

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
(ZOU) der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-
Universität Mainz

**Nachuntersuchung von C-Nail versorgten
Calcaneusfrakturen**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Rasmus Engels
Aus Bonn-Duisdorf

Mainz, 2022

Tag der Promotion: 12. Juli 2022

Inhalt

1. Einleitung	1
2. Grundlagen	3
2.1 Der Calcaneus und seine Gelenke	3
2.2 Die Calcaneusfraktur	5
2.2.1 Epidemiologie.....	5
2.2.2 Frakturmechanismus und Frakturform.....	5
2.2.3 Klassifikation der Calcaneufraktur.....	6
2.3 Konservative Therapie.....	7
2.4 Verschiedene Operative Therapien (auch historisch)	9
2.4.1 Vor der Platte.....	9
2.4.2 Konventionelle Plattenosteosynthese	10
2.4.3 Winkelstabile Plattenosteosynthese	12
2.4.4 Minimal invasive Plattenosteosynthese	13
3. Der C-Nail	14
3.1 Geschichte der intramedullären Calcaneusosteosynthese	14
3.2 Entwicklung und Design des C-Nails	14
3.3 Operationstechnik C-Nail	15
3.4 Postoperative Behandlung und Beurteilung (Röntgenbild, Klinik)	18
3.5 Studienergebnisse zum C-Nail.....	19
4. Material und Methoden	20
4.1 Patientenkollektiv.....	20
4.2 Klassifikation Calcaneusfraktur	20
4.3 Nachuntersuchung	20
4.4 Der AOFAS Score.....	21
4.5 Der Fragebogen und seine Auswertung.....	23
4.6 Datenauswertung	24
5. Ergebnisse	25
5.1 Epidemiologie	25

5.2 Arbeitsunfall vs. Freizeitunfall	26
5.3 Frakturmechanismus	27
5.4 Frakturschwere nach Sanders	28
5.5 Frakturmechanismus vs. Frakturschwere	29
5.6 Weichteilkomplikationen	31
5.7 AOFAS Score	32
5.8 Return to Work und Return to Sports	33
5.9 Schmerzen und Beschwerden	35
5.10 Repositionsergebnis im Röntgenbild	37
6. Diskussion	41
6.1 Epidemiologie und Frakturmechanismus	41
6.2 Frakturschwere, AOFAS Score und Repositionsergebnisse	42
6.3 Weichteilkomplikationen	43
6.4 Return to Work und Return to Sports	44
7. Zusammenfassung	47
Literaturverzeichnis	48
Abbildungsverzeichnis	53
Tabellenverzeichnis	54
Danksagung	55
Lebenslauf	56

1. Einleitung

Die Calcaneusfraktur galt lange als eine nur schwer bis gar nicht erfolgreich behandelbare Fraktur (1). Seit Hippokrates wurde eine Vielzahl von Behandlungsvarianten entwickelt und erprobt (1). Cotton et. Al. Publizierte 1916 eine Methode der Reposition mittels Hammer und Sandsack, um die von außen sichtbare Dislokation des Knochens zu verbessern (2). Schon im 19. Jahrhundert wurden die ersten Versuche einer offenen Reposition publiziert (3). Doch die offene Reposition zeigte lange keine besseren Ergebnisse als eine Gipsruhigstellung, sodass die meisten Autoren eine konservative Therapie, eine direkte Arthrodese des Subtalargelenkes oder sogar eine direkte Triple-Arthrodese bei Calcaneusfrakturen empfahlen (1,4). In Wien wurde parallel von Lorenz Böhler auch für den Calcaneus eine spezifische Repositions- und Gipsbehandlung entwickelt, welche als Böhler Methode auch im anglo-amerikanischen Raum Anwendung fand (4). In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die operative Therapie kontrovers diskutiert (5–8).

Es entwickelten sich unterschiedliche OP Techniken von offener Reposition und Einbolzen eines Beckenkammspans hin zur heute als Goldstandard angesehenen winkelstabilen Plattenosteosynthese Anfang der 2000er Jahre (9–11). Trotzdem bleibt der Benefit der operativen Therapie in den wenigen durchgeführten randomisierten Studien fraglich (12,13). Ein viel genannter Grund für diesen fraglichen Nutzen der operativen Therapie trotz Verkürzung der Ausfallzeit sowie verminderter Schmerzhaftigkeit im Vergleich zur konservativen Therapie ist die hohe Rate an Weichteilkomplikationen (12).

Die Verringerung der Weichteilkomplikationsrate ist die Kernidee der intramedullären Implantate für den Calcaneus. Die Idee eines intramedullären Kraftträgers für den Calcaneus ist so alt wie die operative Therapie des Calcaneus und wurde 1888 von Gussenbauer als erstes erwähnt (14). Weitere Publikationen blieben aus, sodass man davon ausgehen kann, dass die Idee nicht weiterverfolgt wurde. 2012 wurde mit dem calcanail ein erstes Produkt auf den Markt gebracht, welches dem Prinzip eines minimal invasiven lateralen Zugangs in Kombination mit einem intramedullären Nagel folgt (15). Im Jahr 2016 folgte Zwipp et. al. mit der Publikation der ersten Ergebnisse zum C-Nail. Dieser Nagel entwickelt das Konzept des intramedullären Kraftträgers, welcher von dorsal in den Calcaneus eingebracht wird, weiter. Die Schrauben sind winkelstabil im Implantat verankert und der Nagel ist mittels Verschlusskappe in seiner Länge variabel (14,16–18). Zwipp et. al- publizierten 2016 Ergebnisse des initialen Patientenkollektives von 103 Patienten mit sehr guten Ergebnissen, vor allem auch im Bereich der für die erfolgreiche Calcaneusfrakturversorgung so wichtigen Weichteilkomplikationen (14). Seit 2016 wird der C-Nail an der Universitätsmedizin Mainz

neben der winkelstabilen Plattenosteosynthese zur Versorgung von Calcaneusfrakturen eingesetzt.

Zwischen 2016 und 2020 wurden in der Universitätsmedizin Mainz 40 Patienten mit insgesamt 43 C-Nails operativ versorgt. Die postoperativen radiologischen Kontrollen wurden ausgewertet und die Patienten standardisiert nachuntersucht.

In dieser Arbeit soll unter Berücksichtigung der Literatur sowie unserer eigenen Nachuntersuchungsergebnisse die Frage beantwortet werden, ob der Calcaneusnagel ein sinnvolles ergänzendes Implantat zur winkelstabilen Platte darstellt oder vielleicht sogar zukünftig die Ablösung derselben als Primärimplantat erreichen kann.

2. Grundlagen

2.1 Der Calcaneus und seine Gelenke

Der Calcaneus ist der größte der 26 Fußknochen und bildet den lasttragenden Anteil der Ferse (19). Der Knochen besteht zu großem Teil aus Spongiosa mit einer dünnen die Spongiosa umhüllenden Kortikalis. Der Calcaneus hat vier Gelenkflächen, um mit Talus, Cuboid und Naviculare in Kontakt zu treten (17). Die Größte von den vieren ist die ovale Facies articularis talaris posterior, welche nach medial hin abfällt und den größten Teil des Subtalargelenkes bildet (17). Ventromedial folgt die Facies articularis talaris medialis und ventral die Facies articularis talaris anterior, welche in unterschiedlichen Variationen ausgebildet sein können (20). Diese bilden zusammen die ventrale Komponente des Subtalargelenkes sowie einen der vier Gelenkpartner am Articulatio talocalcaneonavicularis. Die mediale Facette liegt auf dem Sustentaculum tali, einem nach medial herausragendem und gut tastbarem knöchernem Vorsprung. Zwischen diesen ventralen Gelenkfacetten und der posterioren Gelenkfläche befindet sich der Sulcus calcanei, der zusammen mit dem Sulcus tali den wichtigen Tarsaltunnel bildet (20). Anterior am Calcaneus findet sich die Facies articularis cuboidea, welche die gesamte anteriore Fläche des Knochens bedeckt (17). Hier bildet sie mit der Facies articularis calcanea des Cuboids das Calcaneocuboidgelenk. Eine weitere wichtige knöcherner Landmarke am Calcaneus ist der dorsale Tuber calcanei, an welchem die Achillessehne flächig ansetzt (17). Seitlich zeigt das Tuber zwei kleine knöcherner Vorsprünge. Am Processus medialis tuberis calcanei entspringen die Sehne des M. abductor hallucis sowie die Sehne des M. flexor digitorum brevis (17).

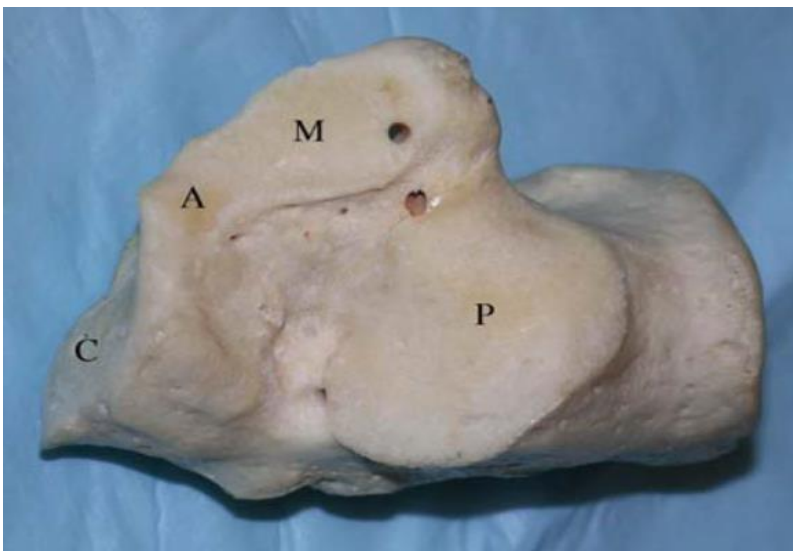


Abbildung 1 Die Gelenkflächen des Calcaneus; A: Facies articularis talaris anterior; C: Facies articularis cuboidea; M: Facies articularis talaris medialis; P: Facies articularis talaris posterior (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier)

Das Subtalargelenk wird aus drei cranialen Gelenkflächen des Calcaneus sowie den drei plantaren Gelenkflächen des Talus gebildet (17). Es stellt ein hochkomplexes dreidimensionales Gelenk dar, welches dem Fuß die Inversions/Eversions-Bewegung ermöglicht und das Gewicht des Körpers vom oberen Sprunggelenk in den Fuß umleitet (20). Die Achse der beiden Knochen ist im posterioren Gelenkanteil fast senkrecht zueinander und im ventralen Anteil um circa 16° nach medial versetzt (21). Die Bewegung im Subtalargelenk ist immer eine Bewegung in allen drei Achsen und wird in der Literatur mit insgesamt 40° - 60° angegeben, wobei die Inversion den größeren Teil der Beweglichkeit einnimmt (22). Die Nomenklatur der Bewegung in Inversion/Eversion oder Supination/Pronation ist umstritten, sodass einige Autoren zu einer deskriptiven Form der Gelenkbewegung übergegangen sind (21). In dieser Arbeit wird einfachheitshalber die Bewegung als Inversion und Eversion bezeichnet werden. Die Beweglichkeit im Subtalargelenk zeigt ihre Relevanz zum Beispiel beim Laufen auf unebenem Untergrund, wo es dem Fuß ermöglicht, stabil schräg aufzusetzen (23).

Das Calcaneocuboidgelenk wird durch die Facies articularis calcanea des Cuboid sowie aus der Facies articularis cuboidea des Calcaneus gebildet (17). Das Gelenk ist stabilisierender Partner bei der Inversion/Eversion-Bewegung des Rückfußes, besitzt selbst aber keine große Gelenkbeweglichkeit (24).

Am Calcaneus finden sich zwei für die Therapie der Fraktur relevante Winkel. Der Böhler Winkel definiert den Winkel zwischen der Linie, die den höchsten Punkt der Tuberositas calcanei und den höchsten Punkt der posterioren Gelenkfläche schneidet, sowie der Linie, die den höchsten Punkt der posterioren Gelenkfläche und den höchsten Punkt des Processus anterior schneidet (25). Der Böhler Winkel beträgt beim gesunden Calcaneus zwischen 20° und 40° (25). Beim frakturierten Calcaneus ist er ein Maß für die Schwere der Dislokation der Fraktur sowie beim operativ versorgten Calcaneus ein Maß für die Güte der Reposition (13,25). Ein weiterer häufig verwendeter Winkel am Calcaneus ist der kritische Winkel von Gissane, der aus einer Linie entlang der posterioren Gelenkfläche und einer Linie vom Processus anterior zum Sulcus calcanei gebildet wird (25). Hier beträgt der Normalwert 120° - 145° (25). Dieser Winkel wird als Maß für die Dislokation der posterioren Gelenkfläche genutzt. Je kleiner der Winkel, desto stärker ist die Gelenkfläche imprimiert (13,25).

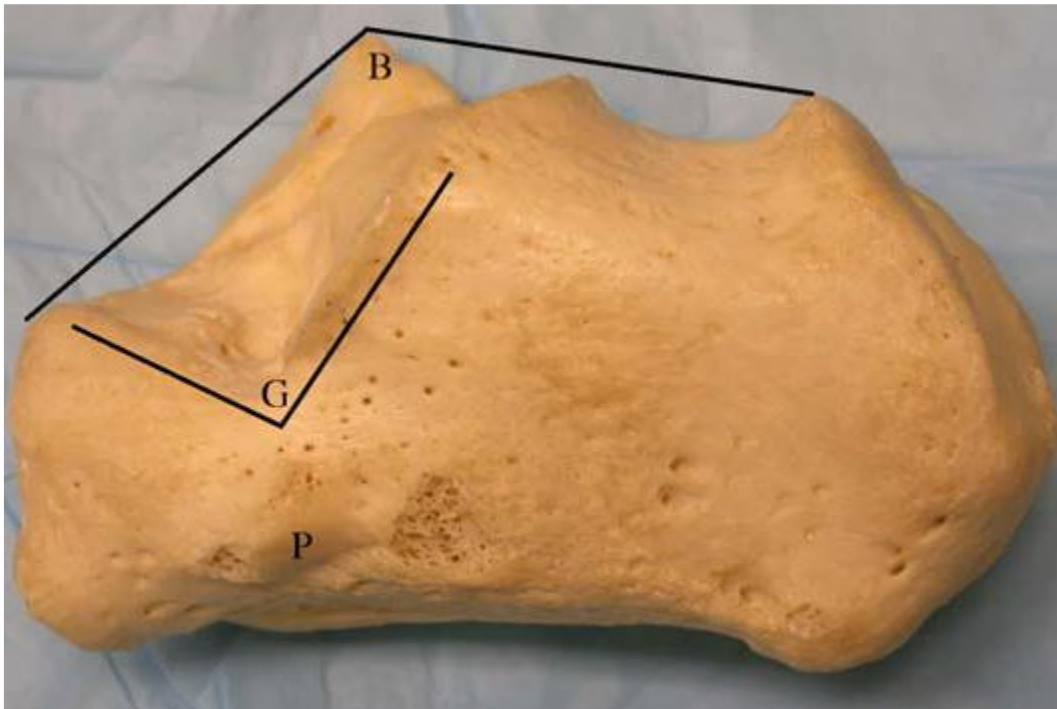


Abbildung 2: B: Böhler Winkel; G: Kritischer Winkel von Gissane (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier)

2.2 Die Calcaneusfraktur

2.2.1 Epidemiologie

Die Calcaneusfraktur ist die häufigste Fraktur der Fußwurzel. Insgesamt macht sie aber nur 2% aller Frakturen aus und ist somit eine seltene Fraktur (13,26). Auf Grund der Relevanz eines intakten Fersenbeins für einen schmerzfreien Gang und somit die Rückkehr in den Beruf sind die sozioökonomischen Kosten der Fraktur aber unverhältnismäßig hoch (11,13). Vor allem das junge Alter der Patienten, zumeist zwischen 30 und 60 Jahren, ist hier ein großer Faktor (12). Männer sind vier- bis fünfmal so häufig betroffen wie Frauen (11).

