelektiv unter abgeschwollenen Weichteilbedingungen operiert. Auch Rawicki et al.¹²⁰ führten die operative Versorgung von Kalkaneusfrakturen über den Sinus-tarsi-Zugang nach durchschnittlich 6,1 Tagen durch. Weiterhin beschreiben Kohn et al.⁴² die korrekte Beurteilung der Weichteile als essentiell für die optimale Wahl des Operationszeitpunktes. Die präoperative Zeit ist unabhängig vom Operationsverfahren.

Die Operationszeit betrug für die Implantation des Kalkaneusnagels 6,3 Minuten weniger, als für die Plattenosteosynthese (90,0 vs. 96,3 Minuten). Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant, in Zusammenschau mit der durchschnittlich höheren Frakturschwere nach Sanders jedoch auffallend. Biz et al.⁷⁷ maßen nach perkutaner Schrauben- oder Kirschnerdraht-Osteosynthese (PS und PK) eine signifikant kürzere Operationszeit (PS: 60 Minuten; PK: 35 Minuten), als nach ORIF (105 Minuten). Hier zeigte sich die Verteilung der Sanders-Klassifikation ähnlich (PS: 2,9; PK: 2,8; ORIF: 2,6). Koski et al.⁸² benötigten in 148 Fällen von Kalkaneusfrakturen für die ORIF über den lateralen Standardzugang durchschnittlich 101 Minuten. Fan et al.⁶⁰ verglichen in einer Metaanalyse 5 Studien zur Versorgung von Kalkaneusfrakturen mit kanülierter Schraubenosteosynthese (CRF) versus herkömmliche Plattenosteosynthese (PO). Sie fanden in zwei Studien signifikant kürzere Operationszeiten mit CRF (CRF 75,6 min. und 44 min.; PO 98,4 min. und 64 min.). Diese Ergebnisse bestätigen die Vergleichbarkeit unserer Werte.

Sozioökonomische Relevanz hat die postoperative Liegezeit, bei der sich in dieser Studie ein signifikanter Unterschied zeigte. Nach Nagelosteosynthese blieben die Patienten im Mittel 7,9 Tage stationär, nach Plattenosteosynthese 11,5 Tage. Einen ebenfalls signifikanten Unterschied zwischen Plattenosteosynthese (19,7 Tage) und perkutaner Osteosynthese (10,5 Tage) erzielten Wang et al.^{132,137}, deren Patienten nach minimalinvasiver Versorgung und schnellerer Wundheilung 9,2 Tage früher entlassen werden konnten. Die längere postoperative Zeit liegt vorwiegend in den Komplikationen begründet.

6.2.5 Komplikationen

Die Implantation einer winkelstabilen Platte bringt durch die prekären Weichteilbedingungen¹³⁸ am Kalkaneus das Risiko der hohen Komplikationsrate mit sich.^{37,76-79,82,139} Aufgrund des dünnen Weichteilmantels im Bereich des Kalkaneus¹³⁸ sorgt die auftragende Plattenosteosynthese für eine relevante Enge unter der Operationswunde. Der erweiterte laterale Zugang setzt potentiell einen ausgedehnten Weichteilschaden, der zu einer ausgeprägten Inflammation mit Ödem führt.^{140,141} Beides in Kombination kann erhöhten Druck auf die Narbe erzeugen, wodurch das Gewebe minderperfundiert wird.¹³⁸ Als Folge entwickeln sich nach Plattenosteosynthesen über den ausgedehnten lateralen Standardzugang leichter Wundheilungsstörungen mit Nekrosen am Wundrand oder/und teils tiefreichende Weichteilinfektionen (siehe Tabelle 12). Sanders et al.³⁷ fanden in einer Langzeituntersuchung nach ORIF in 11 % der Fälle oberflächliche Wundheilungsstörungen, die teils mit Wundrandnekrosen einhergingen, und in 0,9 % der Fälle schwere tiefreichende Infektionen mit Osteomyelitiden. Rak et al.⁷⁶ erfassten nach ORIF Wundrandnekrosen und Spannungsblasen in 10,5 % der Fälle und manifeste Infektionen, die eine Materialentfernung nötig machten, in 7,6 % der Fälle. In weiteren 2,6 % der Fälle lag eine tiefreichende Infektion vor, die mittels Débridement ohne Materialentfernung eingedämmt werden konnten. In ihrer Untersuchung sechs Jahre nach ORIF mittels Plattenosteosynthese und perkutaner Osteosynthese mittels Schrauben (PS) oder Kirschner-Drähten (PK) fanden Biz et al.⁷⁷ signifikante Unterschiede bezüglich der Komplikationsrate. In insgesamt 42,1% der Fälle nach ORIF zeigten sich Wundheilungsstörungen mit Wunddehiszenz oder Wundrandnekrose (26,3%) und tiefreichende Infektionen (15,8%). Nach den perkutanen Versorgungen wurden oberflächliche Wundproblematiken in 5,7% (PS) und 9,1% der Fälle (PK) und tiefreichende Infektionen in 2,8% (PS) und 0% der Fälle (PK) verzeichnet.

Auch in der aktuellen Studie zeigte sich eine signifikant niedrigere Komplikationsrate beim Kalkaneusnagel im Vergleich zur Platte. In der Nagel-Gruppe traten in 4 von 17 Fällen (23,6 %) und in der Platten-Gruppe in 15 von 24 Fällen (62,5 %) Komplikationen auf. Dies entspricht einer 2,7-fach höheren Komplikationsrate nach Plattenosteosynthese. In der Platten-Gruppe kam es unter anderem zu schweren Infektionen, die zu Revisionsoperationen oder frühzeitigen Materialentfernungen

führten, und zu Materialversagen. Zu solchen schweren Folgen kam es beim Kalkaneusnagel nicht, die einzige aufgetretene Infektion konnte mittels Antibiose erfolgreich therapiert werden. Auch das Material zeigte einwandfreie Stabilität.

Tabelle 12: einzelne und gesamte Häufigkeiten der Komplikationen in den aufgeführten Studien in %

| Komplikation Studie | Wundheilungsstörungen | Wundrandnekrosen | Infektionen | Gesamt |
|---------------------------------|-----------------------|------------------|-------------|--------------|
| PO diese Studie | 12,5 % | 33,3 % | 12,5 % | 62,5 % |
| PO Sanders et al. ³⁷ | 11 % | | 0,9 % | 11,9 % |
| PO Rak et al. ⁷⁶ | | 10,5 % | 10,2 % | 20,7 % |
| PO Biz et al. ⁷⁷ | 42,1 % | | 15,8 % | 57,9 % |
| PS/PK Biz et al. ⁷⁷ | 5,7 %/ 9,1 % | | 2,8 %/ 0 % | 8,5 %/ 9,1 % |
| NO diese Studie | 17,6 % | 0 % | 5,9 % | 23,5 % |

Viele weitere Studien zeigten, dass minimalinvasive Operationstechniken im Vergleich zur Plattenosteosynthese über den lateralen Standardzugang deutlich geringere Raten an **Komplikationen** aufweisen (siehe Tabelle 13).^{60,131,132,142-144}

Tabelle 13: Vergleichende Häufigkeiten zwischen PO über ORIF und minimalinvasiver Versorgung einer Kalkaneusfraktur in % und das Häufigkeitsverhältnis

| Komplikation Studie | ORIF-PO | Minimalinvasiv | PO/Minimalinvasiv |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Fan et al.⁶⁰ | 14,9 % | 3,7 % (Schraubenosteosynthese) | 4,0-fach |
| Zhou et al.¹⁴⁴ | 13,5 % | 3,6 % (PO über Sinus-tarsi) | 3,8-fach |
| Schepers et al.¹⁴² | 33,3 % | 6,2 % (PO über Sinus-tarsi) | 5,4-fach |
| Wang et al.¹³² | 13,8 % | 0 % (Steinmann-Pins) | Nicht möglich |
| Diese Studie | 62,5 % | 23,6 % (Kalkaneusnagel) | 2,7-fach |

Die vorliegende Untersuchung bestätigt die reduzierte Komplikationsrate nach minimalinvasiver Versorgung.

Erneute Operation

Eine erneute Operation innerhalb des Studienzeitraumes war in der Platten-Gruppe in 10 von 24 Fällen (42 %) erfolgt. Für die Nagel-Gruppe war in 6 von 17 Fällen (35 %) eine erneute Operation notwendig. Dieser Unterschied ist nicht signifikant. Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass in der Platten-Gruppe in zwei Fällen weitere Operationen nötig wurden. In der Nagel-Gruppe blieb es bei einmaligen Folgeeingriffen. In vier Fällen wurde der Kalkaneusnagel komplett entfernt und in zwei Fällen einzelne Schrauben, die von den jeweiligen Patienten als störend wahrgenommen wurden. Kline et al.¹⁴⁵ zeigten 1,5 Jahre nach Frakturversorgung 23 % Re-Operationen nach Plattenosteosynthese über lateralem Standardzugang und 3 % nach Schraubenosteosynthese über minimalinvasiven Sinus-tarsi-Zugang mit einem signifikanten Unterschied. Die Raten zwischen den Studien sind verschieden, aber beide zeigen häufigere Folgeeingriffe nach ORIF als nach minimalinvasivem Eingriff.

Die Eskalation der Therapie mittels Arthrodesen wurde in der Platten-Gruppe bei drei Patienten (12,5 %) durchgeführt, in der Nagel-Gruppe bei einem (5,9 %), die Gesamthäufigkeit betrug 9,8 %. In einer Untersuchung von Sanders et al.³⁷ mit minimalem Follow-up von 10 Jahren war nach nichtwinkelstabiler Plattenosteosynthese eine sekundäre Arthrodesen bei vorangeschrittener subtalarer Arthrose in 28,7 % der Fälle nötig. Huang et al.¹⁴⁶ erfassten nach ORIF eine Rate sekundärer Arthrodesen von 6,3 % bei einem Follow-up von 35,4 Monaten. Dies entspricht halb so viel wie in der Platten-Gruppe dieser Studie, jedoch mehr als in der Nagel-Gruppe. Bei Fröhlich et al.¹⁴⁷ war bei einem Follow-up von 1-4 Jahren nach ORIF mittels Plattenosteosynthese in 5,8 % und nach minimalinvasiver Schraubenosteosynthese in 2,1 % eine sekundäre Arthrodesen nötig.

Beim Vergleich von zehn Platten- gegen sechs Nagel-Patienten des eigenen Studienkollektivs zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Zeit bis zur Re-Operation. Die zehn Patienten nach Plattenosteosynthese erhielten im Durchschnitt nach 15,9 Monaten eine erneute Operation (14,9 Monate bis Arthrodesen), die Nagel-Patienten hingegen nach 19,5 Monaten (32,6 Monate bis Arthrodesen). In Verbindung mit der geringeren Anzahl notwendiger Re-Operationen, scheint der Kalkaneusnagel die sicherere Versorgung zu sein als die winkelstabile Plattenosteosynthese.