2.2.2 Frakturmechanismus und Frakturform

Der Frakturmechanismus der Calcaneusfraktur ist meist eine axiale Stauchung bei einem Sturz oder einem Verkehrsunfall (11,13). Auf Grund der medial vom Calcaneus liegenden Tragachse des Talus kommt es meist zu einer schräg verlaufenden primären Frakturlinie von lateroventral nach mediodorsal, welche ein mediales Sustentaculum Fragment sowie ein laterales Tuberositas Fragment erzeugt (13,27). Je nach Stellung des Rückfußes beim Aufprall entsteht diese primäre Frakturlinie medial oder lateral. Bei valgischem Rückfuß entsteht diese erste Frakturlinie lateral, bei varischer Rückfußposition medial (13). Als zweite Frakturlinie entsteht eine longitudinale Frakturlinie zumeist von der posterioren Gelenkfläche entweder nach distal in Richtung Calcaneocubitalgelenk oder nach proximal in die Tuberositas calcanei

auslaufend (13). Tertiäre Frakturlinien können ebenfalls noch entstehen und weitere kleine Fragmente erzeugen. In radiologischen Studien sowie in experimentellen Versuchen an Kadaverknochen lassen sich fünf Hauptfragmente reproduzieren (13,27). Durch die primäre Frakturlinie entstehen das Sustentaculum Fragment sowie das Tuberositas Fragment (13,27). Durch die sekundäre Frakturlinie entstehen das posterolaterale Gelenkfragment sowie das anteromediale Gelenkfragment (13,27). Mögliche tertiäre Frakturen können noch ein zusätzliches anterolaterales Fragment entstehen lassen (13,27). Im Bereich der lateralen Wand entsteht häufig ein sogenanntes blow out mit multiplen Fragmenten sowie starker Weichteilverletzung (11). Als besondere Fraktorentität kann durch massiven Zug der Achillessehne an dem Tuber calcanei ein knöcherner Ausriss des Tuber entstehen (11). Diese auf Grund ihres radiologischen Erscheinens als „Entenschnabelfraktur“ bezeichneten Frakturen bedürfen auf Grund der hohen Rate an Weichteilkomplikationen einer sehr schnellen operativen Versorgung (11). Bedingt durch den geringen Weichteilmantel sowie der sehr straffen Bänder ist das Kompartmentsyndrom des Fußes mit 10% eine verhältnismäßig häufige Komplikation der Calcaneusfraktur (28). Folgen des nicht behandelten Kompartmentsyndroms am Fuß ist neben Hautnekrosen insbesondere die Entwicklung von Krallenzehen auf Grund des Absterbens der intrinsischen Fußmuskulatur (11).

2.2.3 Klassifikation der Calcaneufraktur

Die am häufigsten verwendete Klassifikation für die Calcaneusfraktur ist die 1993 von Sanders et. al. publizierte Sanders Klassifikation (29). Sie teilt die Facies articularis talaris posterior in drei Abschnitte ein. Einen lateralen, einen zentralen und einen medialen (29). Diese Abschnitte werden von lateral nach medial mit den Buchstaben A, B und C bezeichnet (29). Es wurde mit der Bezeichnung von lateral begonnen, da der übliche OP-Zugangsweg von lateral erfolgt und somit der laterale Abschnitt der posterioren Gelenkfläche am leichtesten einsehbar ist (29). Um die jeweilige Fraktur zu klassifizieren, wird im axialen CT Scan die Schicht gewählt, auf der die größte Ausdehnung der posterioren Gelenkfläche dargestellt ist (29). Nun wird an Hand des Verlaufs der primären Frakturlinie, welche wie oben aufgeführt schräg von lateroventral nach mediodorsal verläuft, der passende Buchstabe gewählt (29).

Nicht verschobene intraartikuläre Frakturen werden unabhängig der Anzahl oder Lokalisation der Frakturlinien als Sanders I definiert (29).

Frakturen mit einer einzelnen Frakturlinie durch die posteriore Facette werden je nach Lokalisation der Fraktur als Sanders IIA-C bezeichnet (29).

Frakturen mit zwei Frakturlinien durch die posteriore Gelenkfläche werden je nach Lokalisation als Sanders IIIAB-BC definiert (29).

Frakturen mit mehr als zwei intraartikulären Frakturlinien werden unabhängig von der Lokalisation derselben als Sanders IV definiert (29).

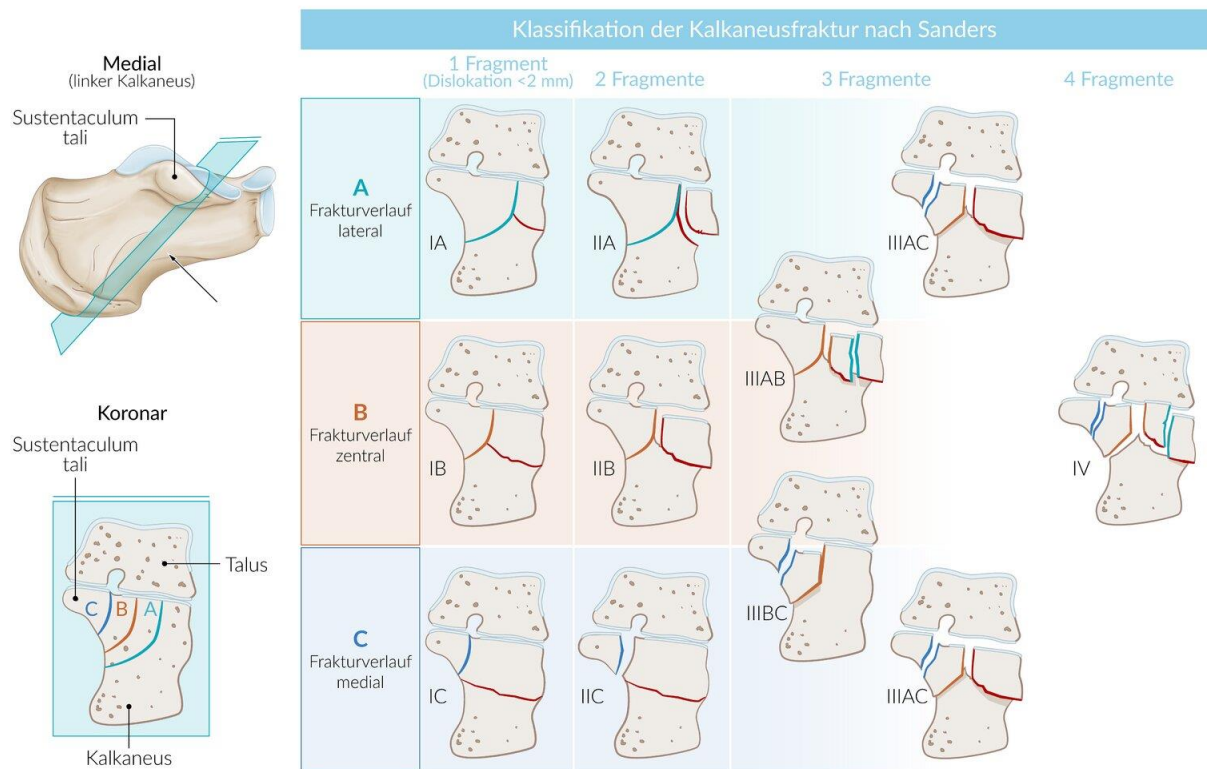


Abbildung 3: Sanders Klassifikation (Mit freundlicher Genehmigung der AMBOSS GmbH)

2.3 Konservative Therapie

Bei gar nicht oder wenig verschobenen Frakturen ohne nennenswerte Gelenkstufe ist auch heute die konservative Therapie der Calcaneusfraktur die Regel (30,31). Diese besteht zunächst direkt nach dem Unfall aus einer Phase der Hochlagerung und Kühlung, um ein starkes Anschwellen des Rückfußes und damit einhergehende Weichteilkomplikationen zu verhindern (30,31). Danach bedarf es einer je nach Autor unterschiedlich langen Phase der Entlastung zwischen 6 und 12 Wochen mit einem anschließenden Belastungsaufbau (30,31). Die Phase der Entlastung kann in einem speziell dafür vorgesehenen Fersenentlastungsschuh durchgeführt werden (30). Eine Gipsruhigstellung wird heute nicht mehr empfohlen (30,31).

Historisch betrachtet, unterlag die konservative Therapie der Calcaneusfraktur vieler Veränderungen, Rückbesinnungen und Sackgassen. Vor der weiten Verbreitung der offenen Reposition und inneren Fixation bei dislozierten Frakturen wurden auch stark dislozierte Frakturen konservativ, im Sinne von nicht operativ, behandelt (1,10). Da der Nachteil einer in Dislokation ausheilenden Fraktur offensichtlich war, wurden unterschiedlichste Methoden der Manipulation von außen entwickelt um eine Reposition zu erreichen und die insgesamt schlechten Ergebnisse der bloßen Gipsruhigstellung zu verbessern (2,32). Cotton zum

Beispiel publizierte im Jahre 1908 und erneut im Jahre 1916 seine Methode der Reposition der durch die Fraktur erzeugte Verbreiterung des Fußes von außen mittels eines Hammers gegen einen Sandsack als Amboss (2). Zuvor verwendet er eine Eisblock-Zange, um die Dislokation der Tuberositas calcanei nach cranial zu reponieren (2). Nach diesen beiden Manövern erfolgt eine Gipsruhigstellung in Spitzfußstellung (2). Ergebnisse seiner Methode präsentiert er nicht und sie wurde auch nicht von weiteren Chirurgen angenommen (2).

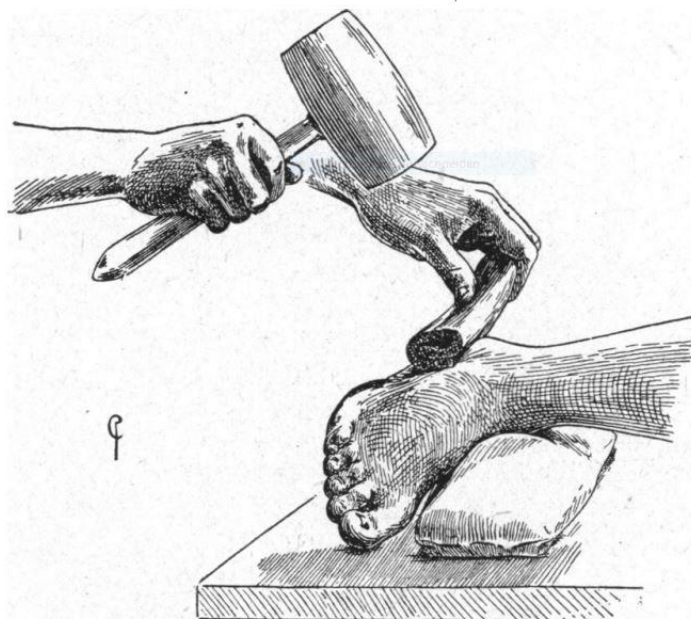


FIG. 12.—Treatment by impaction. The foot is laid on a sand-bag, a felt pad held to protect the outer side of the os calcis, which is then impacted by blows from the mallet. This impaction is used only after careful correction of position.

Abbildung 4: Reposition nach Cotton (Mit freundlicher Genehmigung der Wolters Kluwer Health, Inc.)

Als weiteres Beispiel der konservativen Therapiestrategien darf die im mittleren 20. Jahrhundert im deutschsprachigen aber auch im englischsprachigen Raum weit verbreitete Böhler-Methode dienen (4). Lorenz Böhler entwickelte während seiner langen Tätigkeit als Chirurg und Mitbegründer der modernen Unfallchirurgie seine Methode der Calcaneusfrakturbehandlung immer weiter (33). Schlussendlich beschreibt er in der 13. Auflage seines Buches „Die Technik der Knochenbruchbehandlung“ eine komplexe mehrstufige Therapie je nach Frakturschwere. Für die schwersten Frakturformen sieht er zunächst das Einschlagen eines Nagels in den dorsocranialen Calcaneus vor, an dem in der Folge der Zug des Schraubenzugapparates angelegt wird (33). Als nächstes erfolgt der Einsatz der Fersenbeinzwinge, um die posttraumatische Verbreiterung des Calcaneus zu korrigieren (33). Hierzu wird die Fersenbeinzwinge, welche nach dem Prinzip eines gepolsterten Schraubstockes funktioniert, am Calcaneus angelegt und bis auf 35mm zusammengeschraubt (33). Nach sofortigem Öffnen der Zwinge folgt zunächst die

Längsreposition zur Korrektur des durch die Fraktur abgeflachten Böhlerwinkels mit bis zu 20kg Gegengewicht im Schraubenzugapparat am im Calcaneus eingebrachten Nagel und dann die Dauerzugbehandlung in einer Unterschenkelschiene für 8-10 Tage (33). Im Anschluss folgt nach Röntgenkontrolle die sechswöchige Ruhigstellung in einem Oberschenkelgips bei 90° Beugung im Kniegelenk und maximaler Spitzfußstellung im Sprunggelenk, um den Muskelzug am Calcaneus zu minimieren (33). Nach diesen sechs Wochen folgen vier weitere Wochen in einem Unterschenkelgips in gemäßigter Spitzfußstellung von 110° (33). Sollte bei einer der aufgeführten Schritte das Kontrollröntgenbild einen Verlust der Reposition und somit das Scheitern der Therapie zeigen, empfiehlt Böhler eine frühzeitige Arthrodese des unteren Sprunggelenkes (33).

2.4 Verschiedene Operative Versorgungstechniken (auch historisch)

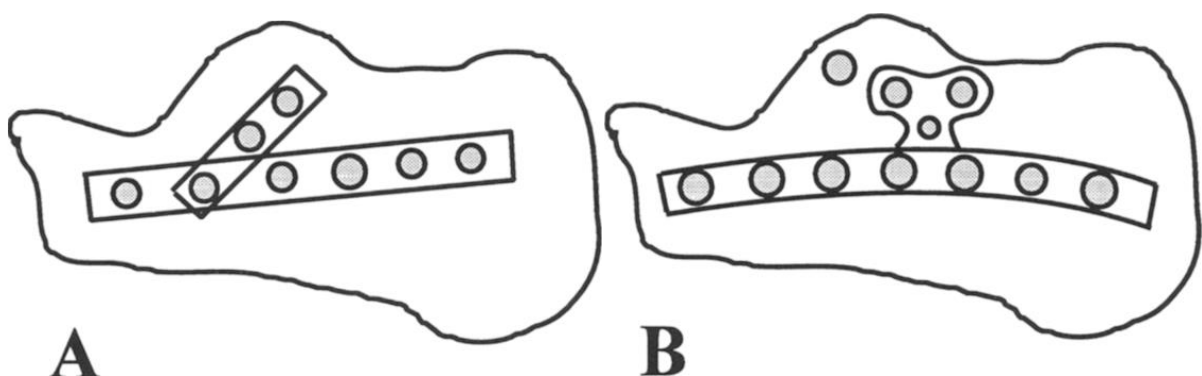
2.4.1 Vor der Platte

Die Geschichte der operativen Therapie der Calcaneusfraktur beginnt Ende des 18.- Anfang des 19 Jahrhunderts mit den damals üblichen Operationstechniken zur Verhinderung einer tödlichen Infektion. Amputation oder Entfernung der betroffenen Knochen in diesem Falle also eine Calcanektomie (2,11). Carl Gussenbauer publizierte 1882 in Prag einen Fallbericht über die operative Therapie einer Calcaneusfraktur mittels geschlossener Reposition und perkutaner Transfixation durch einen Nagel (3). In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts kam es zu der Publikation von einer Vielzahl von unterschiedlichen Operationstechniken, die in einem Review-Artikel von Goff im Jahre 1938 gipfelten, in dem 41 unterschiedliche Operationsmethoden beschrieben werden (32,34). Unter anderem publiziert Westhues 1934 eine Methode der geschlossenen Reposition mittels einer von dorsal eingebrachten Schanz-Schraube mit anschließender Gipsruhigstellung bei noch einliegender Schraube (10). Nach dem zweiten Weltkrieg wurden weiterhin unterschiedliche operative Methoden angewandt. Unter anderem publizierte Whittaker 1947 einen medialen Zugang mit offener Reposition und anschließender Schraubenosteosynthese (35). 1948 veröffentlicht Palmer seine Methode einer offenen Reposition und anschließender Defektauffüllung mittels Beckenkammspan ohne anschließende interne Fixation (9). 1952 betrachtet Hodges in seiner Publikation zur Therapie der Calcaneusfraktur nur eine Arthrodese des unteren Sprunggelenkes als sinnvolle operative Methode (4). Bei Frakturen, welche nicht so schwerwiegend sind, dass sie diese Therapie benötigen, empfiehlt er eine Traktionsbehandlung nach Böhler durchzuführen (4). Ebenfalls im Jahre 1952 beschreibt Essex-Lopresti eine Kombination aus offener Reposition sowie in Anlehnung an die Methode von Westhues dem Einbringen eines Nagels von posterior, um die Reposition zu fixieren und Anlage eines kleinen Gipses, um den Nagel in Position zu halten, aber die postoperative Beübung nicht einzuschränken (10). Ähnlich geht zwanzig Jahre später Burdeaux in seiner 1997 publizierten, 21 Jahre zurückblickenden, prospektiven Studie vor. Er

reponiert offen über einen medialen Zugang und nutzt dann einen von dorsal in das Sustentaculumfragment laufenden Steinmann-Nagel zur Fixation. Nach Anlage eines Gipses und voller Entlastung für 4 Wochen wird der Nagel entfernt und die Aufbelastung begonnen (6). Neben dieser Methode wurde auch die Kombination einer offenen Reposition mit einer Kirschner-Drahtosteosynthese genutzt, wie Parmar et al. 1993 in einer prospektiven Studie zeigen (36). Eine von Stephenson 1987 und 1993 publizierte Technik beinhaltet eine kombinierte offene Reposition von lateral und wenn nötig von medial mit folgender Fixation mit Hilfe von Schrauben und Klammern (37).

2.4.2 Konventionelle Plattenosteosynthese

Erste Publikationen zur Verwendung einer Plattenosteosynthese zur Therapie einer dislozierten Calcaneusfraktur stammen aus den später 80er Jahren des letzten Jahrhunderts, wobei erst in den frühen 90er Jahren eine Vielzahl von Publikationen folgten (7,34,38). 1993 publiziert Bezes et al. eine Serie von 257 osteosynthetisch versorgten Frakturen (7). In allen Frakturen wird eine einzelne Drittelrohrplatte oder eine Kombination von Drittelrohrplatten in Form eines Ypsilon verwendet, wobei die zweite kurze Platte in Richtung der posterioren Gelenkfacette hinaufzeigt, um diese zu unterstützen (7). Die Platten müssen intraoperativ durch Verbiegen an den jeweiligen Knochen individuell angepasst werden (7). Im Bereich der Überschneidung der beiden zu einem Ypsilon zusammengelegten Platten entsteht eine Dopplung und damit ein Wulst, der gerade im Bereich der Peronealsehnen zu Komplikationen führen kann (38). Sanders et al. und Andere verwendeten AO Platten für die Halswirbelsäule, die nach ihrer Form als H-Platte bezeichnet wurden (34,39). Auch diese Platten führen in der Kombination mit einer geraden Drittelrohrplatte zu Verdoppelungen mit den bereits aufgeführten Problemen (38). Ebenfalls 1993 publiziert Letournel seine Ergebnisse mit geraden Platten und seine seit 1986 präferierte Methode einer Platte mit Y-Form, die aber intraoperativ individuell anmodelliert werden muss (40). Diese Platte umgeht jedoch das Problem der Plattenverdoppelung durch ihre von vornherein bestehende Y-Form (40).



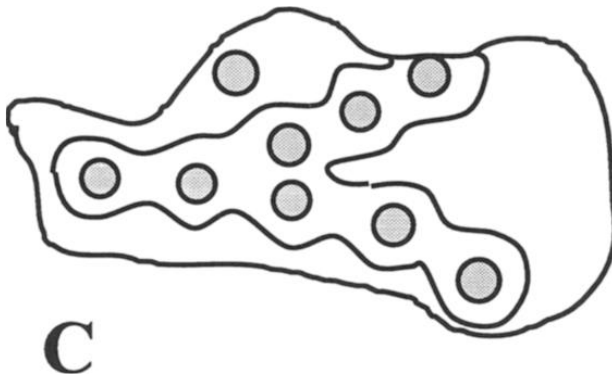


Abbildung 5: A: Kombination zweier Drittelrohrplatten; B: Kombination Drittelrohrplatte mit H-Platte; C: Y-Platte (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier)

In den frühen 90er Jahren wurden erste Platten mit mehreren Schenkeln entwickelt und angewendet, die die Vorteile der Y-Platte in der Unterstützung der posterioren Gelenkfläche mit den Vorteilen der H-Platten von multiplen frei wählbaren Schraubenlochoptionen anterior als auch posterior kombiniert (38). Die letzte Entwicklungsstufe der nicht winkelstabilen Plattenosteosynthese stellte die von der AO entwickelte anatomisch vorgeformte Calcaneusplatte dar, welche in den frühen 2000er Jahren von der noch heute verwendeten winkelstabilen AO Platte abgelöst wurde (11).

Der sich letztendlich als Goldstandard etablierte Zugang für diese Plattenosteosynthese ist der ausgedehnte laterale Zugang (18). Der Zugang verläuft L-förmig dorsal zwischen Außenknöchel und Achillessehne in Richtung Achillessehne versetzt und dann am plantaren Fußrand in Richtung der Metatarsale 5 Basis (41). Der entstehende Lappen wird als vollschichtiger Lappen in Richtung Talus mobilisiert, um die laterale Wand des Calcaneus freizulegen (11). Besondere Sorgfalt gilt den Peronealsehnen sowie dem Nervus suralis, die den Zugangsweg kreuzen, und sicher geschont werden müssen (11).

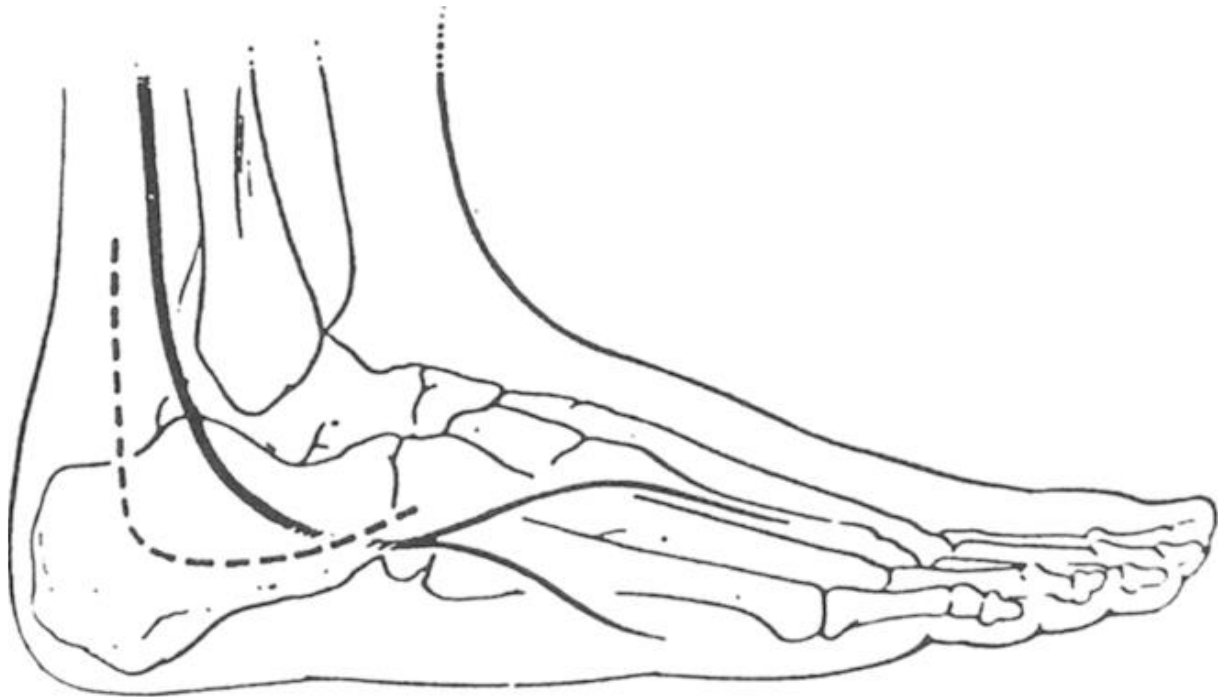


Abbildung 6: Ausgedehnter lateraler Zugang mit Schnittführung gestrichelt (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier)

Nach Freilegung des Subtalargelenkes erfolgt dann die Reposition der Fraktur (11). Unter Zuhilfenahme einer in das Tuberositas-Fragment eingebrachte Schanzens-Schraube wird zunächst dieses Fragment reponiert, um dann von medial nach lateral die posteriore Gelenkfläche zu stellen, und mittels temporärer Kirschner Drähte zu fixieren (11). Anschließend erfolgt die Auflage der gewünschten Calcaneusplatte, welche mit Schrauben das Repositionsergebnis endgültig sichert (11).

2.4.3 Winkelstabile Plattenosteosynthese

Das Prinzip der Winkelstabilität beruht auf der festen Verbindung zwischen Platte und den eingebrachten Schrauben. Die Idee der Winkelstabilität in der Unfallchirurgie reicht bis in das 19. Jahrhundert zurück, wurde aber erst im Verlauf der 80er Jahre des 20. Jahrhundert zu einer in der Klinik angewandten Technik (42). Auch in der Versorgung der Calcaneusfraktur erhielt die Winkelstabilität Einzug. Die Firma Synthes brachte die winkelstabile AO Calcaneusplatte auf den Markt und weitere Firmen folgten zügig mit ihren eigenen Systemen.

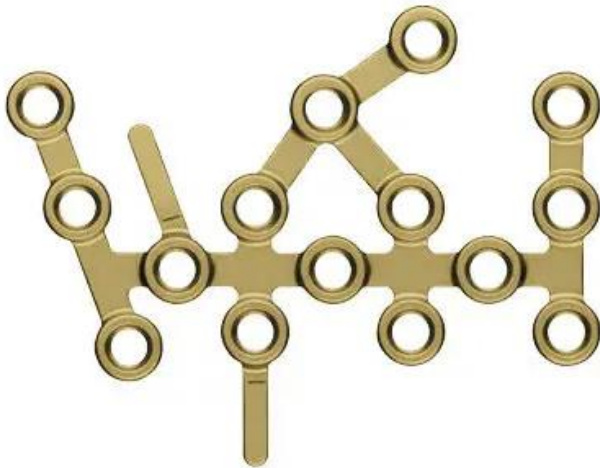


Abbildung 7: DepuySynthes LCP Calcaneus (Mit freundlicher Genehmigung von DepuySynthes)

Heute ist die winkelstabile Plattenosteosynthese über einen ausgedehnten lateralen Zugang der Goldstandart in der operativen Versorgung einer dislozierten Calcaneusfraktur (13,18).

2.4.4 Minimal invasive Plattenosteosynthese

Um die hohe Rate an Weichteilkomplikationen, die durch den ausgedehnten lateralen Zugang, welcher für das Einbringen der gewöhnlichen Calcaneusplatten erforderlich ist, zu verringern, wurden im letzten Jahrzehnt mehrere minimal invasive Plattenosteosynthesysteme entwickelt (43). Unter anderem die Platte Wave von Tornier oder die 2,7mm VA anterolaterale Calcaneus Platte von DePuySynthes. Die Idee besteht in einer Platte, welche mit Hilfe eines Zielgerätes, im Sinne einer eingeschobenen Platte, über einen kleinen Zugang, meist ein sogenannter Sinus Tarsi Zugang, eingebracht werden kann. Nach Reposition der Fraktur und Rekonstruktion der posterioren Gelenkfläche über den Sinus Tarsi Zugang wird die Platte auf den Calcaneus aufgelegt und dann mit winkelstabilen Schrauben über das Zielgerät am Knochen befestigt (43). Durch die Vermeidung des normalen lateralen Zugangsweges sinkt die Komplikationsrate bei Verwendung eines minimal-invasivem Zugangs deutlich. Ein 2017 publiziertes Review Paper zeigt eine geringe Weichteilkomplikationsrate von 2,7% versus 16,5% bei Operationen über den Standardzugang (43).

3. Der C-Nail

3.1 Geschichte der intramedullären Calcaneusosteosynthese

Die Geschichte der intramedullären Nagelosteosynthese des Calcaneus beginnt bereits im Jahre 1882 mit der Publikation eines Fallberichtes durch Carl Ignaz Gussenbauer, den damaligen Direktor der Chirurgie der deutschen medizinischen Fakultät der Universität Prag (3). Gussenbauer operierte damals erfolgreich eine Avulsionsfraktur der Tuberositas Calcanei mittels geschlossener Reposition und Einbringen eines Marknagels (3). Doch trotz dieser erfolgreichen Frakturversorgung scheint die Methode für viele Jahre keinen weiteren Anklang gefunden zu haben. Auf Grund der mit über einem Drittel hohen Rate an Weichteilkomplikationen bei den mittels Plattenosteosynthese versorgten Patienten begann in den 2010er Jahren eine Entwicklung hin zu verschiedenen neuen intramedullären Implantaten (15). Im Jahre 2012 wurde ein erstes modernes intramedulläres Implantat für den Calcaneus, der Calcanail der Firma FH Orthopedics, von der Arbeitsgruppe Goldzak et al. publiziert (15). Die Gruppe postulierte eine geschlossene Reposition der Fraktur sowie der Gelenkflächen mittels perkutan in den Talus sowie den Calcaneus eingebrachten Kirschnerdrähten, welche über einen Caspar Distraktor manipuliert werden können. Das Einbringen des Nagels erfolgt dann über einen posterioren Zugang. Der Calcanail wird abschließend mittels zweier senkrecht zum Nagel ausgerichteten Verriegelungsschrauben im Knochen fixiert (15). Im Jahre 2015 publizierten Simon et al. eine prospektive Studie über 69 mit dem Calcanail® versorgten Patienten mit guten Resultaten (44). Das als nächstes präsentierte intramedulläre Implantat für den Calcaneus war 2016 der C-Nail der Firma Medin, welcher von der Arbeitsgruppe Zwipp et al. entwickelt wurde (14). Auf diese Entwicklung und die Operationstechnik des C-Nail wird im Folgenden noch näher eingegangen werden. Aktuell befindet sich mit dem CHARFIX2® Calcaneusnagel der Firma ChM ein weiteres intramedulläres Calcaneusimplantat auf dem Markt, zu welchem bislang aber keine Studienergebnisse vorliegen.