6.2.6 Funktionelle Ergebnisse

In diesem Abschnitt wurden zunächst die **Umfänge** der betroffenen Füße im Vergleich zu den gesunden Füßen betrachtet. Es konnte jedoch kein signifikanter Unterschied gezeigt werden. Hirschmüller et al.¹⁴⁸ zeigten in einer Untersuchung nach intraartikulärer Kalkaneusfraktur, dass eine Umfangsreduktion am Oberschenkel im Zusammenhang mit der betroffenen Seite stand, jedoch weiter distal keine Differenz zu messen war. In der vorliegenden Studie konnte am Fuß kein eindeutiger Zusammenhang zur Fraktur und Operation hergestellt werden.

Die Gesamtlänge der **Narben** am betroffenen Fuß war in der Nagel-Gruppe signifikant geringer. Grund hierfür war die intraoperative Vorgehensweise mit dem offenen vs. minimalinvasiven Zugang. Die Hälfte (12/24) der Patienten mit Plattenosteosynthese zeigte Sensibilitätsstörungen, bei den Nagel-Patienten war in

etwa ein Drittel (6/17) davon betroffen, was im Zusammenhang mit dem geringeren Weichteilschaden und schließlich den kleineren Narben stehen kann.

Bei der **Testung der Motorik** wurden Dorsalextension, Plantarflektion, Pronation und Supination gemessen. Hierbei erzielten die Patienten der Nagel-Gruppe bessere Ergebnisse (aktuelle Werte nachfolgend in Klammern). In einer Untersuchung zur Triple-Mini-Plattenosteosynthese von Kalkaneusfrakturen von Brunner et al.¹¹² 41,7 Monate postoperativ wurden im Mittel für Dorsalextension 14,3° (PO 10,9°; NO 11,9°), Plantarflektion 39,6° (PO 21,8°; NO 23,6°), Pronation 15,4° (PO 4,0°; NO 4,7°) und Supination 26,4° (PO 12,9°; NO 17,4°) gemessen. Es sind größere Bewegungsausmaße in der Studie von Brunner et al. gemessen worden, was zum einen an den verschiedenen Operationstechniken liegen kann. Zum anderen wird dies durch die Untersuchung verschiedener Untersucher beeinflusst. So kann eine andere Stellung im OSG die Beweglichkeit im USG verändern.¹⁴⁹ Folglich ist die Vergleichbarkeit dieser Untersuchungsergebnisse zu anderen Studien eingeschränkt. Die Normwerte in der Literatur, die als Richtwerte genutzt wurden, betragen für Dorsalextension 10-20°, Plantarflektion 40-55°, Pronation 5-10° und Supination 25-30°. ^{150,151} Im Vergleich dazu zeigt sich, dass die Platten- und Nagel-Gruppe für Dorsalextension im Normbereich liegen. Die Nagelgruppe liegt in den anderen drei Bewegungsrichtungen näher an den Normwerten (ohne Signifikanz) als die Platten-Gruppe und erreicht für die Pronation gerundet den unteren Normwertbereich. Hoeve et al.¹²² zeigten weiterhin, dass die Beweglichkeit im unteren Sprunggelenk Aufschluss über das Repositionsergebnis gibt und direkt im Zusammenhang mit der vom Patienten wahrgenommenen Funktionalität steht, was wiederum in den Scores mit abgebildet wird.

6.2.7 Scores

Im **AOFAS-Score** erreichten die Patienten mit Plattenosteosynthese im Durchschnitt 69 Punkte, die mit Kalkaneusnagel 67 Punkte. Beide erreichen damit das Ergebnis „befriedigend“. Hoeve et al.¹²² zeigten in ihrer Studie mit Fokussierung auf das funktionelle Outcome nach Plattenosteosynthese einer Kalkaneusfraktur durchschnittlich 72 Punkte, wie auch Sanders et al.³⁷ in ihrer Langzeituntersuchung 10 Jahre nach nichtwinkelstabiler Plattenosteosynthese mit 75 Punkten. Brunner et al.¹¹² ermittelten für ihre 45 Patienten nach Triple-Mini-Plattenosteosynthese 71

Punkte. In der Review von Veltman et al.¹¹⁵ an 1730 Fällen ergab sich ein durchschnittlicher Wert von 74 Punkten. Die Nagel-Gruppe erreicht ähnliche Werte, wie die aufgeführten Studien ohne signifikanten Unterschied zur Plattenosteosynthese. Bei separater Betrachtung der einzelnen Fragenkomplexe des Scores zeigten sich für „tägliche Aktivitäten“, „maximale Laufstrecke“ und „Bodenbeschaffenheit“ bessere Werte in der Platten-Gruppe, für „maximale Laufstrecke“ war der Unterschied **signifikant**. Diese drei Bereiche bezogen sich auf Funktionen, die durch längere Belastung starken Druck erzeugten und über Schmerzen zur schlechteren Beurteilung führten. Kongruent dazu lagen die Werte der VAS in der Nagel-Gruppe höher. Bei Betrachtung der funktionellen Kriterien ohne längere Belastung - „Gangunsicherheit“, „sagittale Beweglichkeit“, „Rückfußbeweglichkeit“ und „Alignement“ - schnitt die Nagel-Gruppe besser ab. Jedoch fanden sich hierbei keine signifikanten Unterschiede. Hieraus ließe sich ableiten, dass die Nagelosteosynthese eine bessere Funktion (nicht signifikant) ermöglicht, den Patienten jedoch bei längerer Belastung mehr Schmerzen bereitet.

Auch für den **R-FFI** wurde zwischen 40 % (Platte) und 44 % (Nagel) kein signifikanter Unterschied gemessen. Biz et al.⁷⁷, die ORIF und perkutane Techniken mittels K-Draht- und Schraubenosteosynthese verglichen und einen leicht modifizierten FFI mit niedrigeren Werten nutzten, erhielten zwischen ORIF (19,6 %) und K-Draht- (26,4 %) bzw. Schraubenosteosynthese (22,4 %) ebenfalls vergleichbare Werte zwischen der offenen und minimalinvasiven Therapie.

Die Ergebnisse aus dem AOFAS-Score und dem R-FFI weisen überwiegend nicht signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen der aktuellen Studie auf, was für ein vergleichbares funktionelles Outcome steht.

Die **visuelle Analogskala (VAS)** ermöglicht dem Patienten eine subjektive Einordnung seiner Schmerzen. Es zeigte sich in der aktuellen Studie eine etwas höhere Schmerzangabe der Patienten mit Kalkaneusnagel von 37,8 gegenüber 30,9 in der Platten-Gruppe. Dieser Unterschied ist nicht signifikant. Bei Brunner et al.¹¹² gaben die Patienten ca. drei Jahre nach Triple-Mini-Plattenosteosynthese auf einer VAS 0-10 einen vergleichbaren Wert von durchschnittlich 3,6 an. Auch bei Wang et al.¹³² gaben die Patienten nach zwei Jahren persistierende Schmerzen nach ORIF (2,0/10) und perkutaner Steinmann-Pin-Osteosynthese (2,2/10) an. 10-20 Jahre nach ORIF stellten Sanders et al.³⁷ weiterhin Schmerzen (1,8/10) fest. Eine intraartikuläre

Kalkaneusfraktur birgt auch nach einer Osteosynthese Schmerzen über längere Zeit,^{37,112,132} eine Schmerzfreiheit war zum aktuellen Untersuchungszeitpunkt nicht zu erwarten. Die erfassten Werte sind Vergleichbar zwischen den Gruppen und zur Literatur.

Nach der Erfassung der Patientenzufriedenheit stellten Biz et al.⁷⁷ für die Draht- (7/10 Punkte) und Schraubenosteosynthesen (6/10 Punkte) insgesamt schlechtere Ergebnisse fest als für die Plattenosteosynthese (8/10 Punkte). In der aktuellen Studie schließt der Kalkaneusnagel in vielen Bereichen besser ab als die winkelstabile Plattenosteosynthese. Dennoch gab die Platten-Gruppe mit 2,0 eine bessere Note als die Nagel-Gruppe mit 2,3. Makki et al.¹²⁷ konnten keinen Bezug der subjektiven Patientenzufriedenheit zur Verletzungsschwere oder dem erreichten Ergebnis herstellen. Welche Faktoren Einfluss darauf haben, ließe sich nur spekulativ diskutieren.

6.2.8 Wiedereingliederung

Da der sozioökonomische Wert der beruflichen Wiedereingliederung hoch ist^{116,152}, wurde abgefragt, seit wann die Tätigkeit wieder aufgenommen worden war. In einigen Fällen gab es nach einigen Wochen erste, teils erfolgreiche Wiedereingliederungsversuche. Bei anderen dauerte es bspw. über Umschulungen bis zu sechs Jahre, bis sie wieder einen Beruf dauerhaft ausüben konnten. Bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung konnten 69,6 % der Fälle aus der Platten-Gruppe und 66,7 % aus der Nagel-Gruppe wieder ins Berufsleben integriert werden. Nach Plattenosteosynthese waren es zum Untersuchungszeitpunkt durchschnittlich 57,4 Wochen der Berufsunfähigkeit, nach Nagelosteosynthese 22,3 Wochen. Der Unterschied war trotz der 8 Monate Differenz nicht signifikant. Nach Nagelosteosynthese endete die Berufsunfähigkeit etwa 2 Monate früher als in der Untersuchung von Prokop et al.¹⁶ anhand berufsgenossenschaftlicher Daten, worin die Arbeitsunfähigkeit durchschnittlich 7,5 Monate (ca. 32 Wochen) betrug.

6.3 Limitationen der Studie

Das Patientenkollektiv mit 39 Patienten - beziehungsweise 41 Fällen - fällt klein aus, allerdings wurden in vergleichbaren Studien ähnlich viele Probanden untersucht.^{112,153}

Sämtliche Patienten wurden von derselben Person untersucht und befragt. Dadurch ergibt sich eine hohe interne Validität, die die Vergleichbarkeit der Gruppen untereinander gewährleistet. Des Weiteren wurden alle Patienten im gleichen Krankenhaus unter stets vergleichbaren Bedingungen operiert. Durch ein multizentrisches Studiendesign hätte die Fallzahl gegebenenfalls erhöht werden können.

Der Nachuntersuchungszeitraum unterschied sich im Mittel um 1,5 Jahre, wobei die Platten-Gruppe nach durchschnittlich 4,5 Jahren und die Nagel-Gruppe nach durchschnittlich 3 Jahren nachuntersucht worden war. Begründet lag dies in der Tatsache, dass die Patienten in einem möglichst kurzen Nachuntersuchungszeitraum nachuntersucht werden sollte, um die stets gleichen Untersuchungsbedingungen sicherstellen zu können.