3.2 Entwicklung und Design des C-Nails

Die Entwicklung des C-Nail erfolgte durch die Arbeitsgruppe Pompach, Amlang und Zwipp et al. zu Beginn der 2010er Jahre in Kooperation mit der Firma Medin. Ausgangspunkt war die hohe Weichteilkomplikationsrate des aktuellen Standardzuges für die winkelstabile Plattenosteosynthese, welche die genannte Arbeitsgruppe veranlasste nach einer alternativen

Versorgungsmöglichkeit für die Calcaneusfraktur zu suchen (18). In Kooperation mit der Firma Medin wurde der C-Nail entwickelt.

Der C-Nail selbst ist 65mm lang, nicht kanüliert und besteht aus einer Stahllegierung. Der Nagel kann mit Endkappen in 5mm Schritten auf eine maximale Gesamtlänge von 85mm verlängert werden (18). Ein Implantat aus Titan wird aktuell nicht angeboten. Zum Einbringen in den Calcaneus wird der Nagel auf ein Zielinstrumentarium aus Carbon aufgeschraubt, welches mit drei Zielbügeln versehen ist. Die drei Zielbügel entsprechen jeweils einer Ebene, in der Schrauben in den Calcaneus durch den C-Nail eingebracht werden können: Von superior zwei Schrauben, von lateral drei Schrauben, sowie zwei Schrauben, welche in das Sustentaculum tali zielen (18). Insgesamt weist der C-Nail also sieben winkelstabile Verriegelungsoptionen auf.

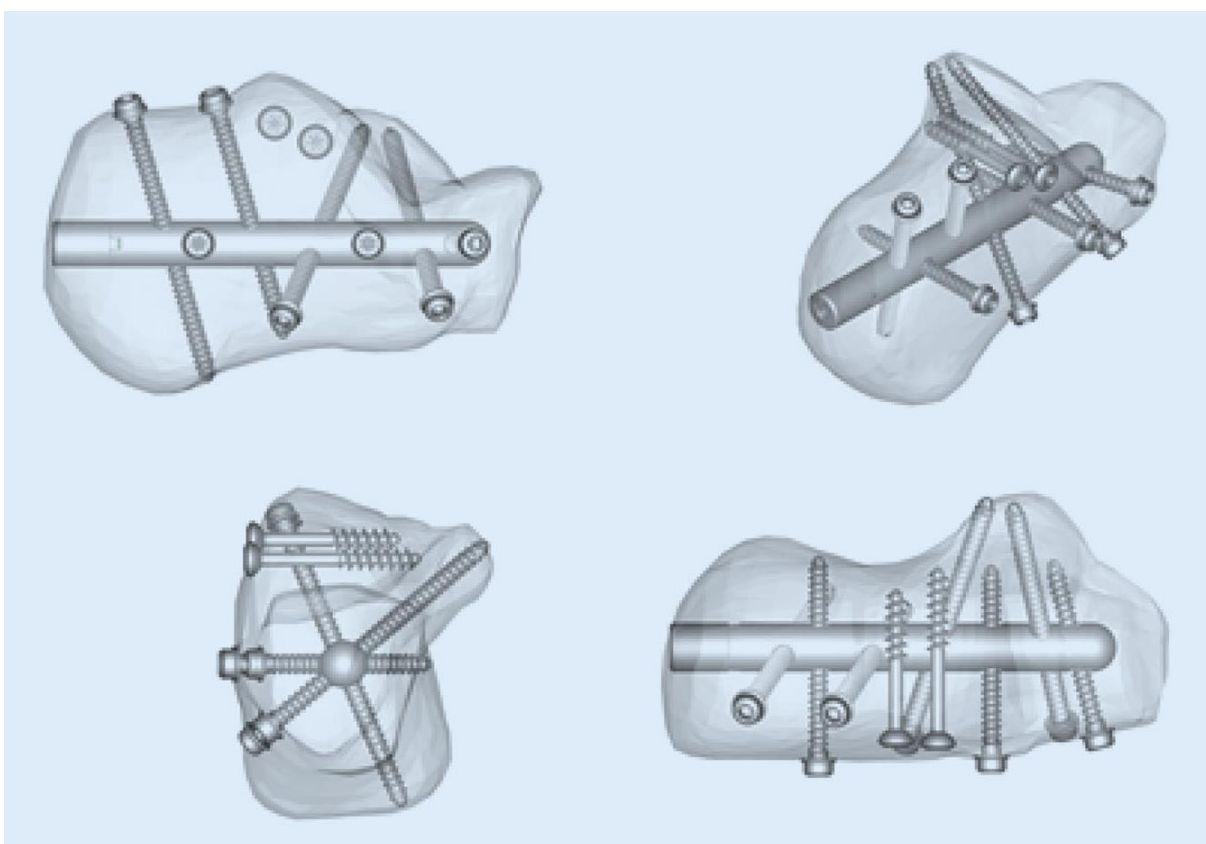


Abbildung 8: Der C-Nail im Calcaneus (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature)

3.3 Operationstechnik C-Nail

Die von der Arbeitsgruppe Zwipp et al. in ihren Publikationen empfohlene Operationstechnik sieht eine Seitlagerung des Patienten auf seiner gesunden Seite vor (18). Der zu operierende Fuß wird auf einem Schaumstoffblock parallel zum Boden gelagert. Eine Blutsperrung wird angelegt, um die Gelenkrekonstruktion zu vereinfachen (18). Zunächst erfolgt die Reposition der posterioren Gelenkfläche über einen Sinus Tarsi Zugang mit einem Hautschnitt von 3cm

Länge von der Spitze des Außenknöchels in Richtung der Metatarsale 5 Basis zielend (14). Besondere Vorsicht gilt den hier unterhalb des Außenknöchels verlaufenden Peronealsehnen.

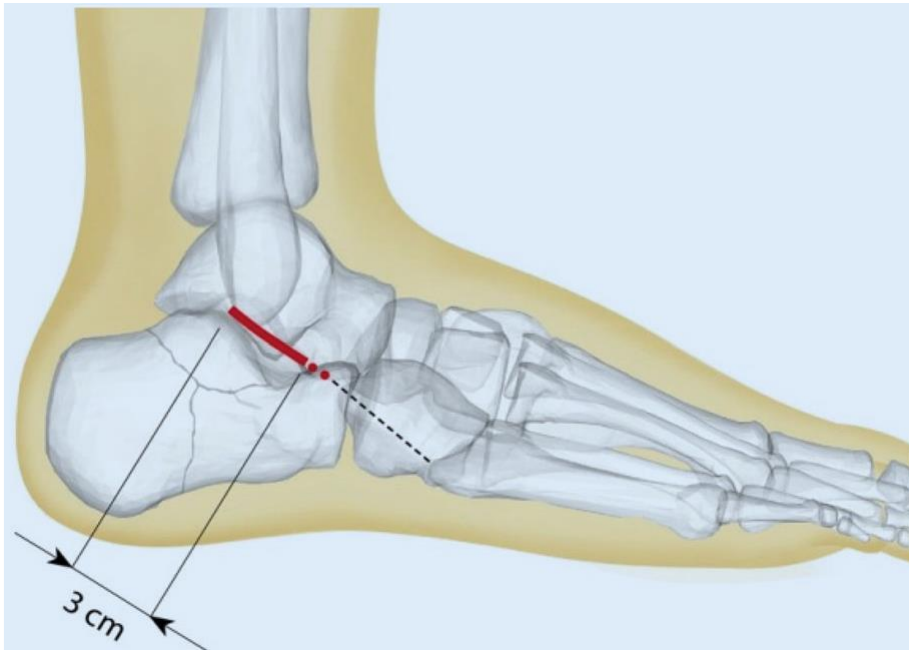


Abbildung 9: Sinus Tarsi Zugang, Hautschnitt eingezeichnet in rot (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature)

Nach Erreichen des Gelenkes erfolgt die Reposition durch Manipulation des Tuberositas Fragmentes mittels einer von posterior eingebrachten Schanzschraube sowie durch Mobilisierung der weiteren Gelenkfragmente mit einem Elevatorium (14). Sobald eine zufriedenstellende Reposition erreicht ist, wird diese mittels temporärer Kirschendrahtosteosynthese von lateral nach medial fixiert (14). Nach Kontrolle des Repositionsergebnisses über den Bildwandler erfolgt die endgültige Fixierung der posterioren Gelenkfläche durch das von lateral nach mediale Einbringen von zwei 4,0mm Spongiosazugschrauben (14). Bei Vorliegen einer Fraktur des Calcaneus im Calcaneocuboidalgelenk erfolgt die Fixierung der meist im Rahmen der vorhergehenden Manipulation spontanen Reposition ebenfalls mittels Spongiosazugschrauben. Hier muss auf eine plantare Lage der Schrauben geachtet werden, um die korrekte Implantation des C-Nail nicht zu behindern (14).

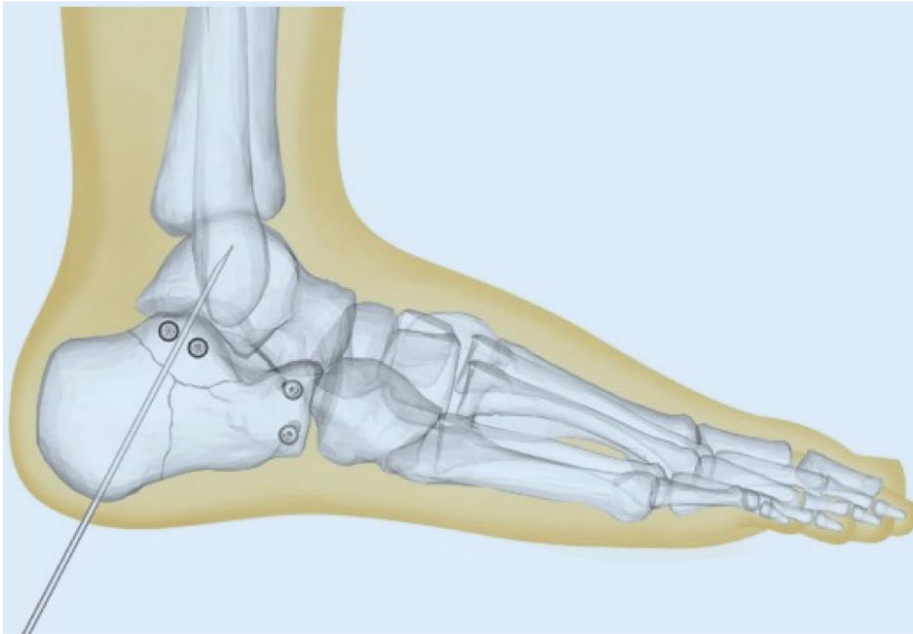


Abbildung 10: Reposition der Gelenkflächen vor Einbringen des C-Nails (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature)

Nachdem die Gelenkflächen reponiert wurden, kann die Implantation des C-Nail erfolgen. Hierzu wird zunächst ein 1cm langer horizontaler Hautschnitt unterhalb des Achillessehnenansatzes gemacht und ein Führungsdraht in den Calcaneus in Richtung der Mitte des Calcaneocuboidalgelenkes eingebracht (14). Nun erfolgt das Aufbohren über den Führungsdraht mit dem 8mm Bohrer bis 5mm vor das Gelenk. Der C-Nail wird mit Hilfe des Zielinstrumentariums in den Calcaneus implantiert (14). Es folgt das Platzieren der Führungsdrähte für die bis zu sieben winkelstabilen Verriegelungsschrauben, wobei mit dem Draht für die Schraube des Sustentaculum begonnen wird, um die Rotation des Nagels im Calcaneus zu definieren (14). Im Folgenden werden über die drei Arme des Zielinstrumentariums die eingebrachten Drähte durch Schrauben ersetzt (14).

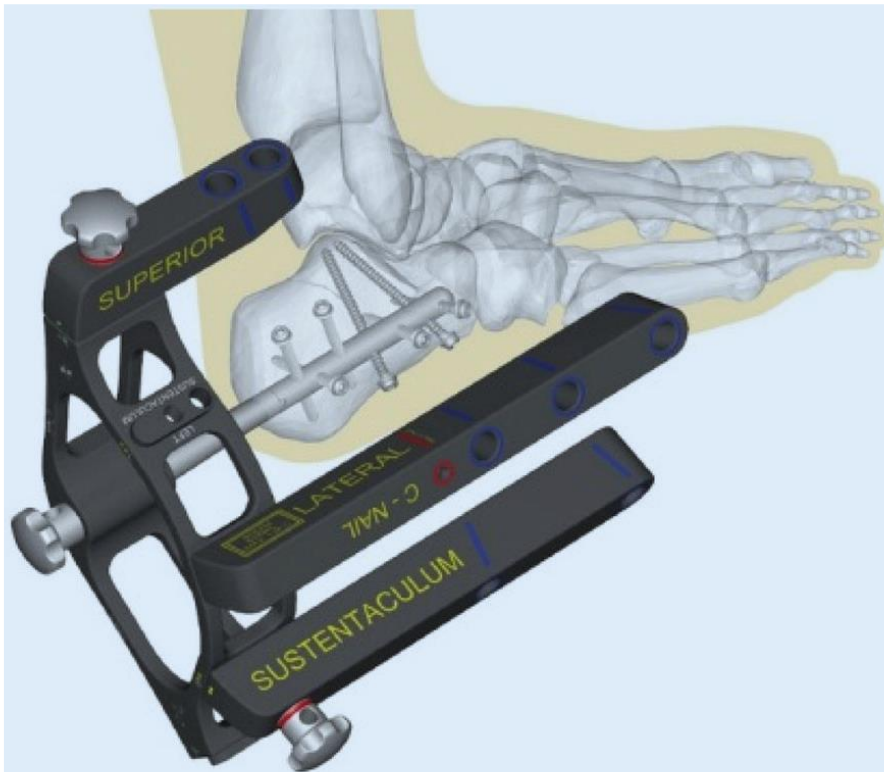


Abbildung 11: C-Nail mit Zielgerät (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature)

Wenn alle benötigten Schrauben besetzt wurden, wird bei Bedarf eine Endkappe zur Verlängerung des Nagels aufgebracht (14). Im Bereich des Sinus Tarsi Zugangs empfehlen die Autoren die Einlage einer Drainage (14).

3.4 Postoperative Behandlung und Beurteilung (Röntgenbild, Klinik)

Die Nachbehandlung der mit dem C-Nail versorgten Calcaneusfrakturen sieht laut den Entwicklern des Implantates zunächst die üblichen postoperativen Verbandswechsel sowie einen zeitnahen Zug der eingelegten Drainage innerhalb von 2 Tagen vor (18). Eine passive Beübung des Fußes in seinen Gelenken empfehlen die Autoren ab dem zweiten postoperativen Tag (18). Ab dem fünften Tag kann mit einer 20kg Teilbelastung des operierten Beins begonnen werden und nach 6-8 Wochen kann eine Aufbelastung hin zur Vollbelastung erfolgen (18). Der Fadenzug wird nach 10-14 Tagen empfohlen (18). Die postoperativen radiologischen Kontrollen beginnen bei den Kollegen mit einem postoperativen CT und werden durch konventionell radiologische Kontrollen nach 4 und 8 Wochen sowie nach 6 und 12 Monaten ergänzt (18).

3.5 Studienergebnisse zum C-Nail

Im Journal Foot and Ankle International wurde 2016 eine biomechanische Vergleichsstudie zwischen einer winkelstabilen Platte, dem Calcanail sowie dem C-Nail veröffentlicht (45). In der Studie wurden alle drei Implantate in einem Kadaverfrakturmodell in insgesamt 21 Calcanei gegeneinander hinsichtlich load to failure, dynamic failure sowie intrafragmentärer Bewegung getestet (45). Insgesamt zeigten sich auf Grund der geringen Anzahl der zur Verfügung stehenden Kadaverknochen nur ein signifikanter Unterschied in der dynamic failure Testung, in der der C-Nail signifikant besser abschnitt als der Calcanail (45). Zur eingesetzten winkelstabilen Platte ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (45). Insgesamt schlussfolgern die Autoren, dass beide intramedullären Implantate eine Alternative zur winkelstabilen Platte darstellen (45). Auf Grund der intramedullären Lage der Nagelimplantate und dem damit einhergehenden geringeren Risiko für eine sekundäre Dislokation postulieren sie die Möglichkeit einer früheren Aufbelastung der Frakturen nach der Versorgung (45).

In der 2016 im Journal of Orthopaedic Trauma veröffentlichten Studie von Zwipp et al. werden die Ergebnisse von 106 zwischen Februar 2011 und Oktober 2013 in drei Krankenhäusern mit dem C-Nail versorgten Calcaneusfrakturen diskutiert (14). Die 106 operativ versorgten Frakturen entsprechen zum größten Teil Frakturen der Sanders Klassifikation Gruppen 2 und 3 mit wenigen Sanders 4 Frakturen (14). Postoperativ kam es zu einer geringen Anzahl von Weichteilkomplikationen mit zwei Fällen von Wundrandnekrose und einem Fall einer Weichteilinfektion (14). Es erfolgte ein klinisches Follow up nach sechs und zwölf Monaten mit Dokumentation des AOFAS (American Orthopaedic Foot & Ankle Society) Scores für den Rückfuß. Hier zeigen sich sehr gute Ergebnisse mit einem durchschnittlichen AOFAS Score von 89,5 Punkten sechs Monate postoperativ respektive 92,6 Punkten zwölf Monate postoperativ (14).

In einer 2019 im Journal Acta Ortopedica Brasileira veröffentlichten Studie von Zeman et al. wurden retrospektiv insgesamt 236 operativ versorgte Calcaneusfrakturen untersucht (46). Von diesen 236 Frakturen wurden 217 mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese versorgt und 17 mit dem C-Nail (46). Auf Grund des kleinen Anteils der mit C-Nail versorgten Frakturen an dem Gesamtkollektiv kann kein statistisch signifikanter Unterschied in den postoperativen Ergebnissen gezeigt werden (46). Trotzdem schlussfolgern die Autoren, dass der C-Nail der winkelstabilen Platte als Methode der ersten Wahl ebenbürtig ist (46).

4. Material und Methoden

4.1 Patientenkollektiv

An der Universitätsmedizin Mainz wurden im Zeitraum vom Februar 2016 bis Dezember 2019 43 Calcaneusfrakturen mit dem C-Nail versorgt. Bei drei Patienten lagen beidseitige Calcaneusfrakturen vor, die auch beidseits mittels C-Nail versorgt wurden. Somit wurden in Summe 40 Patienten operiert. Alle 40 Patienten wurden im Rahmen einer durch die Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz genehmigten klinischen Studie (Antragsnummer 2019-14134) postalisch angeschrieben und um die Teilnahme an der Studie gebeten. Mit insgesamt 20 Patienten konnte eine Nachuntersuchung im Rahmen der Studie durchgeführt werden. Bei 17 Patienten konnte unter anderem auf Grund von fehlenden Adressen oder Telefonnummern kein Kontakt hergestellt werden. Ein Patient saß im Gefängnis. Eine Patientin war an Demenz erkrankt und daher nicht untersuchbar. Ein Patient lehnte die Teilnahme an der Studie ab.

4.2 Klassifikation Calcaneusfraktur

Die Klassifikation der Calcaneusfrakturen nach Sanders erfolgte an Hand der im PACS (Picture Archiving and Communication System) der Universitätsmedizin Mainz vorhandenen CT Daten.

Zwecks Korrelation der Frakturschwere mit dem Frakturmechanismus definieren wir die Frakturschwere als synonym zur Sanders Klassifikation. Hier steht also eine Sanders Typ 1a als „leichteste“ Calcaneusfraktur und eine Sanders Typ IV als „schwerste“ Calcaneusfraktur.

Zum Belegen des postoperativen Repositionsergebnisses wurden die prä- und postoperativen Böhlerwinkel anhand des im PACS-System der Universitätsmedizin vorhandenen Bildmaterials vermessen.

4.3 Nachuntersuchung

Im Rahmen einer durch die Ethik-Kommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz genehmigten klinischen Studie (Antragsnummer 2019-14134) konnten 20 der insgesamt 40 Patienten klinisch nachuntersucht werden. Die Nachuntersuchung erfolgte nach Terminvereinbarung per Telefon oder E-Mail im Gebäude 505 der Universitätsmedizin Mainz in einer Untersuchungskabine des Zentrums für Orthopädie und Unfallchirurgie. Gemeinsam mit dem Patienten wurde der unten näher erläuterte AOFAS Score ausgefüllt und es erfolgte eine allgemeine klinische Untersuchung des Sprunggelenkes und Fußes auf beiden Seiten.

Zusätzlich wurde ein weiterer Fragebogen mit dem Patienten ausgefüllt, der ebenfalls im Folgenden näher erläutert wird.

4.4 Der AOFAS Score

Der American Orthopaedic Foot & Ankle Society (AOFAS) Score wurde 1994 von der American Orthopaedic Foot & Ankle Society mit dem Ziel einen neuen Standardtest für die Untersuchung von Füßen und Sprunggelenken zu etablieren, entwickelt (47). Auf Grund seiner weiten Verbreitung und seiner Nutzung in den bereits publizierten Nachuntersuchungen von durch C-Nails versorgten Calcaneusfrakturen wird er auch in dieser Arbeit als klinisches Evaluationstool für das postoperative Outcome verwendet (48)(49)(6)(50). Der gesamte AOFAS Score setzt sich aus vier Subscores zusammen, die jeweils eine anatomische Region des Fußes und Sprunggelenkes untersuchen. Das Sprunggelenk zusammen mit dem Rückfuß, den Mittelfuß, den distalen ersten Mittelfußknochen zusammen mit der Großzehe sowie die restlichen Zehen mit ihren jeweiligen Metatarsophalangealgelenken (47). Jeder Subscore kann für sich allein genutzt werden (47). Insgesamt können in jedem Subscore 100 Punkte erreicht werden, welche aus neun Fragen aus drei übergeordneten Bereichen zusammengezählt werden. Der Rückfuß-Sprunggelenk Subscore, welcher in dieser Arbeit verwendet wurde, teilt die 100 Punkte wie folgend auf. Der Schmerz wird mit insgesamt 40 Punkten, die Funktion mit insgesamt 50 Punkten und die Achse mit den restlichen 10 Punkten bewertet (47). Während der Nachuntersuchung wurde der Fragebogen mit den betroffenen Patienten gemeinsam durchgegangen und die klinische Untersuchung der Beweglichkeit erfolgte durch den Untersuchenden.

AOFAS Score Rückfuß-Sprunggelenk		
Schmerz	1 – Kein 2 – Leicht, gelegentlich 3 – Mittelmäßig, täglich 4 – Heftig, fast immer	<input type="checkbox"/> 40 Punkte <input type="checkbox"/> 30 Punkte <input type="checkbox"/> 20 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Funktion	1 – Keine Einschränkungen, Keine Stütze/Hilfe 2 – Keine Einschränkungen bei den täglichen Aktivitäten, Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten, keine Hilfen 3 – Einschränkungen bei den täglichen Aktivitäten und Freizeitaktivitäten, Stock 4 – Starke Einschränkungen bei täglichen Aktivitäten, Gehstütze, Rollstuhl	<input type="checkbox"/> 10 Punkte <input type="checkbox"/> 7 Punkte <input type="checkbox"/> 4 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Gehstrecke in Blocks	1 – Mehr als 6 2 – 4 bis 6 3 – 1 bis 3 4 – weniger als 1	<input type="checkbox"/> 5 Punkte <input type="checkbox"/> 4 Punkte <input type="checkbox"/> 2 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Gehen auf Oberflächen	1 – Keine Schwierigkeiten auf sämtlichen Oberflächen 2 – Geringe Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigung, Leiter 4 – Große Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigungen, Leiter	<input type="checkbox"/> 5 Punkte <input type="checkbox"/> 3 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Gangabnormalität	1 – Keine, leichte 2 – Augenscheinlich 3 – Erhebliche	<input type="checkbox"/> 8 Punkte <input type="checkbox"/> 4 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Saggitale Bewegung	1 – Normal, leichte Einschränkung. (30° oder mehr) 2 – Mäßige Einschränkung (15°-29°) 3 – Starke Einschränkung (weniger als 15°)	<input type="checkbox"/> 8 Punkte <input type="checkbox"/> 4 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Inversion/Eversion	1 – Normal, oder leichte Einschränkungen (75%-100% von normal) 2 – Mäßige Einschränkungen (25%-74%) 3 – Massive Einschränkungen (weniger als 25%)	<input type="checkbox"/> 6 Punkte <input type="checkbox"/> 3 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Gelenk-Hinterfuß-Stabilität	1 – Stabil 2 – Definitiv instabil	<input type="checkbox"/> 8 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte
Achse	1 – Gut plantigrader Fuß, Gelenk-Hinterfußachse norm. 2 – Ausreichend plantigrader Fuß, um einige Grad der Gelenk-Hinterfußachse abweichend o. Symptome 3 – Nicht plantigrader Fuß, erhebliche Abweichung der Gelenk-Hinterfußachse mit Symptomen	<input type="checkbox"/> 10 Punkte <input type="checkbox"/> 5 Punkte <input type="checkbox"/> 0 Punkte

4.5 Der Fragebogen und seine Auswertung

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurde den Patienten des Weiteren der unten aufgeführte Fragebogen vorgelegt. Der Fragebogen wurde für diese Arbeit erstellt, um möglichst viele regelmäßig in Studien genutzte Parameter abzufragen sowie spezifisch auf Probleme des Rückfußes und speziell der Calcaneusfraktur einzugehen. Die Antworten zum Unfallmechanismus wurden zur besseren Auswertbarkeit in drei Gruppen sortiert (Sturz aus unter 3m Höhe; Sturz aus über 3m Höhe; andere Mechanismen). Da die Stürzen aus unterschiedlichen Höhen zusammen die größte Gruppe der Frakturmechanismen stellen, wurden die weiteren Mechanismen in der Auswertung zu einer Gruppe zusammengefasst. Die aufgetretenen Wundheilungsstörungen wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Gruppe derer, die einer Revisionsoperation bedurften, sowie diejenigen, deren Wundheilungsstörungen ohne operative Therapie abheilten. Die in klinischen Studien häufig gestellten Fragen nach dem Zeitpunkt des Wiedereintritts in das Berufsleben (Return to Work), sowie der erneuten Ausübung der gewohnten sportlichen Betätigung (Return to Sports) zielen auf die sozioökonomischen Kosten sowie persönlichen Einbußen der Lebensqualität der Patienten hin (51–54). Da die Patienten den genauen Zeitpunkt dieser beiden Punkte häufig auf Grund von zum Beispiel Wiedereingliederungsmaßnahmen oder einem langsamen Beginn der sportlichen Aktivität nicht auf den Tag oder Monat genau festlegen konnten, wurden bei der Auswertung Zeitspannen verwendet (unter 3 Monaten; 3-6 Monate; 6-12 Monate; über 12 Monate; niemals). Auch beim Zeitpunkt der Schmerzfreiheit wurden auf Grund der Unschärfe der Patientenaussagen bei der Auswertung Zeitspannen (unter 3 Monaten; 3-6 Monate; 6-12 Monate; über 12 Monate; niemals) verwendet. Bei der Auswertung der noch vorhandenen Beschwerden konnten die Antworten der Patienten ebenfalls in Gruppen zusammengefasst werden (keine Schmerzen; Anlaufschmerzen; Schmerzen bei Belastung; Schmerzen nach Belastung; Ruheschmerz). Die von den Patienten angegebenen lokalen Irritationen wurden ebenfalls in Gruppen sortiert (keine; Irritationen im Bereich der Ferse; Irritationen an anderen Narben oder Rückfußbereichen).

<u>C-Nail Nachuntersuchung</u>	Patient Nr.
Unfallmechanismus:	
BG Unfall:	
Wundheilungsstörungen:	
Return to Work:	
Return to Sports:	
Wie lange Entlastung:	
Zeit bis zur Schmerzfreiheit:	
Schuhwechsel erforderlich:	
Wann noch Beschwerden:	
Lokale Irritationen:	

4.6 Datenauswertung

Die Datenauswertung erfolgte mit der SPSS Software (IBM SPSS Statistics Version 28.0.1.0). Die Daten, die für statistische Tests verwendet wurden, wurden zunächst auf eine Normalverteilung hin überprüft. Nicht normalverteilte Datensätze wurden mittels der Spearman Korrelation miteinander verglichen. Das Signifikanzniveau wurde auf einen p-Wert von < 0,05 festgelegt.

5. Ergebnisse

5.1 Epidemiologie

Insgesamt wurden an der Universitätsmedizin Mainz von Februar 2016 bis Dezember 2019 43 Calcaneusfrakturen mit dem C-Nail versorgt. Unter diesen 43 Frakturen befinden sich drei Patienten mit beidseitigen Frakturen, sodass insgesamt 40 Patienten operativ versorgt wurden. Das Patientenkollektiv zeigt eine breite Altersstruktur von 21 – 86 Jahren zum Frakturzeitpunkt. Das durchschnittliche Alter der Patienten liegt bei 51 Jahren \pm 12,23 Jahren. Es sind mehr Männer als Frauen betroffen mit insgesamt 34 Männern (85%) und 6 Frauen (15%). Von den 40 operierten Patienten konnten 20 nachuntersucht werden. Hier zeigt sich eine ähnliche Altersstruktur wie im Gesamtkollektiv mit einem Durchschnittsalter von 52 Jahren \pm 10,67 Jahren sowie eine ähnliche Geschlechterverteilung mit 16 Männern (80%) und 4 Frauen (20%). Die Nachuntersuchung erfolgte im Schnitt 36 Monate \pm 11 Monate nach der Operation.