Insgesamt ließen sich von vier Patienten keine aktuellen Röntgenbilder anfertigen. Um eine Reduktion der Daten zu vermeiden, wurden für diese Fälle die zuletzt angefertigten Bilder verwendet. Diese waren alle wenigstens 1,2 Jahre postoperativ angefertigt worden. Der Abstand von drei Monaten zum eigentlichen Beginn des Follow-up wurde toleriert, da zum einen die Verteilung auf die Gruppen mit jeweils zwei Fällen gleich war und zum anderen weil dadurch das Kollektiv für die radiologische Auswertung vollständig bleiben konnte.

Im Fragebogen wurden die Patienten nach der Dauer beziehungsweise Anzahl der physiotherapeutischen Behandlungen, die im Zusammenhang mit der Kalkaneusfraktur durchgeführt wurden, gefragt. Es ist anzunehmen, dass die Physiotherapie einen positiven Einfluss auf das funktionelle Outcome hat. Daher wäre ein Vergleich der Patienten anhand der Häufigkeit und Dauer der Physiotherapie sinnvoll. Allerdings wussten nur wenige Patienten, wie viele Physiotherapieeinheiten sie erhalten hatten. In den meisten Fällen waren es

Schätzungen der Patienten. Diese Werte wurden zur groben Einordnung dennoch mit ausgewertet.

Die Patienten wurden weiterhin nach der Notwendigkeit von Hilfsmitteln befragt. Die Angaben wurden ausgewertet, wobei deutlich wurde, dass die Nagel-Gruppe mehr auf Hilfsmittel angewiesen war. Die Vermutung, dass es an dem fortgeschrittenen Alter oder der höheren Frakturschwere anhand der Sanders-Klassifikation liegen könnte, ließ sich nicht evaluieren, da die Daten über den Gesundheitszustand und die körperliche Fitness vor dem Trauma nicht vorlagen.

Es wurde ein retrospektives Studiendesign gewählt. Die individuelle Frakturversorgung wurde so durchgeführt, dass das bestmögliche Ergebnis erreicht wurde. Die Ergebnisse, insbesondere auch in Hinblick auf erste Langzeitfolgen, wurden im Verlauf erhoben und ausgewertet, wie es für derartige Studiendesigns gängige Praxis ist.¹⁵⁴ Vorteilhaft ist, dass die Datenerhebung auf einen geringen Zeitraum beschränkt werden konnte, der in einem prospektiven Studiendesign, sofern es sich hätte realisieren lassen, längere Zeit in Anspruch genommen hätte. Für spätere Folgen, die erneuten Operationen, die Entwicklung einer Arthrose und die funktionelle und radiologische Entwicklung hätten die Patienten für den gleichen Datensatz bereits durchschnittlich fast vier Jahre begleitet werden müssen.

Aus dem Studiendesign ergaben sich jedoch auch Nachteile, da einige Daten nicht mehr erhoben werden konnten. Beispielhaft zeigt es sich anhand der Anzahl durchgeführter physiotherapeutischer Anwendungen. In einer prospektiven Studie hätte die Anzahl genau festgelegt werden können und die Werte wären vergleichbar gewesen. Zusätzlich hätte sich durch eine Randomisierung der Einfluss individueller Merkmale wie z.B. Begleiterkrankungen und Alter reduzieren lassen können.

7 Thesen

- Die als Standardtherapie zur operativen Versorgung intraartikulärer Frakturen geltende Plattenosteosynthese hat eine deutlich höhere Komplikationsrate als minimalinvasive Techniken.
- Es wurde bis dato kein Goldstandard für die operative Versorgung der Kalkaneusfraktur mit niedriger Komplikationsrate und guter Funktionalität etabliert.
- Die Nagelosteosynthese kann in kürzerer Operationszeit und mit geringeren Narben als bei der Plattenosteosynthese über den erweiterten lateralen Standardzugang implantiert werden.
- Die Nagelosteosynthese ermöglicht den Patienten einen kürzeren postoperativen Krankenhausaufenthalt, eine frühere Vollbelastung und die Rückkehr in das Berufsleben 100 Tage früher als nach Plattenosteosynthese.
- Die Komplikationsrate fällt nach Nagelosteosynthese signifikant geringer aus als bei der Plattenosteosynthese.
- Die Funktionalität des betroffenen Fußes wird durch beide Techniken gut wiederhergestellt.
- Mittels Kalkaneusnagel behandelte intraartikuläre Fersenbeinbrüche müssen seltener erneut operiert werden als jene mit Plattenosteosynthese.
- Nach Nagelosteosynthese entwickelt sich seltener oder später eine Osteoarthritis auch bei höherer Verletzungsschwere anhand Sanders-Klassifikation.
- Der Kalkaneusnagel erhält das Repositionsergebnis über wenigstens 1,5 Jahre.
- Der Kalkaneusnagel stellt eine gute Alternative zur herkömmlichen Platte dar.

8 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie diene dem Vergleich des funktionellen und radiologischen Outcomes zweier Operationstechniken zur Versorgung der akuten Fersenbeinfraktur.

Als Standardverfahren gilt die Plattenosteosynthese über den erweiterten lateralen Standardzugang, welche mit hohem Komplikationspotential einhergeht.

Wundheilungsstörungen und Weichteilinfektionen treten in bis zu 42,1 % auf^{37,76-78}

Die klinisch relevante sekundäre Subtalararthrose mit Notwendigkeit einer

Arthrodesese wird in bis zu 28,7 % beobachtet.^{37,41,76-78,90-92}

Die Maxime der operativen Versorgung einer Kalkaneusfraktur ist die anatomische Wiederherstellung des Knochens unter geringer Komplikationsrate mit guter Funktion, woraus eine schnelle Rückkehr in den Alltag und das soziale Leben ermöglicht werden kann.

Um dieses Ziel besser als mit der herkömmlichen Plattenosteosynthese zu erreichen, wurde der Kalkaneusnagel etabliert. Dieser wird über den „through-the-heel“-Zugang implantiert und ermöglicht eine minimalinvasive Frakturversorgung, die ggf. durch einen Sinus-tarsi-Zugang oder eine arthroskopisch assistierte Reposition ergänzt werden kann. Seine Stabilität zeigte sich zumindest als gleichwertig im Vergleich zur Platte.⁹⁵

Um die Verläufe der beiden Techniken zu vergleichen, wurden 24 Frakturen von 23 Patientinnen und Patienten mit Plattenosteosynthese einer Gruppe von 17 Frakturen von 16 Patientinnen und Patienten mit Nagelosteosynthese retrospektiv gegenübergestellt.

Die postoperative Komplikationsrate fiel nach Nagelosteosynthese signifikant geringer aus. Des Weiteren waren die postoperative Liegezeit und die Narbenlänge kürzer und der Osteoarthrose-Grad zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung weniger weit fortgeschritten. Patientinnen und Patienten in erwerbsfähigem Alter ermöglichte die Versorgung der akuten Kalkaneusfraktur mit der Nagelosteosynthese eine schnellere Rückkehr ins Berufsleben.

Das funktionelle Outcome, das mittels AOFAS-Score und R-FFI erfasst wurde, war in beiden Gruppen vergleichbar zu anderen Studien. Die Retentionsfähigkeit der beiden

Operationstechniken war - gemessen am Böhler-Winkel und Winkel nach Gissane - gleichwertig.

Es wurden weitere Operationstechniken und Osteosynthesematerialien entwickelt, die das Komplikationsrisiko der herkömmlichen Plattenosteosynthese insbesondere durch minimalinvasives Vorgehen mindern sollen. Die neuen Techniken wurden mit der ORIF mittels Plattenosteosynthese verglichen.^{77,80,83,132,143,145} Die Komplikationsraten sinken, doch die Retentionsfähigkeit durch Draht- und Schraubenosteosynthesen bei komplexen Frakturen ist limitiert.⁶³ Der Kalkaneusnagel hält die Reposition. Andere für komplexe Frakturen geeignete Operationstechniken, wie beispielsweise die minimalinvasive Plattenosteosynthese¹⁴³ oder auch der C-Nail⁶⁷, sollten perspektivisch mit dem Kalkaneusnagel verglichen werden, um einen neuen Goldstandard zu etablieren.

Nach Pastor et al.⁵⁷ werden in Deutschland 77 % der Kalkaneusfrakturen offen operiert. Dies zeigt die Notwendigkeit weiterer Forschung zur Etablierung minimalinvasiver Techniken.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen folgender Schluss gezogen werden:

Die Stärke des Kalkaneusnagel liegt in einer schnellen, gewebeschonenden und komplikationsarmen Versorgung mit schneller beruflicher Wiedereingliederung bei gleichzeitig guter Funktionalität und nachhaltiger Stabilität.

Die Problematik der hohen Komplikationsrate wird durch Osteosyntheseverfahren wie den Calcanail ® zunehmend gelöst und bei sonst ähnlichen Ergebnissen stellt er im vorliegenden Vergleich eine gute Therapiealternative dar.