Alter aller Patienten

N	40
Mittelwert	51,60
Median	54,00
Std.-Abweichung	12,232
Minimum	21
Maximum	86

Alter der nachuntersuchten Patienten

N	Gültig	20
Mittelwert		52,45
Median		54,00
Std.-Abweichung		10,665
Minimum		36
Maximum		78

Geschlecht aller Patienten

		Häufigkeit	Prozent
Gültig	Männlich	34	85,0
	Weiblich	6	15,0
	Gesamt	40	100,0

Geschlecht der nachuntersuchten Patienten

		Häufigkeit	Prozent
Gültig	Männlich	16	80,0
	Weiblich	4	20,0
	Gesamt	20	100,0

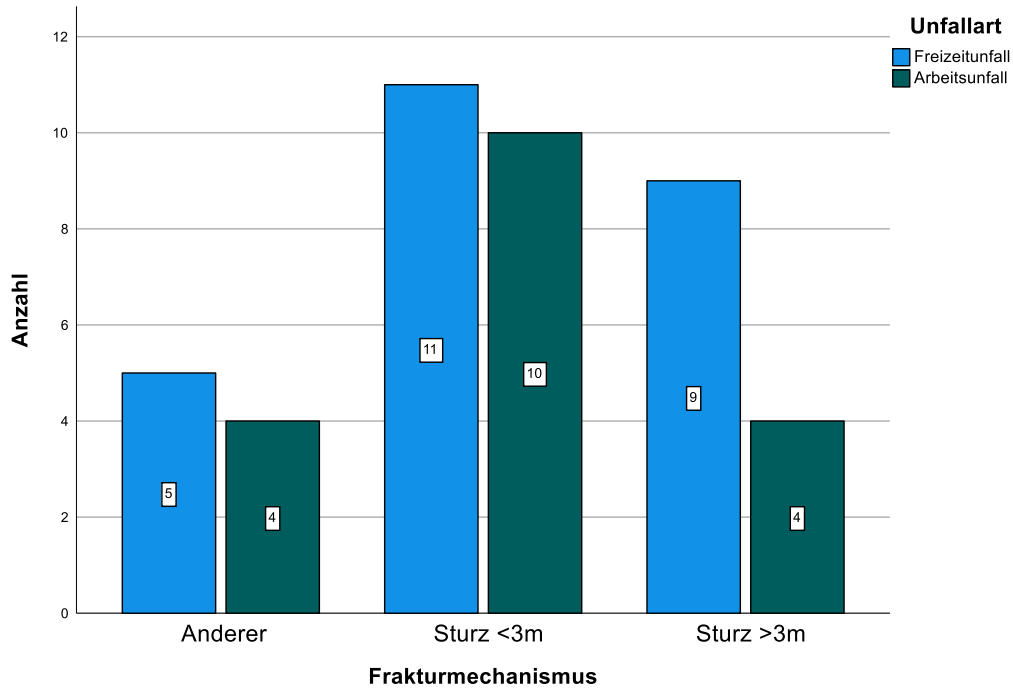
5.2 Arbeitsunfall vs. Freizeitunfall

Von den 43 Frakturen traten 18 (41,9%) im Rahmen eines Arbeitsunfalls auf und 25 (58,1%) im Rahmen eines Freizeitunfalls.

Arbeitsunfall vs. Freizeitunfall

		Häufigkeit	Prozent
Gültig	Nicht BG	25	58,1
	BG	18	41,9
	Gesamt	43	100,0

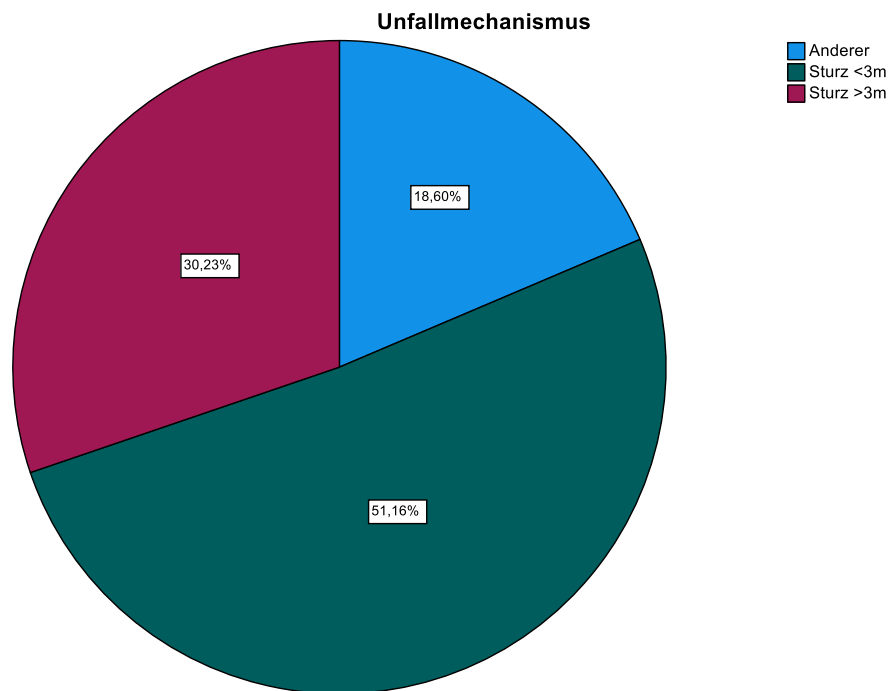
Stellt man den Frakturmechanismus der Art der Fraktur gegenüber, ergibt sich für die Stürze aus unter 3m Höhe sowie für die nicht weiter differenzierten Frakturmechanismen ein gleichmäßig verteiltes Bild. Bei der Gruppe der Stürze aus über 3m Höhe zeigt sich eine Häufung bei den Freizeitunfällen im Vergleich zu den Arbeitsunfällen mit 36% respektive 22% der Fälle.



5.3 Frakturmechanismus

Beim Frakturmechanismus der 43 operierten Frakturen zeigen sich vielfältige Mechanismen, welche sich in drei Gruppen einteilen lassen. Zum einen Stürze aus Höhen über 3m und Stürze aus Höhen unter 3m, zum anderen eine Gruppe anderer Ursachen, welche eine Vielzahl von Mechanismen wie zum Beispiel Verkehrsunfälle oder Umknicktraumata beinhaltet. Diese letzte Gruppe ist im Folgenden in einer Grafik genauer aufgeschlüsselt. Die mit 51,2% größte Gruppe stellen die Stürze aus einer Höhe von unter 3m dar. Mit 30,2% sind die Stürze aus einer Höhe von über 3m die zweitgrößte Gruppe. 18,6% entfallen auf die breite Gruppe der anderen Ursachen.

Frakturmechanismus		Häufigkeit	Prozent
Gültig	Andere	8	18,6
	Sturz <3m	22	51,2
	Sturz >3m	13	30,2
	Gesamt	43	100,0



Frakturmechanismus „Andere“

		Häufigkeit	Prozente
Gültig	Autounfall	1	12,5
	Distorsionstrauma	4	50,0
	Suizidversuch mit Zug	1	12,5
	Überrolltrauma	1	12,5
	Fahradunfall	1	12,5
Gesamt		8	100

5.4 Frakturschwere nach Sanders

Die Klassifikation der versorgten Frakturen nach Sanders zeigt ein breites Spektrum. Die größte Gruppe ist mit 34,9% (15 Frakturen) die Sanders Typ 4 Fraktur. Gleich groß (15 Frakturen) zeigt sich zusammengenommen die Gruppe der Sanders Typ 3 Frakturen mit ihren Subtypen 3AB, 3 AC und 3 BC. Die Gruppe der Sanders Typ 2 Fraktur mit den Subtypen 2A, 2B und 2C ist mit 14% (sechs Frakturen) vertreten. Die Sanders Typ 1A und 1C Frakturen

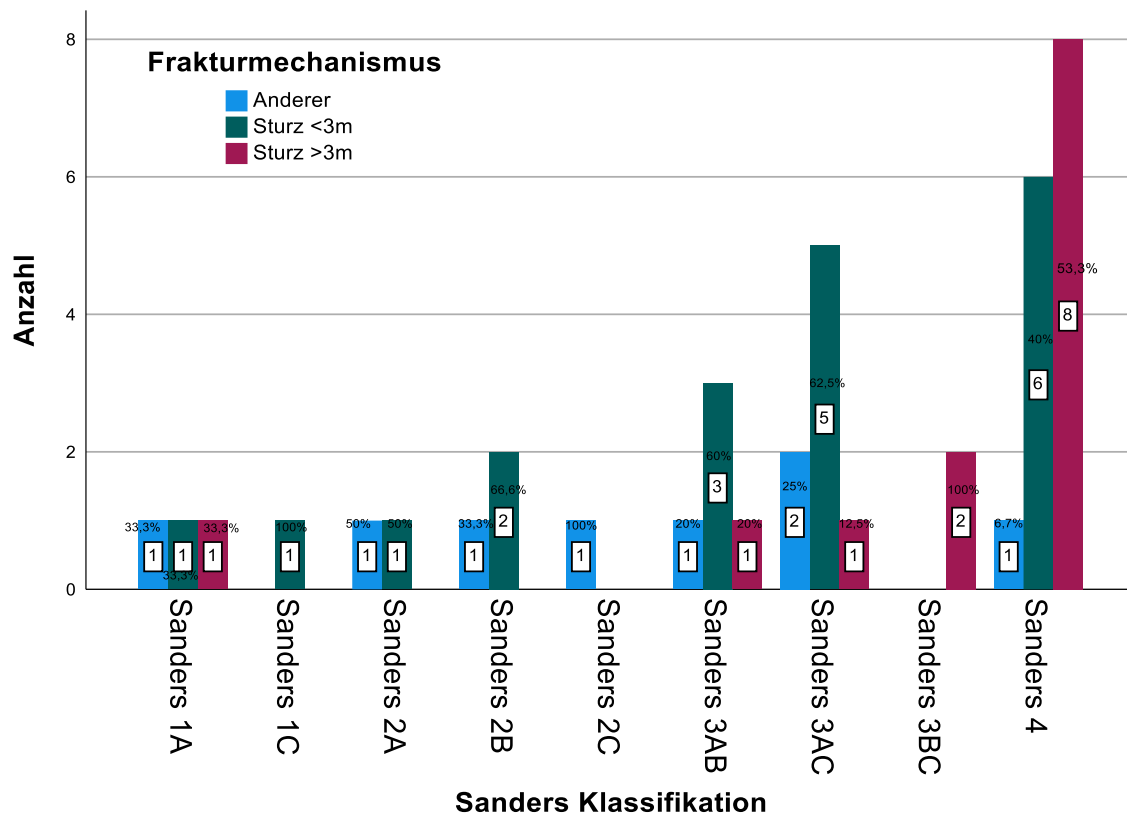
stellen 9,3% (vier Frakturen) der Frakturen. Eine Sanders Typ 1B Fraktur tritt in dem Kollektiv nicht auf. Bei drei Frakturen konnte auf Grund fehlender CT Daten eine Klassifikation nach Sanders nicht durchgeführt werden.

Sanders Klassifikation

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Sanders 1A	3	7,0	7,5	7,5
	Sanders 1C	1	2,3	2,5	10,0
	Sanders 2A	2	4,7	5,0	15,0
	Sanders 2B	3	7,0	7,5	22,5
	Sanders 2C	1	2,3	2,5	25,0
	Sanders 3AB	5	11,6	12,5	37,5
	Sanders 3AC	8	18,6	20,0	57,5
	Sanders 3BC	2	4,7	5,0	62,5
	Sanders 4	15	34,9	37,5	100,0
	Gesamt	40	93,0	100,0	
Fehlend	System	3	7,0		
Gesamt		43	100,0		

5.5 Frakturmechanismus vs. Frakturschwere

Bei der Korrelation des Frakturmechanismus mit der Frakturschwere zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang. Von den 15 als Sanders Typ 4 klassifizierten operativ versorgten Frakturen haben acht (53,3%) einen Sturz aus über 3m Höhe als Frakturmechanismus und sechs (40%) einen Sturz aus unter 3m Höhe. Auf die anderen Mechanismen entfällt nur eine Fraktur (6,7%). Die 15 Frakturen des zusammengefassten Sanders Typ 3 verteilen sich mit vier (27%) auf die Stürze aus über 3m Höhe, acht (53%) auf die Stürze unter 3m Höhe und drei (20%) auf die anderen Frakturmechanismen. In der Gruppe der Sanders Typ 2 Frakturen ist ein Sturz aus über 3m Höhe als Mechanismus nicht mehr vertreten. Drei (50%) der Frakturen wurden durch einen Sturz aus unter 3m Höhe verursacht und die anderen drei (50%) durch einen der anderen Mechanismen. Bei den vier Sanders Typ I Frakturen ist bei jeweils einer (25%) ein Sturz aus über 3m oder ein anderer Mechanismus die Ursache des Bruchs. Zwei (50%) Frakturen wurden durch einen Sturz aus unter 3m Höhe verursacht.



Insgesamt ergibt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang in der Korrelation des Frakturmechanismus und der Frakturschwere nach Spearman mit einem p-Wert von 0,006.

		Sanders Klassifikation	Frakturmechanismus
Spearman-Rho	Sanders Klassifikation	Korrelationskoeffizient	1,000
		Sig. (2-seitig)	,006
		N	40
Frakturmechanismus	Frakturmechanismus	Korrelationskoeffizient	,424**
		Sig. (2-seitig)	,006
		N	40
			43

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

	Spearman-Rho	Significance (2-tailed)	95% Konfidenzintervalle (2- seitig) ^{a,b}	
			Unterer	Oberer
Sanders Klassifikation - Frakturmechanismus	,424	,006	,116	,658

a. Die Schätzung basiert auf der r/z-Transformation nach Fisher.

b. Die Schätzung des Standardfehlers basiert auf der von Bonett und Wright vorgeschlagenen Formel.

5.6 Weichteilkomplikationen

Bei den nachuntersuchten Patienten kam es zu insgesamt vier (18,2%) Wundheilungsstörungen von denen zwei (9,1%) einer operativen Revision bedurften. Die anderen zwei Wundheilungsstörungen konnten mit einer konservativen Wundtherapie zur Ausheilung gebracht werden. Eine der beiden operativ sanierten Wundheilungsstörungen betraf eine junge Patientin mit einer medial offenen Calcaneusfraktur (Typ 3b nach Gustilo-Anderson) deren initiale Defektwunde nach einige Tage postoperativ trübe sezernierte und dann einmalig gespült werden musste. Eine erneute Revision erfolgte nicht und der C-Nail ist weiterhin in situ. Die zweite operativ sanierte Wundheilungsstörung betraf einen Mann mit multiplen Vorerkrankungen, welcher postoperativ eine Nekrose an der Ferse im Bereich einer bereits präoperativ bestehenden Druckstelle entwickelte, welche im Verlauf nach mehreren Revisionen mit einem Suralis Lappen gedeckt werden musste. Hier erfolgte die Entfernung eines einzelnen gelockerten Bolzens. Insgesamt traten somit keine operationsbedürftigen implantat- oder zugangsassozierten postoperativen Komplikationen auf.