Jedoch sei als kritischer Abschluss bedacht, dass die meisten Patientinnen und Patienten beider Gruppen von persistierenden Beschwerden bei alltagsrelevanten Tätigkeiten berichteten, die sich auf ihre Gewohnheiten und auch die sozialen Aspekte auswirkten. Weitere Forschung wird nötig sein, um eine Kalkaneusfraktur mit einem besseren Ergebnis als „befriedigend“ (AOFAS-Score) zu behandeln. Hierzu zählen möglicherweise nicht nur die Etablierung weiterer

Operationstechniken, sondern auch die Ausweitung des Verständnisses dieser Fraktur und die Frage nach einer Therapie des Knorpelschadens.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|---|
| A. | - Arteria |
| ADL | - Activities of Daily Living |
| AO | - Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen |
| AOFAS | - American Orthopaedic Foot and Ankle Society |
| bspw. | - beispielsweise |
| bzw. | - beziehungsweise |
| CT | - Computertomographie |
| et al. | - et alii |
| etc. | - et cetera |
| K-Draht | - Kirschner-Draht |
| Lig. | - Ligamentum |
| Ligg. | - Ligamenta |
| M. | - Musculus |
| min. | - Minuten |
| mm | - Millimeter |
| MRT | - Magnetresonanztomogramm/ Magnetresonanztomographie |
| MWU | - Mann-Whitney-U-Test |
| N. | - Nervus |
| NG | - Nagel-Gruppe |
| NO | - Nagelosteosynthese |
| Nr. | - Nummer |
| o.ä. | - oder ähnliches |
| ORIF | - Open Reduction and Internal Fixation |
| OSG | - oberes Sprunggelenk |
| P | - Punkte |
| PG | - Platten-Gruppe |
| PO | - Plattenosteosynthese |
| PS/PK | - perkutane Schraubenosteosynthese/ Kirschner-Draht-Osteosynthese |
| R-FFI | - Revised Foot Function Index |

| | |
|------|------------------------|
| S. | - Seite |
| u.a. | - unter anderem |
| USG | - unteres Sprunggelenk |
| vs. | - versus |
| z.B. | - zum Beispiel |

Literaturverzeichnis

1. Zwipp H, Rammelt S. *Tscherne Unfallchirurgie: Fuß*. Berlin, Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer; 2014.
2. Pott P. Some few general remarks on fractures and dislocations - reprinted classic article. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;458:40-41. doi:10.1097/BLO.0b013e31803dd063.
3. Goff CW. Fresh fracture of the os calcis. *Arch Surg*. 1938;36(5):744. doi:10.1001/archsurg.1938.01190230023003.
4. Idier J-M. Website Group FH Ortho: Our products - Foot. <http://www.groupfortho.com/our-products/foot/calcanail-for-calcaneal-fracture-and-subtalar-arthrodesis/>. Accessed May 9, 2019.
5. Wirth C-J, Mutschler W, Abdolvahab F, eds. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Thieme; 2009.
6. Aumüller G, Wurzingler LJ. *Duale Reihe: Anatomie*. Stuttgart: Thieme; 2010. <http://dx.doi.org/10.1055/b-002-46981>.
7. Netter FH. *Atlas der Anatomie*. München: Elsevier Urban & Fischer; 2015.
8. Aumüller G, Wurzingler LJ. *Duale Reihe. Anatomie*. Stuttgart: Thieme; 2007.
9. Wentzensen A, Schmidt AH, Gebhard F, Stannard JP, Grützner PA, eds. *Spezielle Unfallchirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2012.
10. Weigel B, Nerlich ML. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. Berlin: Springer; 2011.
11. Rixen D, Halfmann B, Fritzemeier C-R. Fersenbeinfrakturen. *Trauma Berufskrankh*. 2014;16(S1):31-37. doi:10.1007/s10039-013-1969-y.
12. Eastwood DM, Gregg PJ, Atkins RM. Intra-articular fractures of the calcaneum. Part I: Pathological anatomy and classification. *J Bone Joint Surg Br*. 1993;75(2):183-188.
13. Badillo K, Pacheco JA, Padua SO, Gomez AA, Colon E, Vidal JA. Multidetector CT evaluation of calcaneal fractures. *Radiographics*. 2011;31(1):81-92. doi:10.1148/rg.311105036.
14. Mitchell MJ, McKinley JC, Robinson CM. The epidemiology of calcaneal fractures. *Foot (Edinb)*. 2009;19(4):197-200. doi:10.1016/j.foot.2009.05.001.
15. Haapasalo H, Laine H-J, Mäenpää H, Wretenberg P, Kannus P, Mattila VM. Epidemiology of calcaneal fractures in Finland. *Foot Ankle Surg*. 2017;23(4):321-324. doi:10.1016/j.fas.2016.10.004.
16. Prokop A, Müller S, Warnke T, Rehm KE. Problem Fersenbeinfraktur. *Trauma Berufskrankh*. 2007;9(4):315-318. doi:10.1007/s10039-006-1204-1.
17. Hirner A, Weise K, Ziegler M. *Chirurgie*. Stuttgart: Thieme; 2004.
18. Singh AP. Calcaneus Fracture – Causes, Presentation and Treatment. <https://boneandspine.com/calcaneus-fracture/>. Accessed April 25, 2019.
19. Buckley R, Sands A. Diagnosis: Calcaneus, intraarticular displaced fractures. https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOKN_A0M3D2DDbz9_UMMDRyDXQ3dw9wMDAx8jfULsh0VAdAsNSU!/?bone=Foot&segment=Calcaneus&soloState=fbox&teaserTitle=&contentUrl=srg/82/01-Diagnosis/08-Diag-Calcaneus_displaced.jsp. Accessed April 24, 2019.

20. Rupperecht M, Pogoda P, Barvencik F, et al. Der Kalkaneus als Manifestationsort osteoporoseassoziiertes Frakturen: Alters- und geschlechtsabhängige Veränderungen der Kalkaneusmorphologie korrelieren zur Inzidenz und Schwere intraartikulärer Kalkaneusfrakturen. *Unfallchirurg*. 2007;110(3):197-204. doi:10.1007/s00113-006-1187-1.
21. Schumpelick V, Bleese N, Mommsen U, eds. *Kurzlehrbuch Chirurgie*. Stuttgart, New York, NY: Thieme; 2010.
22. Court-Brown CM, Boot DA, Kellam JF. Fracture dislocation of the calcaneus. A report of two cases. *Clin Orthop Relat Res*. 1986;(213):201-206.
23. Takasaka M, Bittar CK, Mennucci FS, Mattos CA de, Zabeu JLA. Comparative study on three surgical techniques for intra-articular calcaneal fractures: open reduction with internal fixation using a plate, external fixation and minimally invasive surgery. *Rev Bras Ortop*. 2016;51(3):254-260. doi:10.1016/j.rboe.2016.04.002.
24. Richman JD, Barre PS. The plantar ecchymosis sign in fractures of the calcaneus. *Clin Orthop Relat Res*. 1986;(207):122-125.
25. Wu K, Wang C, Wang Q, Li H. Regression analysis of controllable factors of surgical incision complications in closed calcaneal fractures. *J Res Med Sci*. 2014;19(6):495-501.
26. Lim EVA, Leung JPF. Complications of Intraarticular Calcaneal Fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2001;391:7-16. doi:10.1097/00003086-200110000-00003.
27. Park YH, Lee JW, Hong JY, Choi GW, Kim HJ. Predictors of compartment syndrome of the foot after fracture of the calcaneus. *Bone Joint J*. 2018;100-B(3):303-308. doi:10.1302/0301-620X.100B3.BJJ-2017-0715.R2.
28. Wirth CJ, ed. *Orthopädie und orthopädische Chirurgie*. Stuttgart, New York: Thieme; 2002.
29. Koval KJ, Sanders R. The radiologic evaluation of calcaneal fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(290):41-46.
30. Bucholz RW, Heckman JD, Court-Brown CM. *Rockwood and Green's Fractures in Adults*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2012.
31. Knight JR, Gross EA, Bradley GH, Bay C, LoVecchio F. Boehler's angle and the critical angle of Gissane are of limited use in diagnosing calcaneus fractures in the ED. *Am J Emerg Med*. 2006;24(4):423-427. doi:10.1016/j.ajem.2005.12.013.
32. Wülker N, Stephens MM, Cracchiolo A, Rosenmeier A. *An atlas of foot and ankle surgery*. 2. ed. London, New York: Taylor & Francis; 2005.
33. Carter DR, Beaupr GS, Wong M, Smith RL, Andriacchi TP, Schurman DJ. The Mechanobiology of Articular Cartilage Development and Degeneration. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;427:S69-S77. doi:10.1097/01.blo.0000144970.05107.7e.
34. Coughlin MJ, Mann RA, eds. *Surgery of the foot and ankle*. St. Louis: Mosby; 1999.
35. Böhler L. *Die Technik der Knochenbruchbehandlung*. Wien: Maudrich; 1977.
36. Essex-Lopresti P. The mechanism, reduction technique, and results in fractures of the OS calcis. *Br J Surg*. 1952;39(157):395-419. doi:10.1002/bjs.18003915704.
37. Sanders R, Vaupel ZM, Erdogan M, Downes K. Operative treatment of displaced intraarticular calcaneal fractures: long-term (10-20 Years) results in 108 fractures

- using a prognostic CT classification. *J Orthop Trauma*. 2014;28(10):551-563. doi:10.1097/BOT.000000000000169.
38. Schepers T, van Lieshout EMM, Ginai AZ, Mulder PGH, Heetveld MJ, Patka P. Calcaneal fracture classification: a comparative study. *J Foot Ankle Surg*. 2009;48(2):156-162. doi:10.1053/j.jfas.2008.11.006.
 39. Chhabra N, Sherman SC, Szatkowski JP. Tongue-type calcaneus fractures: a threat to skin. *Am J Emerg Med*. 2013;31(7):1151.e3-4. doi:10.1016/j.ajem.2013.02.029.
 40. Buckley R., Sands A., Angliker R. Displaced fracture of the calcaneus body: Essex-Lopresti classification. <https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/adult-trauma/calcaneous/displaced-body-fractures/definition>. Accessed May 18, 2020.
 41. Sanders R, Fortin P, DiPasquale T, Walling A. Operative treatment in 120 displaced intraarticular calcaneal fractures. Results using a prognostic computed tomography scan classification. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(290):87-95.
 42. Kohn D, Pohlemann T. *Operationsatlas für die orthopädisch-unfallchirurgische Weiterbildung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
 43. Barei DP, Bellabarba C, Sangeorzan BJ, Benirschke SK. Fractures of the calcaneus. *Orthop Clin North Am*. 2002;33(1):263-85, x.
 44. Wei N, Yuwen P, Liu W, et al. Operative versus nonoperative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: A meta-analysis of current evidence base. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(49):e9027. doi:10.1097/MD.00000000000009027.
 45. Randle JA, Kreder HJ, Stephen D, Williams J, Jaglal S, Hu R. Should calcaneal fractures be treated surgically? A meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 2000;(377):217-227. doi:10.1097/00003086-200008000-00029.
 46. 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(2):196-201.
 47. Bruce J, Sutherland A. Surgical versus conservative interventions for displaced intra-articular calcaneal fractures. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013;(1):CD008628. doi:10.1002/14651858.CD008628.pub2.
 48. Schofer M, Schoepp C, Rlander C, Kortmann H-R. Operative und konservative Behandlung der Kalkaneusfrakturen. *Trauma Berufskrankh*. 2005;7(S01):S156-S161. doi:10.1007/s10039-004-0920-7.
 49. Buckley R, Tough S, McCormack R, et al. Operative compared with nonoperative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: a prospective, randomized, controlled multicenter trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84-A(10):1733-1744.
 50. Hirner A, Weise K, eds. *Chirurgie*. Stuttgart: Thieme; 2008.
 51. Rammelt S, Barthel S, Biewener A, Gavlik JM, Zwipp H. Calcaneusfrakturen-- offene Reposition und interne Stabilisierung. *Zentralbl Chir*. 2003;128(6):517-528. doi:10.1055/s-2003-40627.

52. Li B, Wu G, Yang Y. Conservative versus surgical treatment for displaced fracture of the medial process of the calcaneal tuberosity. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2016;24(2):163-166. doi:10.1177/1602400208.
53. Kayalı C, Altay T, Kement Z, Çıtak C, Yağdı S. The effect of early weight-bearing on comminuted calcaneal fractures treated with locking plates. *Eklem Hastalik Cerrahisi*. 2014;25(2):85-90. doi:10.5606/ehc.2014.19.
54. Boack DH, Wichelhaus A, Mittlmeier T, Hoffmann R, Haas NP. Therapie der dislozierten Calcaneusgelenkfraktur mit der AO-Calcaneusplatte. *Chirurg*. 1998;69(11):1214-1223.
55. Krause F. Minimalinvasive Osteosynthese der intraartikulären Calcaneusfraktur. *Trauma Berufskrankh*. 2017;19(S2):140-143. doi:10.1007/s10039-016-0223-9.
56. Browner BD, Jupiter JB, Krettek C, Anderson P. *Skeletal trauma: Basic science, management, and reconstruction*. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders; 2015.
57. Pastor T, Gradl G, Klos K, et al. Displaced intra-articular calcaneal fractures: Is there a consensus on treatment in Germany? *Int Orthop*. 2016;40(10):2181-2190. doi:10.1007/s00264-016-3134-2.
58. Yue Z, Tang Y, Hu Z, Zheng W. Sanders type IIIAB calcaneal fracture without broken lateral wall: A case report and review of literature. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(7):e9926. doi:10.1097/MD.00000000000009926.
59. Abidi NA, Gruen GS. Operative techniques in open reduction and internal fixation of calcaneal fractures. *Operative Techniques in Orthopaedics*. 1999;9(3):239-246. doi:10.1016/S1048-6666(99)80022-6.
60. Fan B, Zhou X, Wei Z, et al. Cannulated screw fixation and plate fixation for displaced intra-articular calcaneus fracture: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg*. 2016;34:64-72. doi:10.1016/j.ijssu.2016.08.234.
61. Walde TA, Sauer B, Degreif J, Walde H-J. Closed reduction and percutaneous Kirschner wire fixation for the treatment of dislocated calcaneal fractures: Surgical technique, complications, clinical and radiological results after 2-10 years. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2008;128(6):585-591. doi:10.1007/s00402-008-0590-1.
62. Abdelazeem A, Khedr A, Abousayed M, Seifeldin A, Khaled S. Management of displaced intra-articular calcaneal fractures using the limited open sinus tarsi approach and fixation by screws only technique. *Int Orthop*. 2014;38(3):601-606. doi:10.1007/s00264-013-2203-z.
63. Rammelt S, Amlang M, Barthel S, Gavlik J-M, Zwipp H. Percutaneous treatment of less severe intraarticular calcaneal fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(4):983-990. doi:10.1007/s11999-009-0964-x.
64. Xia S, Wang X, Lu Y, Wang H, Wu Z, Wang Z. A minimally invasive sinus tarsi approach with percutaneous plate and screw fixation for intra-articular calcaneal fractures. *Int J Surg*. 2013;11(10):1087-1091. doi:10.1016/j.ijssu.2013.09.017.
65. Goldzak M., Mittlmeier T., Simon P. Calcanail-Surgical-Technique. <http://www.groupfhortho.com/wp-content/uploads/2018/07/Calcanail-Surgical-Technique-2017-03.pdf>. Accessed May 18, 2020.
66. Goldzak M, Mittlmeier T, Simon P. Locked nailing for the treatment of displaced articular fractures of the calcaneus: Description of a new procedure with

- calcanail(®). *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2012;22(4):345-349.
doi:10.1007/s00590-012-0968-1.
67. Pompach M, Carda M, Amlang M, Zwipp H. Versorgung des Fersenbeinbruchs mit einem Verriegelungsnagel (C-Nail). *Oper Orthop Traumatol*. 2016;28(3):218-230. doi:10.1007/s00064-016-0441-0.
68. Huefner T, Thermann H, Geerling J, Pape HC, Pohlemann T. Primary subtalar arthrodesis of calcaneal fractures. *Foot Ankle Int*. 2001;22(1):9-14.
doi:10.1177/107110070102200102.
69. Schepers T. The primary arthrodesis for severely comminuted intra-articular fractures of the calcaneus: A systematic review. *Foot Ankle Surg*. 2012;18(2):84-88. doi:10.1016/j.fas.2011.04.004.
70. Rausch S, Klos K, Wolf U, et al. A biomechanical comparison of fixed angle locking compression plate osteosynthesis and cement augmented screw osteosynthesis in the management of intra articular calcaneal fractures. *Int Orthop*. 2014;38(8):1705-1710. doi:10.1007/s00264-014-2334-x.
71. Singh AK, Vinay K. Surgical treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: Is bone grafting necessary? *J Orthop Traumatol*. 2013;14(4):299-305.
doi:10.1007/s10195-013-0246-y.
72. Vetter S, Franke J, Alfred Grützner P. Intraoperative Anwendung von 3-D-C-Bögen. *OP-JOURNAL*. 2015;30(03):144-148. doi:10.1055/s-0034-1383303.
73. Richter M, Zech S. Intraoperative 3-dimensional imaging in foot and ankle trauma-experience with a second-generation device (ARCADIS-3D). *J Orthop Trauma*. 2009;23(3):213-220. doi:10.1097/BOT.0b013e31819867f6.
74. Rübberdt A, Feil R, Stengel D, et al. Die klinische Wertigkeit des ISO-C(3D) bei der Osteosynthese des Fersenbeins. *Unfallchirurg*. 2006;109(2):112-118.
doi:10.1007/s00113-005-1015-z.
75. Su J, Cao X. Risk factors of wound infection after open reduction and internal fixation of calcaneal fractures. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(44):e8411.
doi:10.1097/MD.00000000000008411.
76. Rak V, Ira D, Masek M. Operative treatment of intra-articular calcaneal fractures with calcaneal plates and its complications. *Indian J Orthop*. 2009;43(3):271-280.
doi:10.4103/0019-5413.49388.
77. Biz C, Barison E, Ruggieri P, Iacobellis C. Radiographic and functional outcomes after displaced intra-articular calcaneal fractures: a comparative cohort study among the traditional open technique (ORIF) and percutaneous surgical procedures (PS). *J Orthop Surg Res*. 2016;11(1):92. doi:10.1186/s13018-016-0426-6.
78. Feng Y, Shui X, Wang J, et al. Comparison of percutaneous cannulated screw fixation and calcium sulfate cement grafting versus minimally invasive sinus tarsi approach and plate fixation for displaced intra-articular calcaneal fractures: a prospective randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:288.
doi:10.1186/s12891-016-1122-8.
79. Benirschke SK, Kramer PA. Wound healing complications in closed and open calcaneal fractures. *J Orthop Trauma*. 2004;18(1):1-6.

80. Zeng Z, Yuan L, Zheng S, Sun Y, Huang F. Minimally invasive versus extensile lateral approach for sanders type II and III calcaneal fractures: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg*. 2018;50:146-153. doi:10.1016/j.ijssu.2017.12.034.
81. Weiss JM. Treatment of Leg Edema and Wounds in a Patient With Severe Musculoskeletal Injuries. *Physical Therapy*. 1998;78(10):1104-1113. doi:10.1093/ptj/78.10.1104.
82. Koski A, Kuokkanen H, Tukiainen E. Postoperative wound complications after internal fixation of closed calcaneal fractures: a retrospective analysis of 126 consecutive patients with 148 fractures. *Scand J Surg*. 2005;94(3):243-245. doi:10.1177/145749690509400313.
83. Jin C, Weng D, Yang W, He W, Liang W, Qian Y. Minimally invasive percutaneous osteosynthesis versus ORIF for Sanders type II and III calcaneal fractures: a prospective, randomized intervention trial. *J Orthop Surg Res*. 2017;12(1):10. doi:10.1186/s13018-017-0511-5.
84. Arastu M, Sheehan B, Buckley R. Minimally invasive reduction and fixation of displaced calcaneal fractures: surgical technique and radiographic analysis. *Int Orthop*. 2014;38(3):539-545. doi:10.1007/s00264-013-2235-4.
85. Abdelgaid SM. Closed reduction and percutaneous cannulated screws fixation of displaced intra-articular calcaneus fractures. *Foot Ankle Surg*. 2012;18(3):164-179. doi:10.1016/j.fas.2011.07.005.
86. van Hove S, Poeze M. Outcome of Minimally Invasive Open and Percutaneous Techniques for Repair of Calcaneal Fractures: A Systematic Review. *J Foot Ankle Surg*. 2016;55(6):1256-1263. doi:10.1053/j.jfas.2016.07.003.
87. Abidi NA, Dhawan S, Gruen GS, Vogt MT, Conti SF. Wound-healing risk factors after open reduction and internal fixation of calcaneal fractures. *Foot Ankle Int*. 1998;19(12):856-861. doi:10.1177/107110079801901211.
88. Zeman P, Zeman J, Matejka J, Koudela K. Long-term results of calcaneal fracture treatment by open reduction and internal fixation using a calcaneal locking compression plate from an extended lateral approach. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2008;75(6):457-464.
89. Gillespie BM, Chaboyer W, Kang E, Hewitt J, Nieuwenhoven P, Morley N. Postsurgery wound assessment and management practices: a chart audit. *J Clin Nurs*. 2014;23(21-22):3250-3261. doi:10.1111/jocn.12574.
90. Letournel E. Open treatment of acute calcaneal fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(290):60-67.
91. Raymakers JT, Dekkers GH, Brink PR. Results after operative treatment of intra-articular calcaneal fractures with a minimum follow-up of 2 years. *Injury*. 1998;29(8):593-599.
92. Bèzes H, Massart P, Delvaux D, Fourquet JP, Tazi F. The operative treatment of intraarticular calcaneal fractures. Indications, technique, and results in 257 cases. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(290):55-59.
93. Wajdi B, Rebai MA, Baya W, Krid N, Zribi W, Keskes H. Pseudarthrosis of the Calcaneus: Advantages of Regenerative Medicine in the Management of a Rare