Wundheilungsstörungen

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Keine	18	81,8	81,8	81,8
	Ja mit Revisionsoperation	2	9,1	9,1	90,9
	Ja ohne Revisionsoperation	2	9,1	9,1	100,0
	Gesamt	22	100,0	100,0	

5.7 AOFAS Score

Die Auswertung des American Orthopaedic Foot & Ankle Society Ankle-Hindfoot Score (AOFAS-AHS) ergab für das nachuntersuchte Patientenkollektiv einen Mittelwert von 71,95 ± 9,7.

AOFAS Score

N	Gültig	22
Mittelwert		71,95
Median		73,00
Std.-Abweichung		9,766
Minimum		50
Maximum		88

Bei der Korrelation der Punktwerte des AOFAS Scores mit den ebenfalls bei der Nachuntersuchung erhobenen Daten ergab sich eine signifikante Korrelation (p-Wert: 0,01) mit der Zeit bis zur Vollbelastung sowie mit der Zeit bis zur Schmerzfreiheit (p-Wert: 0,02). Zudem zeigte sich ein nicht signifikanter Trend für eine Korrelation zum Return to Work (p-Wert: 0,063) sowie Return to Sport (p-Wert: 0,076) Zeitpunkt. Es zeigte sich keine Korrelation des AOFAS Scores mit der Frakturschwere im Sinne der Sanders Klassifikation oder zum Böhler Winkel prä- oder postoperativ. Auch der Nachuntersuchungszeitpunkt im Verhältnis zur Operation zeigte keinen signifikanten Zusammenhang zum Punktwert des AOFAS Scores.

5.8 Return to Work und Return to Sports

Die Angaben der nachuntersuchten Patienten hinsichtlich des Zeitpunktes des Wiedereinstieges in den Beruf ergaben einen breiten Zeitraum zwischen unter 3 Monaten bis zu einem Patienten, der den Wiedereinstieg in seinen vor dem Unfall ausgeübten Beruf nicht geschafft hat. Die meisten Betroffenen (40,9%) gaben an, nach 6-12 Monaten wieder ihrem Beruf nachgegangen zu sein. Die zweitgrößte Gruppe (31,8%) erreichten das Ziel „Return to Work“ bereits nach 3-6 Monaten. Einen noch schnelleren Wiedereinstieg in die Berufstätigkeit schafften nur 9,1% der Patienten mit einem Zeitraum von unter drei Monaten. Drei Patienten (13,6%) gaben an, erst nach über einem Jahr wieder mit der Arbeit gestartet zu haben. Ein Patient (4,5%) war bis zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht wieder berufstätig.

Return to Work

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	unter 3 Monate	2	9,1	9,1	9,1
	3-6 Monate	7	31,8	31,8	40,9
	6-12 Monate	9	40,9	40,9	81,8
	über 12 Monate	3	13,6	13,6	95,5
	niemals	1	4,5	4,5	100,0
	Gesamt	22	100,0	100,0	

Die Angaben zur Rückkehr zu vor dem Unfall ausgeübten Sportarten zeigt ebenfalls ein breites Spektrum an Zeitpunkten. Insgesamt ist die Rückkehr zum Sport aber mit einer längeren Zeitspanne verbunden als die Rückkehr in den Beruf. Die größte Gruppe der Patienten (40,9%) gaben an, nach 6-12 Monaten wieder Sport ausgeübt zu haben. Die nächstgrößere Gruppe mit 27,3% ist die Gruppe der Verunfallten, die bis zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht wieder in den Sport eingestiegen war. Weniger als 6 Monate bis zum Wiedereinstieg in den Sport benötigten insgesamt 13,6%. Über 12 Monate bis zur erneuten Sportfähigkeit benötigten 18,2% der Patienten.

Return to Sports

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	unter 3 Monaten	1	4,5	4,5	4,5
	3-6 Monate	2	9,1	9,1	13,6
	6-12 Monate	9	40,9	40,9	54,5
	über 12 Monate	4	18,2	18,2	72,7
	niemals	6	27,3	27,3	100,0
	Gesamt	22	100,0	100,0	

Im Zusammenhang mit der Frage nach dem Return to Sports und dem Return to Work wurde auch der Zeitpunkt der wiedererlangten Vollbelastung des betroffenen Fußes erfragt. Hier zeigt sich eine große Gruppe an Patienten (54,5%), die nach 3-6 Monaten die Vollbelastung erreichte. Insgesamt 18,1% der Nachuntersuchten konnten bereits nach weniger als 3 Monaten voll belasten. Die restlichen 22,7% benötigen mehr als 6 Monate, wobei drei Patienten (13,6%) mehr als 12 Monate benötigten, um den operativ versorgten Fuß wieder voll zu belasten.

Zeit bis zur Vollbelastung

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	6 Wochen	1	4,5	4,8	4,8
	6-12 Wochen	3	13,6	14,3	19,0
	3-6 Monate	12	54,5	57,1	76,2
	6-12 Monate	2	9,1	9,5	85,7
	mehr als 12 Monate	3	13,6	14,3	100,0
	Gesamt	21	95,5	100,0	
Fehlend	System	1	4,5		
Gesamt		22	100,0		

Zwischen dem Zeitpunkt der Vollbelastung und dem Zeitpunkt des Wiedereinstieges in den Beruf besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit einem p-Wert von 0,003.

		Zeit bis zur Vollbelastung	Return to Work	
Spearman-Rho	Zeit bis zur Vollbelastung	Korrelationskoeffizient	1,000	,623**
		Sig. (2-seitig)	.	,003
		N	21	21
Return to Work		Korrelationskoeffizient	,623**	1,000
		Sig. (2-seitig)	,003	.
		N	21	22

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

5.9 Schmerzen und Beschwerden

Bezüglich Schmerzen und Beschwerden wurden den nachuntersuchten Patienten mehrere Fragen gestellt. Es wurde die Zeit bis zur Schmerzfreiheit postoperativ und die zum Zeitpunkt der Untersuchung bestehenden Schmerzen erfragt. Zusätzlich wurde nach lokalen Irritationen durch das eingebrachte Material oder die Narben gefragt und ob eine Metallentfernung stattgefunden hat. Außerdem wurde die Frage nach einem nötigen Schuhwechsel im postoperativen Verlauf gestellt.

Die von den Patienten angegebene Zeit bis zur Schmerzfreiheit zeigt zwei große Gruppen. Eine Gruppe (27,3%), welche bereits nach unter 3 Monaten eine Schmerzfreiheit erreicht hat, sowie eine zweite Gruppe, die zusammengenommen 50% der nachuntersuchten Patienten ausmacht, welche entweder nach mehr als 12 Monaten oder nie diesen Zeitpunkt erreichten.

Zeit bis zur Schmerzfreiheit

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	unter 3 Monaten	6	27,3	27,3	27,3
	3-6 Monate	2	9,1	9,1	36,4
	6-12 Monate	3	13,6	13,6	50,0
	über 12 Monate	6	27,3	27,3	77,3
	niemals	5	22,7	22,7	100,0
	Gesamt	22	100,0	100,0	

Zum Zeitpunkt der Untersuchung bestand bei 13,6% Patienten eine vollständige Schmerzfreiheit in jeder Lebenssituation. Bei 18,2% bestanden Anlaufschmerzen und bei 13,6% Schmerzen nach einer Belastung. Die größte Gruppe stellten mit 54,5% die Gruppe derer, die Schmerzen während einer Belastung bemerken.

Maximale Beschwerden zum Zeitpunkt der Untersuchung

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Keine Schmerzen	3	13,6	13,6	13,6
	Anlaufschmerzen	4	18,2	18,2	31,8
	Schmerzen nach Belastung	3	13,6	13,6	45,5
	Schmerzen bei Belastung	12	54,5	54,5	100,0
	Gesamt	22	100,0	100,0	

Lokale Irritationen zum Zeitpunkt der Untersuchung gaben insgesamt 27,3% der Patienten an. Diese Gruppe teilt sich auf in eine Gruppe von 9,1%, die Irritationen im Bereich der Ferse, also im Bereich des Nageleintrittes, verspüren sowie einer Gruppe von 18,2%, die Irritationen im Bereich der anderen Narben oder anderer Bereiche am Rückfuß bemerken. 72,7% der Patienten geben keinerlei Irritationen an.

Lokale Irritationen

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Keine	16	72,7	72,7	72,7
	ja an der Ferse	2	9,1	9,1	81,8
	Ja andere Lokalisation	4	18,2	18,2	100,0
	Gesamt	22	100,0	100,0	

Einen Schuhwechsel im Sinne dessen, dass die präoperativ getragenen Schuhe postoperativ nicht mehr getragen werden konnten, benötigten 50% der Patienten. Somit konnten ebenfalls 50% der Patienten ihre vor dem Unfall genutzten Schuhe weiterhin tragen.

Eine Metallentfernung im Sinne einer vollständigen Entfernung des C-Nails wurde bei 18,2% der Patienten durchgeführt. Eine Teil-Metallentfernung, das heißt das Entfernen einzelner störender Schrauben, erfolgte bei 9,1% der Patienten. 72,7% der Patienten benötigten keine Form der Metallentfernung.

Metallentfernung

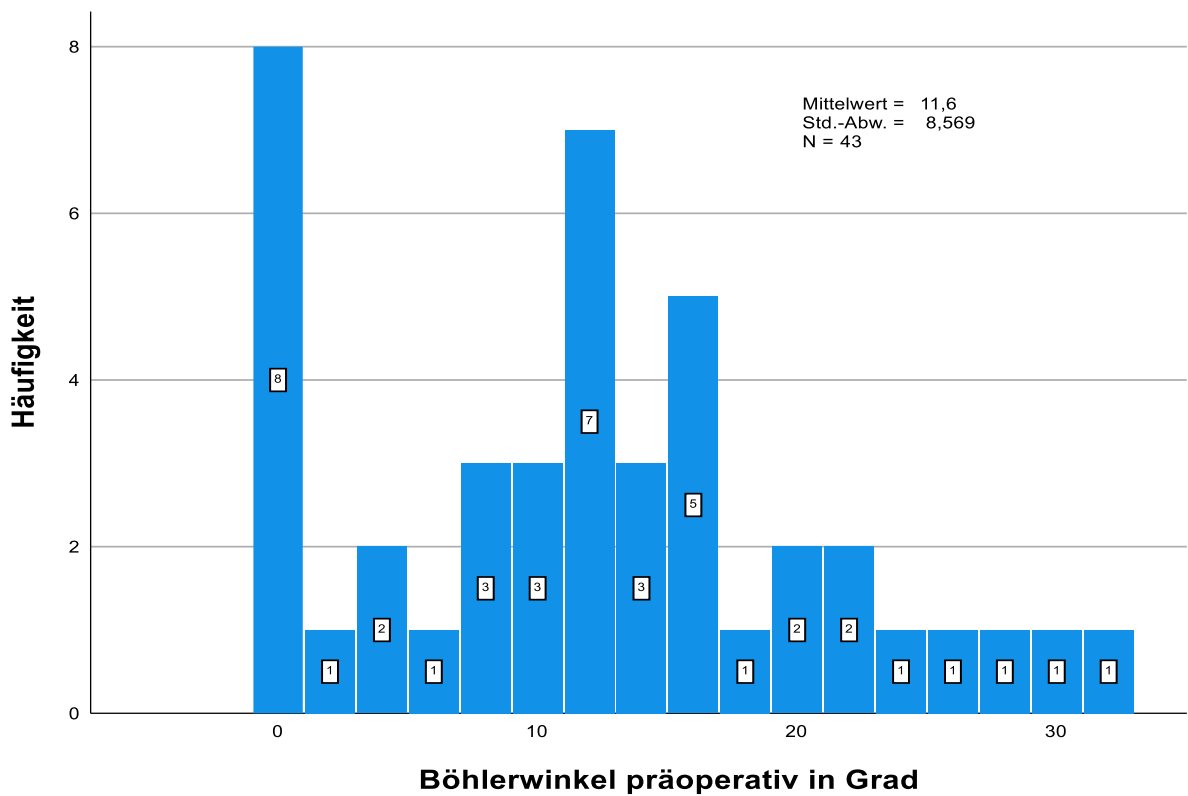
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Keine ME	16	72,7	72,7	72,7
	Teil-ME	2	9,1	9,1	81,8
	Vollständige ME	4	18,2	18,2	100,0
	Gesamt	22	100,0	100,0	

5.10 Repositionsergebnis im Röntgenbild

Das Repositionsergebnis wurde bei allen Frakturen anhand des prä- und postoperativen Röntgenbildern mittels des Böhler-Winkels bestimmt. Präoperativ betrug der Böhlerwinkel im Durchschnitt $11,6^\circ \pm 8,57^\circ$. Ein präoperativen Böhlerwinkel von 0° wurde bei acht (18,6%) der Calcanei gemessen. Der höchste gemessene präoperative Böhlerwinkel betrug 31° .

Böhlerwinkel präoperativ in Grad

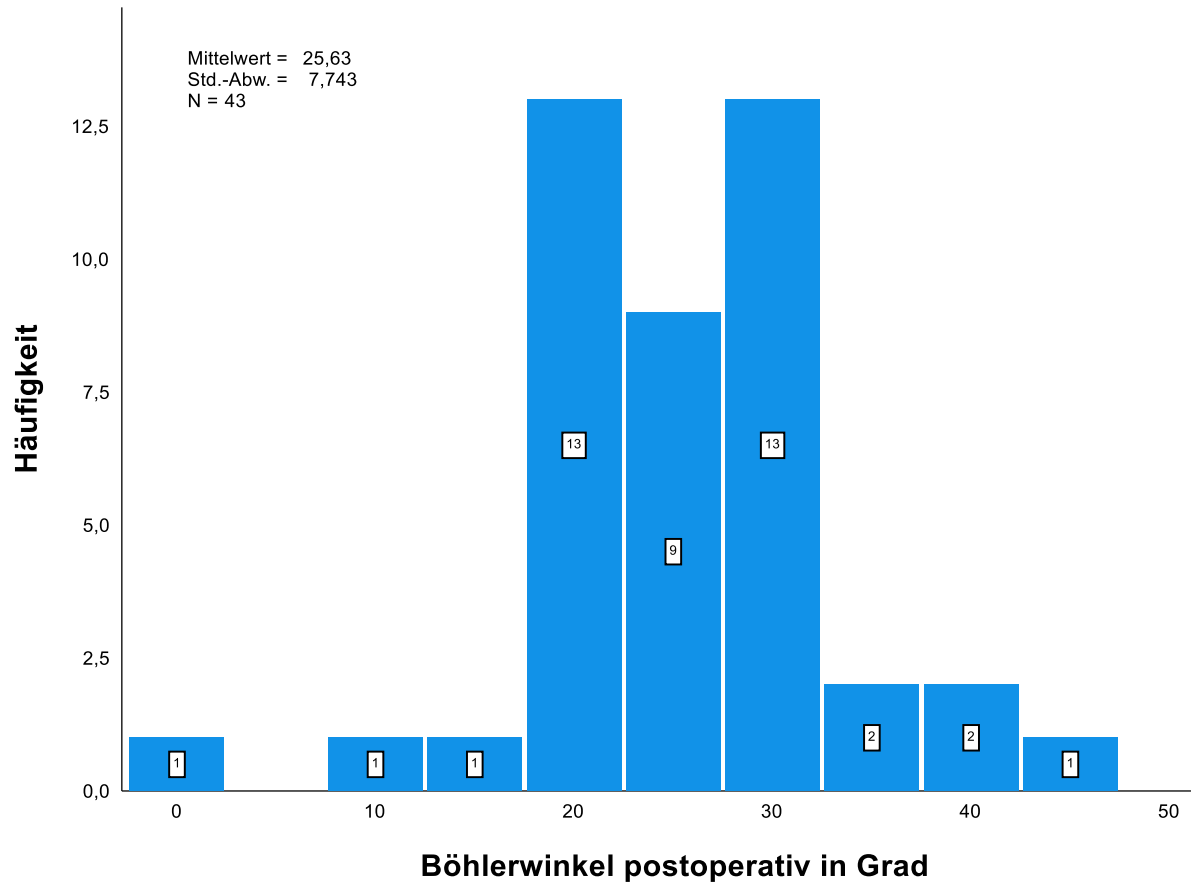
N	Gültig	43
Mittelwert		11,60
Median		12,00
Std.-Abweichung		8,569
Minimum		0
Maximum		31



Postoperativ betrug der Böhlerwinkel im Durchschnitt $25,63^\circ \pm 7,74^\circ$. Der minimale postoperative Böhlerwinkel betrug 0° und der maximale Winkel 43° .