- Entity, A Case Report and Review of Literature. *Open Orthop J.* 2018;12:141-146. doi:10.2174/1874325001812010141.
94. Gavlik JM, Rammelt S, Zwipp H. Percutaneous, arthroscopically-assisted osteosynthesis of calcaneus fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2002;122(8):424-428. doi:10.1007/s00402-002-0397-4.
 95. Goldzak M, Simon P, Mittlmeier T, Chaussemier M, Chiergatti R. Primary stability of an intramedullary calcaneal nail and an angular stable calcaneal plate in a biomechanical testing model of intraarticular calcaneal fracture. *Injury.* 2014;45 Suppl 1:S49-53. doi:10.1016/j.injury.2013.10.031.
 96. Kostuj T, Schaper K, Baums MH, Lieske S. Eine Validierung des AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale für den deutschen Sprachraum. *Fuß & Sprunggelenk.* 2014;12(2):100-106. doi:10.1016/j.fuspru.2014.02.002.
 97. Saag KG, Saltzman CL, Brown CK, Budiman-Mak E. The Foot Function Index for measuring rheumatoid arthritis pain: evaluating side-to-side reliability. *Foot Ankle Int.* 1996;17(8):506-510. doi:10.1177/107110079601700814.
 98. Budiman-Mak E, Conrad K, Stuck R, Matters M. Theoretical model and Rasch analysis to develop a revised Foot Function Index. *Foot Ankle Int.* 2006;27(7):519-527. doi:10.1177/107110070602700707.
 99. Budiman-Mak E, Conrad KJ, Mazza J, Stuck RM. A review of the foot function index and the foot function index - revised. *J Foot Ankle Res.* 2013;6(1):5. doi:10.1186/1757-1146-6-5.
 100. Tscherne H, J Oestern H. A new classification of soft-tissue damage in open and closed fractures. *Unfallheilkunde.* 1982;85.
 101. 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(3):342-354.
 102. Muinck Keizer R-JO de, Backes M, Dingemans SA, Goslings JC, Schepers T. Post-traumatic subtalar osteoarthritis: which grading system should we use? *Int Orthop.* 2016;40(9):1981-1985. doi:10.1007/s00264-016-3236-x.
 103. Pogatzki-Zahn EM, van Aken HK, Zahn PK. *Postoperative Schmerztherapie - Schmerzmessung und Schmerzdokumentation.* Stuttgart, New York, Delhi, Rio: Thieme Verlagsgruppe; 2008.
 104. SooHoo NF, Shuler M, Fleming LL. Evaluation of the validity of the AOFAS Clinical Rating Systems by correlation to the SF-36. *Foot Ankle Int.* 2003;24(1):50-55. doi:10.1177/107110070302400108.
 105. Ceccarelli F, Calderazzi F, Pedrazzi G. Is there a relation between AOFAS ankle-hindfoot score and SF-36 in evaluation of Achilles ruptures treated by percutaneous technique? *J Foot Ankle Surg.* 2014;53(1):16-21. doi:10.1053/j.jfas.2013.09.005.
 106. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int.* 1994;15(7):349-353. doi:10.1177/107110079401500701.
 107. Budiman-Mak E, Conrad KJ, Roach KE. The Foot Function Index: a measure of foot pain and disability. 1991;44(6):561-570.

108. Rutkowski R, Gałczyńska-Rusin M, Gizińska M, et al. Adaptation and Validation of the Foot Function Index-Revised Short Form into Polish. *Biomed Res Int*. 2017;2017:6051698. doi:10.1155/2017/6051698.
109. Alexandridis G, Gunning AC, Leenen LPH. Patient-reported health-related quality of life after a displaced intra-articular calcaneal fracture: a systematic review. *World J Emerg Surg*. 2015;10:62. doi:10.1186/s13017-015-0056-z.
110. Popelka V, Simko P. Operačná liečba intraartikulárnych zlomenín pätovej kosti. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2011;78(2):106-113.
111. Li Y, Bao R-H, Jiang Z-Q, Wu H-Y. Complications in operative fixation of calcaneal fractures. *Pak J Med Sci*. 2016;32(4):857-862. doi:10.12669/pjms.324.10225.
112. Brunner A, Müller J, Regazzoni P, Babst R. Open reduction and internal fixation of OTA type C2-C4 fractures of the calcaneus with a triple-plate technique. *J Foot Ankle Surg*. 2012;51(3):299-307. doi:10.1053/j.jfas.2012.01.011.
113. Tennent TD, Calder PR, Salisbury RD, Allen PW, Eastwood DM. The operative management of displaced intra-articular fractures of the calcaneum: a two-centre study using a defined protocol. *Injury*. 2001;32(6):491-496. doi:10.1016/S0020-1383(01)00024-9.
114. Agostini V, Ganio D, Facchin K, Cane L, Moreira Carneiro S, Knaflitz M. Gait parameters and muscle activation patterns at 3, 6 and 12 months after total hip arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2014;29(6):1265-1272. doi:10.1016/j.arth.2013.12.018.
115. Veltman ES, Doornberg JN, Stufkens SAS, Luitse JSK, van den Bekerom MPJ. Long-term outcomes of 1,730 calcaneal fractures: systematic review of the literature. *J Foot Ankle Surg*. 2013;52(4):486-490. doi:10.1053/j.jfas.2013.04.002.
116. Schuh A, Hausel M. Die Schwierigkeiten in der Beurteilung von Nachuntersuchungsergebnissen bei plattenosteosynthetisch versorgter Kalkaneusfraktur. Gibt es einen praktikablen Score? *Unfallchirurg*. 2000;103(4):295-300.
117. Rammelt S, Zwipp H, Schneiders W, Dürr C. Severity of injury predicts subsequent function in surgically treated displaced intraarticular calcaneal fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(9):2885-2898. doi:10.1007/s11999-013-3062-z.
118. Ibrahim T, Rowsell M, Rennie W, Brown AR, Taylor GJS, Gregg PJ. Displaced intra-articular calcaneal fractures: 15-year follow-up of a randomised controlled trial of conservative versus operative treatment. *Injury*. 2007;38(7):848-855. doi:10.1016/j.injury.2007.01.003.
119. Manikandan S. Measures of central tendency: The mean. *J Pharmacol Pharmacother*. 2011;2(2):140-142. doi:10.4103/0976-500X.81920.
120. Rawicki N, Wyatt R, Kusnezov N, Kanlic E, Abdelgawad A. High incidence of post-operative infection after 'sinus tarsi' approach for treatment of intra-articular fractures of the calcaneus: a 5 year experience in an academic level one trauma center. *Patient Saf Surg*. 2015;9:25. doi:10.1186/s13037-015-0065-6.

121. Kendal AR, Khalid A, Ball T, Rogers M, Cooke P, Sharp R. Complications of minimally invasive calcaneal osteotomy versus open osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2015;36(6):685-690. doi:10.1177/1071100715571438.
122. van Hove S, Vos J de, Verbruggen JPAM, Willems P, Meijer K, Poeze M. Gait Analysis and Functional Outcome After Calcaneal Fracture. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(22):1879-1888. doi:10.2106/JBJS.N.01279.
123. Pschyrembel W. et al. *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch.* Berlin: De Gruyter; 2011.
124. Holt DR, Kirk SJ, Regan MC, Hurson M, Lindblad WJ, Barbul A. Effect of age on wound healing in healthy human beings. *Surgery.* 1992;112(2):293-7; 297-8.
125. Sarmiento A, Sharpe FE, Ebramzadeh E, Normand P, Shankwiler J. Factors influencing the outcome of closed tibial fractures treated with functional bracing. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;(315):8-24.
126. Taormina DP, Shulman BS, Karia R, Spitzer AB, Konda SR, Egol KA. Older age does not affect healing time and functional outcomes after fracture nonunion surgery. *Geriatr Orthop Surg Rehabil.* 2014;5(3):116-121. doi:10.1177/2151458514532811.
127. Makki D, Alnajjar HM, Walkay S, Ramkumar U, Watson AJ, Allen PW. Osteosynthesis of displaced intra-articular fractures of the calcaneum: a long-term review of 47 cases. *J Bone Joint Surg Br.* 2010;92(5):693-700. doi:10.1302/0301-620X.92B5.23542.
128. Ball ST, Jadin K, Allen RT, Schwartz AK, Sah RL, Brage ME. Chondrocyte viability after intra-articular calcaneal fractures in humans. *Foot Ankle Int.* 2007;28(6):665-668. doi:10.3113/FAI.2007.0665.
129. Cao L, Weng W, Song S, et al. Surgical treatment of calcaneal fractures of Sanders type II and III by a minimally invasive technique using a locking plate. *J Foot Ankle Surg.* 2015;54(1):76-81. doi:10.1053/j.jfas.2014.09.003.
130. Su Y, Chen W, Zhang T, Wu X, Wu Z, Zhang Y. Bohler's angle's role in assessing the injury severity and functional outcome of internal fixation for displaced intra-articular calcaneal fractures: a retrospective study. *BMC Surg.* 2013;13:40. doi:10.1186/1471-2482-13-40.
131. Li L-H, Guo Y-Z, Wang H, et al. Less wound complications of a sinus tarsi approach compared to an extended lateral approach for the treatment of displaced intraarticular calcaneal fracture: A randomized clinical trial in 64 patients. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(36):e4628. doi:10.1097/MD.0000000000004628.
132. Wang Y-m, Wei W-f. Sanders II type calcaneal fractures: a retrospective trial of percutaneous versus operative treatment. *Orthop Surg.* 2015;7(1):31-36. doi:10.1111/os.12160.
133. Bakker B, Halm JA, van Lieshout EMM, Schepers T. The fate of Böhrer's angle in conservatively-treated displaced intra-articular calcaneal fractures. *Int Orthop.* 2012;36(12):2495-2499. doi:10.1007/s00264-012-1706-3.
134. Gonzalez TA, Lucas RC, Miller TJ, Gitajn IL, Zurakowski D, Kwon JY. Posterior Facet Settling and Changes in Bohler's Angle in Operatively and

- Nonoperatively Treated Calcaneus Fractures. *Foot Ankle Int.* 2015;36(11):1297-1309. doi:10.1177/1071100715592448.
135. Thomas RH, Daniels TR. Ankle arthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85-A(5):923-936.
136. Nüesch C, Valderrabano V, Huber C, Tschanner V von, Pagenstert G. Gait patterns of asymmetric ankle osteoarthritis patients. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2012;27(6):613-618. doi:10.1016/j.clinbiomech.2011.12.016.
137. Wang Q, Li X, Sun Y, Yan L, Xiong C, Wang J. Comparison of the Outcomes of Two Operational Methods Used for the Fixation of Calcaneal Fracture. *Cell Biochem Biophys.* 2015;72(1):191-196. doi:10.1007/s12013-014-0436-0.
138. Strømsøe K, Mørk E, Hem ES. Open reduction and internal fixation in 46 displaced intraarticular calcaneal fractures. *Injury.* 1998;29(4):313-316.
139. Zhang W, Chen E, Xue D, Yin H, Pan Z. Risk factors for wound complications of closed calcaneal fractures after surgery: a systematic review and meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2015;23:18. doi:10.1186/s13049-015-0092-4.
140. Aller MA, Arias JL, Nava MP, Arias J. Posttraumatic inflammation is a complex response based on the pathological expression of the nervous, immune, and endocrine functional systems. *Exp Biol Med (Maywood).* 2004;229(2):170-181. doi:10.1177/153537020422900206.
141. Kohl BA, Deutschman CS. The inflammatory response to surgery and trauma. *Curr Opin Crit Care.* 2006;12(4):325-332. doi:10.1097/01.ccx.0000235210.85073.fc.
142. Schepers T, Backes M, Dingemans SA, Jong VM de, Luitse JSK. Similar Anatomical Reduction and Lower Complication Rates With the Sinus Tarsi Approach Compared With the Extended Lateral Approach in Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures. *J Orthop Trauma.* 2017;31(6):293-298. doi:10.1097/BOT.0000000000000819.
143. Xia S, Lu Y, Wang H, Wu Z, Wang Z. Open reduction and internal fixation with conventional plate via L-shaped lateral approach versus internal fixation with percutaneous plate via a sinus tarsi approach for calcaneal fractures - a randomized controlled trial. *Int J Surg.* 2014;12(5):475-480. doi:10.1016/j.ijsu.2014.03.001.
144. Zhou H-C, Yu T, Ren H-Y, et al. Clinical Comparison of Extensile Lateral Approach and Sinus Tarsi Approach Combined with Medial Distraction Technique for Intra-Articular Calcaneal Fractures. *Orthop Surg.* 2017;9(1):77-85. doi:10.1111/os.12310.
145. Kline AJ, Anderson RB, Davis WH, Jones CP, Cohen BE. Minimally invasive technique versus an extensile lateral approach for intra-articular calcaneal fractures. *Foot Ankle Int.* 2013;34(6):773-780. doi:10.1177/1071100713477607.
146. Huang P-J, Huang H-T, Chen T-B, et al. Open reduction and internal fixation of displaced intra-articular fractures of the calcaneus. *J Trauma.* 2002;52(5):946-950.
147. Fröhlich P, Zakupszky Z, Csomor L. Erfahrungen mit der gedeckten Verschraubung intraartikulärer Fersenbeinbrüche. Operationstechnik und

- klinische Ergebnisse. *Unfallchirurg*. 1999;102(5):359-364. doi:10.1007/s001130050418.
148. Hirschmüller A, Konstantinidis L, Baur H, et al. Do changes in dynamic plantar pressure distribution, strength capacity and postural control after intra-articular calcaneal fracture correlate with clinical and radiological outcome? *Injury*. 2011;42(10):1135-1143. doi:10.1016/j.injury.2010.09.040.
149. Milgrom C, Giladi M, Simkin A, et al. The normal range of subtalar inversion and eversion in young males as measured by three different techniques. *Foot Ankle*. 1985;6(3):143-145. doi:10.1177/107110078500600304.
150. Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma*. 2016;30(3):232-238. doi:10.1016/j.mporth.2016.04.015.
151. Krähenbühl N, Horn-Lang T, Hintermann B, Knupp M. The subtalar joint: A complex mechanism. *EFORT Open Rev*. 2017;2(7):309-316. doi:10.1302/2058-5241.2.160050.
152. Melcher G, Degonda F, Leutenegger A, Rüedi T. Ten-year follow-up after operative treatment for intra-articular fractures of the calcaneus. *J Trauma*. 1995;38(5):713-716.
153. Battaglia A, Catania P, Gumina S, Carbone S. Early minimally invasive percutaneous fixation of displaced intra-articular calcaneal fractures with a percutaneous angle stable device. *J Foot Ankle Surg*. 2015;54(1):51-56. doi:10.1053/j.jfas.2014.08.021.
154. Röhrig B, Du Prel J-B, Wachtlin D, Blettner M. Types of study in medical research: part 3 of a series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int*. 2009;106(15):262-268. doi:10.3238/arztebl.2009.0262.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Links: Geschlossene Reposition nach Cotton und Wilson 1908 gezeichnet nach: Hans Zwipp, Stefan Rammelt. ¹ Rechts: minimalinvasive Reposition mittels Distraktor und Stößel 2012 nach: Group FH Orthopedics. ⁴ | 1 |
| Abbildung 2: Kalkaneus von lateral, medial, kranial und dorsal. Aus Netter, F.H. ⁷ | 2 |
| Abbildung 3: Laterale (a), axiale (b) und einzelne Bröden- (c) Röntgenaufnahme eines gesunden rechten Rückfußes mit Darstellung der Winkel. | 7 |
| Abbildung 4: CT einer Kalkaneusfraktur Sanders Typ IIIab eines Studienpatienten, linker Fuß; a-f coronare, g-l sagittale Rekonstruktionen..... | 8 |
| Abbildung 5: Essex-Lopresti-Klassifikation, a: Tongue-Typ, b: Joint-depression-Typ; schematisch gezeichnet; die großen Pfeile stellen die axiale Kraftwirkung dar, die kleinen die Divergenz der Fragmente. ⁴⁰ | 10 |
| Abbildung 6 a-e: Sanders-Klassifikation mit Darstellung der möglichen Frakturlinien, jeweils links von plantar und rechts von kranial. Nach Dieter Kohn, Tim Pohlemann ⁴² | 11 |
| Abbildung 7: winkelstabile Rimbus ®-Platte, Intercus GmbH, Rudolstadt, Deutschland mit passenden Schrauben mit Kopfgewinde | 14 |
| Abbildung 8: Calcanail ®, FH Orthopedics, Heimsbrunn/Mulhouse, Frankreich. a: Osteosynthesenagel; b: Arthrodesenagel. ⁴ | 16 |
| Abbildung 9: Implantierter Calcanail ®. FH Orthopedics, Heimsbrunn/Mulhouse, Frankreich ⁴ | 17 |
| Abbildung 10: VAS-Schmerzskala..... | 31 |
| Abbildung 11: durchschnittliches Alter in den Gruppen (Jahre) | 34 |
| Abbildung 12: Unfallhergang im gesamten Kollektiv (%) | 35 |
| Abbildung 13: Seitenverteilung der Frakturen des gesamten Kollektivs (%) | 35 |
| Abbildung 14: Weichteilzustand des betroffenen Fußes in den Gruppen (%) | 36 |
| Abbildung 15: Sanders-Klassifikation der Frakturen in den Gruppen (%) | 37 |
| Abbildung 16: Essex-Lopresti-Klassifikation der Frakturen in den Gruppen (%) | 37 |
| Abbildung 17: Osteoarthrosegrade nach Paley in den beiden Gruppen (%) | 43 |
| Abbildung 18: bisherige Wiedereingliederung in einen Beruf der nicht berenteten Patienten in den Gruppen (%) | 46 |
| Abbildung 19: notwendige Hilfsmittel in den Gruppen (%) | 47 |
| Abbildung 20: Beurteilung der OP in den Gruppen (%) | 48 |
| Abbildung 21: Verlauf einer Kalkaneusfraktur eines Studienpatienten; a: posttraumatisch; b: nach Plattenosteosynthese; c: zum Nachuntersuchungszeitpunkt | 59 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Weichteilschaden geschlossener Frakturen, Einteilung nach Tscherne und Oestern | 27 |
| Tabelle 2: reduzierte Sanders-Klassifikation für Kalkaneusfrakturen | 27 |
| Tabelle 3: Paley Grading System für Osteoarthritis ^{101,102} | 28 |
| Tabelle 4: zugrunde gelegte Normwerte für das Bewegungsausmaß der Sprunggelenke | 29 |
| Tabelle 5: AOFAS-Score und dessen Beurteilung; ADL=activities of daily living | 31 |
| Tabelle 6: Beispiel R-FFI, Kategorie Schmerz | 32 |
| Tabelle 7: postoperative Komplikationen in den Gruppen (absolute Anzahl / Anteil der Gruppe) | 39 |
| Tabelle 8: Durchschnittlicher Böhler-Winkel im Verlauf in den Gruppen | 42 |
| Tabelle 9: Durchschnittlicher Winkel nach Gissane im Verlauf in den Gruppen | 43 |
| Tabelle 10: Beweglichkeit des betroffenen Fußes in den Gruppen | 44 |
| Tabelle 11: Kategorie Funktion aus AOFAS-Score in den Gruppen und Ergebnis des Signifikanztests | 49 |
| Tabelle 12: einzelne und gesamte Häufigkeiten der Komplikationen in den aufgeführten Studien in % | 62 |
| Tabelle 13: Vergleichende Häufigkeiten zwischen PO über ORIF und minimalinvasiver Versorgung einer Kalkaneusfraktur in % und das Häufigkeitsverhältnis | 63 |

Danksagung

Ich danke meiner Familie für die Zeit, Unterstützung und Energie.

Weiterhin danke ich allen Kolleginnen und Kollegen, die ich zu Rate zog – insbesondere Anica.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich diese Dissertationsschrift selbstständig und ohne Hilfe Dritter verfasst, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus diesen entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Untersuchungsbogen

Name des Patienten:

Geburtsdatum des Patienten:

Telefonnummer:

- Ausmaß der Schwellung (cm)
 - Links:..... cm
 - Rechts:..... cm
- Narbe
 - Länge der Narbe: cm
- Beweglichkeit
 - Dorsalextension/Plantarflexion (20°/0°/40°)
 - Pronation/Supination (15°/0°/35°)
 - Eversion/Inversion (15°/0°/25°)
- Ist ein Druckschmerz vorhanden?
 - Ja - wo?
 - Nein
- Sind Sensibilitätsstörungen vorhanden?
 - Hypästhesie, welches Dermatom.....
 - Dysästhesie, welches Dermatom.....
 - Nein
- Ist ein Plattfuß vorhanden?
 - Ja
 - 1. Grades: leicht
 - 2. Grades: mittel
 - 3. Grades: schwer
 - Nein
- Ist ein Knickfuß vorhanden?
 - Ja
 - Nein

- Ist ein Fersengang möglich?
 - Ja
 - Nein
- Ist ein Zehengang möglich?
 - Ja
 - Nein
- Welche Gehstrecke ist möglich?(AOFAS)
 - > 2500 m
 - 1600 bis 2500 m
 - 400 bis 1200 m
 - < 400 m
- Gangabnormalität (AOFAS)
 - keine, leichte
 - augenscheinlich
 - erhebliche
- Sagittale Bewegung (AOFAS)
 - normal, leichte Einschränkung (30° oder mehr)
 - mäßige Einschränkung (15°-29°)
 - starke Einschränkung (weniger als 15°)
- Hinterfußbewegung (Inversion/EVERSION) (AOFAS)
 - normal, oder leichte Einschränkung (75% - 100 % von normal)
 - mäßige Einschränkung (25%-74%)
 - massive Einschränkung (weniger als 25%)
- Gelenk-Hinterfuß-Stabilität (ap, varus/valgus) (AOFAS)
 - stabil
 - definitiv instabil
- Achse (AOFAS)
 - gut plantigrader Fuß, Gelenk-Hinterfußachse normal
 - ausreichend plantigrader Fuß, um einige Grad der Gelenk-Hinterfußachse abweichend ohne Symptome
 - nicht plantigrader Fuß, erhebliche Abweichung der Gelenk-Hinterfußachse mit Symptomen

Lieber Patient, liebe Patientin,

wir freuen uns, dass Sie zu unserer Nachuntersuchung gekommen sind. Wir würden Sie bitten, diesen Fragebogen vollständig auszufüllen. Wenn Sie Fragen haben, stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Name: _____

Geburtsdatum: _____

1. Fand bereits erneut eine Operation an dem betroffenen Fuß statt?

.....

Falls das Implantat nicht mehr vorhanden ist, wo wurde es entfernt?

wann wurde es entfernt?.....

warum wurde es entfernt?.....

2. Kam es seit der letzten Nachuntersuchung bei uns zu Komplikationen?

- Keine
- Infektionen
- Wundheilstörungen
- Blutungen
- Kompartmentsyndrom

3. Wurde seit der letzten Nachuntersuchung bei uns eine Physiotherapie durchgeführt?

- Ja
- Nein

4. Ab wann und wie lange wurde diese Physiotherapie durchgeführt?

.....

5. Welchen Beruf üben Sie aus?

.....

6. Hat sich an Ihren beruflichen Umständen etwas seit der letzten Nachuntersuchung geändert?

- Ich arbeite in meinem alten Beruf seit.....
- Ich musste meinen Beruf wechseln
Alter Beruf:
- Neuer Beruf:
- Ich habe seit der OP keine Tätigkeit mehr aufgenommen
- Rentner

7. Wie stark sind Ihre Schmerzen? (AOFAS)

- keine
- leicht, gelegentlich
- mittelmäßig, täglich
- heftig, fast immer

8 Auf einer Skala von 1-100, wo würden Sie Ihre Schmerzen einordnen? (1= kein Schmerz, 100= stärkster sich vorzustellender Schmerz)

 1 100

9. Nehmen Sie Schmerzmittel gegen Ihre Schmerzen ein?

- Nie
- Gelegentlich
- Häufig

10. Mussten Sie seit der letzten Nachuntersuchung bei uns eine Sportart/Freizeitaktivität aufgrund Ihrer Verletzung aufgeben?

- Ja - welche?
- Nein

11. Haben Sie Schwellungen am Fuß/Sprunggelenk?

- Ja, immer
- Ja, tagsüber
- Ja, nachts
- Nein

12. Benötigen Sie eine Gehhilfe?

- Ja –
 - Konfektionsschuhe
 - Orthopädische Schuhe
 - Absatzerhöhung
 - Einlagen
 - Rollator
 - Gehstützen/ Gehstock
 - Rollstuhl
- die Gehhilfe benötigte ich schon vor der Verletzung
- die Gehhilfe benötige ich seit der Verletzung
- Nein

13. Haben Sie Schwierigkeiten beim Gehen auf bestimmten Oberflächen? (AOFAS)

- keine Schwierigkeiten auf sämtlichen Oberflächen
- geringe Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigung, Leiter
- große Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigung, Leiter

14. Inwiefern sind Sie beeinträchtigt? (AOFAS)

- keine Einschränkung, keine Stütze/Gehhilfe
- keine Einschränkung bei den täglichen Aktivitäten, jedoch Einschränkung bei Freizeitaktivitäten, keine Gehhilfen
- Einschränkung bei den täglichen Aktivitäten und Freizeitaktivitäten, Gehstock
- starke Einschränkung bei täglichen Aktivitäten und Freizeitaktivitäten Gehbock/Unterarmgehstützen, Rollstuhl, Gips, Orthese

15. Wie würden Sie letztendlich das Ergebnis der Operation beurteilen?

- Sehr gut
- Gut
- Zufriedenstellend
- Schlecht

Foot function index

SCHMERZ

Wie stark waren Ihre Schmerzen während der letzten Woche?

| | Kein Schmerz | Milder Schmerz | Mäßiger Schmerz | Starker Schmerz | |
|------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| 1. Bevor Sie am Morgen aufstanden? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 2. Beim barfuß Stehen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 3. Beim barfuß Gehen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 4. Beim Stehen mit Schuhen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 5. Beim Gehen mit Schuhen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 6. Beim Stehen mit Schuheinlagen ? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5= trage keine Schuheinlagen |
| 7. Beim Gehen mit Schuheinlagen? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5= trage keine Schuheinlagen |
| 8. Am Ende des Tages ? | 1 | 2 | 3 | 4 | |

Wie stark waren Ihre Schmerzen während der letzten Woche?

| | Kein Schmerz | Milder Schmerz | Mäßiger Schmerz | Starker Schmerz |
|---------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 9. Wenn Sie Fußkrämpfe hatten? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10. Bevor Sie schlafen gegangen sind? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 11. Im schlimmsten Fall ? | 1 | 2 | 3 | 4 |

STEIFIGKEIT

Wie stark war während der letzten Woche das Steifigkeitsgefühl in Ihrem Fuß ?

| | Keine Steifigkeit | Milde Steifigkeit | Mäßige Steifigkeit | Starke Steifigkeit | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| 12. Bevor Sie am Morgen aufstanden? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 13. Beim barfuß Stehen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 14. Beim barfuß Gehen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 15. Beim Stehen mit Schuhen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 16. Beim Gehen mit Schuhen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 17. Beim Gehen mit Schuheinlagen? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5= trage keine Schuheinlagen |
| 18. Bevor Sie schlafen gegangen sind? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 19. Im schlimmsten Fall ? | 1 | 2 | 3 | 4 | |

SCHWIERIGKEIT

Wie viel Schwierigkeiten hat Ihnen Ihre Fußverletzung während der letzten Woche bereitet?

| | Keine Schwierigkeiten | Geringe Schwierigkeiten | Mäßige Schwierigkeiten | Starke Schwierigkeiten |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 20. Beim Gehen im Haus? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 21. Beim Gehen auf unebenem Boden? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 22. 1 km oder mehr zu gehen? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 23. Beim Treppen hinauf steigen? | 1 | 2 | 3 | 4 |

Wie viel Schwierigkeiten hat Ihnen Ihre Fußverletzung während der letzten Woche bereitet?

| | Keine Schwierigkeiten | Geringe Schwierigkeiten | Mäßige Schwierigkeiten | Starke Schwierigkeiten |
|---|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 24. Beim Treppen hinunter steigen? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 25. Beim Stehen auf den Zehenspitzen? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 26. Normal zu stehen? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 27. Wenn Sie Gegenstände über 2 kg getragen oder gehoben haben? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 28. Beim Aufstehen aus einem Stuhl? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 29. Beim schnellen Gehen? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 30. Beim Rennen? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 31. Beim hinunter Gehen eines Berges? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 32. Beim Halten einer konstanten Schrittgeschwindigkeit? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 33. Beim Gehen Ihrer normalen Wegstrecke? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 34. Beim Halten Ihres Gleichgewichtes? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 35. Beim Sauberhalten Ihrer Füße? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 36. Beim Gehen mit einem unterstützenden Hilfsmittel? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 37. Beim Überwinden von Hindernissen in Ihrem Haus? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 38. Beim Autofahren? | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 39. Beim Ausüben Ihrer täglichen Aktivitäten? | 1 | 2 | 3 | 4 |

LEISTUNGSEINSCHRÄNKUNG

In der letzten Woche, wie oft haben Sie...

| | Gar nicht | Manchmal | Häufig | Immer | |
|---|-----------|----------|--------|-------|---|
| 40. Einen Gehstock, Krücken oder Gehwagen aufgrund Ihrer Fußprobleme im Haus benutzt? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=benutze keinen Gehstock etc. |
| 41. Einen Gehstock, Krücken oder Gehwagen aufgrund Ihrer Fußprobleme draußen benutzt? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=benutze keine Krücke etc. |
| 42. Fast den gesamten Tag aufgrund Ihrer Fußprobleme im Haus verbracht? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 43. Fast den gesamten Tag aufgrund Ihrer Fußprobleme im Bett verbracht? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 44. Sich aufgrund von Angst vor Fußverletzungen besonders vorsichtig in großen Menschenmengen aufgehalten ? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=gehe nicht in Menschenmengen |
| 45. Aktivitäten im Freien aufgrund Ihrer Fußprobleme begrenzt? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=mache keine Aktivitäten im Freien |
| 46. Ihre Freizeit- und Sportaktivitäten wegen Ihrer Fußprobleme begrenzt? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5= mache kein Sport |
| 47. Entschieden wegen Ihrer Fußprobleme keine öffentlichen Verkehrsmittel zu benutzen? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=benutze keine öffentlichen Verkehrsmittel |
| 49. Entschieden wegen Ihrer Fußprobleme nicht mit dem Auto zu fahren? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=fahre kein Auto |

SOZIALE ASPEKTE

In der letzten Woche, wie häufig haben Sie folgendes erfahren....

| | Gar nicht | Selten | Manchmal | Häufig | |
|--|-----------|--------|----------|--------|---------------|
| 50. Die Angst zu fallen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 51. Verlegenheit aufgrund des Hinkens? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=kein Hinken |

In der letzten Woche, wie häufig haben Sie folgendes erfahren...

| | Gar nicht | Selten | Manchmal | Häufig | |
|--|-----------|--------|----------|--------|--------------------------|
| 52. Schwierigkeiten modische Schuhe zu finden? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5=keine modischen Schuhe |
| 53. Schwierigkeiten feinere Schuhe zu finden? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 54. Verlegenheit aufgrund Ihres Schuhwerks? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 55. Depressionen aufgrund der Fußprobleme? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 56. Schwierigkeiten geeignete Schuhe zu finden? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 57. Sich furchtbar zu fühlen aufgrund der Fußprobleme? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 58. Soziale Aktivitäten aufgrund der Fußprobleme zu begrenzen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 59. Ständigen Ärger aufgrund der Bewältigung der Fußschmerzen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 60. Schwierigkeiten an sozialen Aktivitäten aufgrund des Schuhwerkes teilzunehmen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 61. Ärger beim Ausführen von täglichen Aktivitäten? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 62. Schlechten Schlaf aufgrund von Fußschmerzen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 63. Belastung die Medizin zu nehmen, um die Fußschmerzen zu kontrollieren? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 64. Schwierigkeiten gemütliches Schuhwerk zu finden? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 65. Schwierigkeiten einen Arbeitsplatz aufgrund der Fußprobleme zu finden? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 66. Betroffenheit über das Aussehen Ihres Fußes? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 67. Betroffenheit über die Einschränkung der Hausarbeit? | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 68. Sorgen über mögliche Amputationen von Fuß, Bein oder Zehen? | 1 | 2 | 3 | 4 | |