Böhlerwinkel post OP in Grad

N	Gültig	43
Mittelwert		25,63
Median		25,00
Std.-Abweichung		7,743
Minimum		0
Maximum		43



Die durchschnittliche Veränderung des Böhlerwinkels von prä- zu postoperativ betrug $14,02^\circ \pm 9,29^\circ$. Die maximale Veränderung betrug 39° und die minimale Veränderung -5° .

Differenz des Böhlerwinkels

prä- zu postoperativ

N	Gültig	43
Mittelwert		14,0233
Median		13,0000
Std.-Abweichung		9,29026
Minimum		-5,00
Maximum		39,00

6. Diskussion

6.1 Epidemiologie und Frakturmechanismus

Die in dieser Arbeit erhobenen Daten zur Epidemiologie sowie zu den Mechanismen, die zu den Calcaneusfrakturen führten, spiegeln insgesamt die bereits vorhandenen Daten aus den letzten Jahrzehnten wider. Das Durchschnittsalter der in dieser Arbeit behandelten Patienten zum Unfallzeitpunkt liegt mit im Mittel 51,6 Jahren im Bereich dessen, was zum Beispiel Burdeaux et al. in den 70er Jahren (49,5 Jahre im Mittel), Ibrahim et al. mit Daten aus den 80er und frühen 90er Jahren (48,5 Jahre im Mittel) oder auch Zwipp et al. mit Daten aus dem letzten Jahrzehnt (45,6 Jahre im Mittel) berichten (6,8,14). Die Geschlechterverteilung zeigt ebenfalls die regelhafte Verschiebung hin zu einer überproportional von Männern erlittenen Fraktur mit insgesamt 85% männlichen Patienten. Auch dies findet sich bei Zwipp (86% männliche Patienten), Ibrahim (81% männliche Patienten), Burdeaux (68% männliche Patienten) aber auch bei Veltman et al (80% männliche Patienten) in einem systematischen Review wieder (6,8,14,55).

Auch für den Frakturmechanismus bestätigen die Ergebnisse dieser Arbeit die Angaben aus der Literatur. Mit insgesamt 81,4% sind Stürze aus unterschiedlichen Höhen die mit Abstand größte Ursache für die beschriebenen Calcaneusfrakturen. Dieser Hauptmechanismus findet sich zum Beispiel in den Arbeiten von Razik et al., Rammelt et al. und auch Makki et al. wieder (13,50,56).

Das Verhältnis der Freizeitunfällen zu Arbeitsunfällen ist mit 58% zu 42% ähnlich gewichtet wie Rammelt et al. es 2013 in ihrer Studie mit insgesamt 210 Patienten berichten (56). Hier liegt der Anteil der Arbeitsunfälle bei 36% (56). Interessant ist hier das Verhältnis zwischen der Unfallart im Sinne des Freizeit- versus Arbeitsunfalls und der Höhe des Sturzes, der zu der Calcaneusfraktur führte. Die Daten dieser Arbeit zeigen eine höhere Anzahl an frakturauslösenden Stürzen aus über 3m Höhe im Freizeitbereich als bei Arbeitsunfällen. 36% der Patienten mit Frakturen aus dem Freizeitbereich aber nur 22% der Patienten mit Frakturen nach Arbeitsunfällen zogen sich diese bei Stürzen aus über 3m zu. Diese nicht signifikante Tendenz könnte ihre Ursache in den Arbeitssicherheitsvorschriften der Berufsgenossenschaften haben, welche zunehmende Sicherungsmaßnahmen bereits ab einer möglichen Sturzhöhe von über 1m beinhalten.

Insgesamt erscheint das Patientenkollektiv dieser Arbeit somit verwertbare Aussagen zur Grundfrage dieser Arbeit, ob der C-Nail ein der winkelstabilen Calcaneusplatte gleichwertiges oder sogar überlegendes Implantat zur Versorgung einer Calcaneusfraktur ist, zuzulassen.

6.2 Frakturschwere, AOFAS Score und Repositionsergebnisse

Die nach der Sanders Klassifikation definierte Frakturschwere der in dieser Arbeit ausgewerteten Calcaneusfrakturen ist im Vergleich zur Literatur hoch. Die Rate der Sanders Typ 3 und 4 Frakturen liegt in diesem Kollektiv bei 70%. Ein ähnliches Kollektiv publizierten nur Rammelt et al. im Jahre 2013 mit 68% Sanders Typ 3 und 4 Frakturen (56). Die Kollektive von Sanders et al. aus dem Jahr 1993 (35% Sanders Typ 3 und 4), Makki et al. aus dem Jahre 2010 (44,7% Sanders Typ 3 und 4) sowie das Kollektiv von Zwipp et al. aus dem Jahre 2016 (31% Sanders Typ 3 und 4) enthalten deutlich geringere Raten an diesen schweren Calcaneusfrakturen, als das in dieser Arbeit untersuchte (14,29,50). In den Publikationen zum Calcanail von Simon et al. und Goldzak et al. finden sich keine Aufschlüsselungen der Frakturen nach der Sanders Klassifikation, so dass hier kein Vergleich möglich ist (15,44).

Beim Vergleich der erzielten AOFAS Score Ergebnisse in den Follow up Untersuchungen zeigen sich ebenfalls Unterschiede zwischen den Werten dieser Arbeit und denen der bereits vorhandenen Literatur. Auch hier ist das Kollektiv mit den ähnlichsten Werten das von Rammelt et al.. In dieser Arbeit zeigt sich ein durchschnittlicher AOFAS Score von 72,6 Punkten sowie ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Frakturschwere und dem funktionellen Outcome gemessen mit dem AOFAS Score (56). Der Durchschnittswert des AOFAS Scores in den Daten dieser Arbeit liegt bei 71,95 Punkten. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Sanders Klassifikation als Messinstrument für die Frakturschwere sowie dem Outcome gemessen mit dem AOFAS Score konnte in den Daten dieser Arbeit nicht gezeigt werden. Hier ist vermutlich die zu kleine Anzahl der nachuntersuchten Patienten Ursache für die fehlende Signifikanz. Nur Potter et al. publizierten im Jahre 2009 eine Serie von 73 nachuntersuchten Patienten mit einem noch niedrigeren AOFAS Score von im Durchschnitt 65,4 Punkten (26). Andere Studien erreichen deutlich bessere AOFAS Score Werte. Zwipp et al. berichten in ihrer Publikation zum C-Nail einen Durchschnittswert von 92,6 Punkten und Makki et al. mit Daten zu mittels Plattenosteosynthese versorgten Patienten einen Wert von 87,16 Punkten (14,50). Zwischen diesen beiden Extremen liegen die Publikationen zum Calcanail von Simon et al. und Goldzak et al. mit 75,6 respektive 84 Punkten (15,44).

In der Zusammenschau erscheint ein Zusammenhang zwischen Frakturschwere und funktionellem Outcome wie von Rammelt et al. 2013 postuliert als wahrscheinlichste Ursache für diese große Bandbreite der Ergebnisse. Die Kollektive mit geringer Frakturschwere wie zum Beispiel das von Zwipp et al. von 2016 zeigen die besten funktionellen Outcomes, wohingegen die Kollektive mit einer hohen Anzahl an Sanders 3 und 4 Frakturen, wie das von Rammelt et al. oder das in dieser Arbeit untersuchte, ein schlechteres Outcome dokumentieren.

Inwiefern das Repositionsergebnis einen Einfluss auf das Outcome hat, lässt sich an Hand der vorhandenen Daten nur vermuten. Leider gibt es kaum Studien, die das postoperative Repositionsergebnis an Hand des Böhlerwinkels spezifisch aufschlüsseln, sodass ein guter Datenvergleich nicht möglich ist. Als Tendenz kann vielleicht ein Vergleich der Daten dieser Arbeit mit den Ergebnissen von Zwipp et al. aus dem Jahre 2016 dienen. Wie im letzten Absatz erwähnt findet sich in dieser Publikation ein außerordentlich gutes postoperatives funktionelles Outcome mit einem AOFAS Score von 92,6 Punkten im Mittel (14). Parallel wird ein durchschnittlicher postoperativer Böhlerwinkel von 31,2° beschrieben (14). In unserem Kollektiv liegt der gemittelte postoperative Böhlerwinkel bei 25,6° und somit ebenfalls im Bereich der Norm von 20-40°. Trotzdem ist das funktionelle Outcome gemessen am AOFAS Score deutlich verschieden, denn hier stehen die erwähnten 92,6 Punkte bei Zwipp et al. gegenüber 71,95 Punkten in den Daten dieser Arbeit. Somit liegt die Vermutung nahe, dass das Repositionsergebnis kein guter Prädiktor für das funktionelle Outcome ist. Als Ursache erscheint ein bereits im Moment des Unfalls entstehender irreversibler Knorpelschaden in den betroffenen Gelenken, welcher dann im Verlauf zu einer posttraumatischen Arthrose führt als wahrscheinlich. Dieser Zusammenhang wird von Rammelt et al. ebenfalls postuliert und kann durch Daten eines bovinen Knorpelmodells von Borelli et al. unterstützt werden (56,57).

Betrachtet man die Ergebnisse dieser Arbeit hinsichtlich des funktionellen Outcomes zusammen mit den Daten zum C-Nail von Zwipp et al. zeigt sich ein positives Bild. Der C-Nail ist im für den Patienten überaus wichtigen funktionellen Outcome unabhängig von der Frakturschwere der Platte ebenbürtig.

6.3 Weichteilkomplikationen

Die postoperative Weichteilkomplikation ist, wie bereits in der Einleitung erwähnt, ein wichtiger Faktor in der erfolgreichen Versorgung einer Calcaneusfraktur. Hier wurde in den Publikationen zu den beiden Nagelimplantaten C-Nail und Calcanail eine deutliche Verbesserung der Komplikationsrate im Vergleich zur Plattenosteosynthese über einen ausgedehnten lateralen Zugang beschrieben. Die Weichteilkomplikationsrate der Plattenosteosynthese wird in der Literatur mit einer Rate von 16-25% und in einzelnen Studien mit bis zu 42% angegeben (56,58). In diesen hohen Prozentangaben sind Weichteilkomplikationen, welche einer operativen Sanierung bedürfen, zusammengezählt mit denen, die nur eine lokale Wundpflege benötigen (56,58). In den beiden Studien zum Calcanail wird eine Gesamtweichteilkomplikationsrate von 0% angegeben (15,44). Zwipp et al. publizierten 2016 ihre Daten zur C-Nail Implantation in 106 Frakturen (14). Es zeigten sich zwei (1,9%) oberflächlichen Wundheilungsstörungen, welche keiner OP bedurften und eine (0,9%) tiefen Infektion nach Versorgung einer offenen Calcaneusfraktur, welche eine operative

Sanierung benötigte (14). Die Daten dieser Arbeit bestätigen die deutlich geringere Weichteilkomplikationsrate. In der mit 22 Frakturen kleinen Gruppe der nachuntersuchten Patienten traten insgesamt 4 (18,2%) Weichteilkomplikationen auf. Hiervon benötigten zwei eine operative Sanierung und zwei konnten durch lokale Wundpflege zur Ausheilung gebracht werden. Diese im Vergleich zu den drei anderen Calcaneusnägel betreffenden Publikationen hohe Weichteilkomplikationsrate kann im Detail nicht auf den C-Nail selbst zurückgeführt werden (14,15,44). Die beiden operativ sanierten Fälle können nicht als implantat- oder zugangsassoziiert betrachtet werden. Eine Patientin erlitt eine medial offene Calcaneusfraktur (Typ 3b nach Gustilo-Anderson), deren mediale, also nicht im Zugangsbereich liegende, Wunde nach einigen Tagen auf Grund von Sezernierung einmalig revidiert werden musste. Der zweite operativ revidierte Patient erlitt eine Wundheilungsstörung an der Ferse im Bereich einer schon präoperativ bestehenden Druckstelle, welche im Verlauf nach mehrmaliger Revision mittels Suralislappen gedeckt werden konnte. Die beiden oberflächlichen Wundheilungsstörungen bedurften keiner größeren medizinischen Maßnahme und heilten unter lokaler Wundpflege folgenlos aus. Somit ergibt sich eine Weichteilkomplikationsrate, welche mit dem Zugang oder dem Implantat assoziiert ist, ohne operativen Sanierungsbedarf von 9,1% und 0% mit operativem Sanierungsbedarf.

Somit zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit erneut, dass ein intramedulläres Calcaneusimplantat, welches über einen minimalinvasiven Zugang eingebracht wird, der Plattenosteosynthese über den erweiterten lateralen Zugang bei der Rate der Weichteilkomplikationen überlegen ist.

6.4 Return to Work und Return to Sports

Die Ergebnisse dieser Arbeit zum Zeitpunkt des Wiedereintritts in den Beruf sowie der Rückkehr zum Sport zeigen die große Bedeutung der Calcaneusfraktur für das weitere Leben und vor allem für die weitere Lebensqualität der betroffenen Patienten. 90,9% der nachuntersuchten Patienten benötigten länger als 3 Monate, um wieder in den Beruf zurückzukehren oder konnten überhaupt nicht wieder in ihrem Beruf arbeiten. 59% der Betroffenen benötigten mehr als 6 Monate postoperativer Zeit, um wieder am Berufsleben teilzunehmen. 4,5% konnten ihre Arbeit nicht mehr wieder aufnehmen. Vergleicht man diese Zahlen mit Daten zu einer Fraktur der oberen Extremität wie zum Beispiel der Humeruskopffraktur zeigen sich beträchtliche Unterschiede. Dietrich et al. publizierten 2012 ihre Ergebnisse einer retrospektiven Analyse von 72 proximalen Humerusfrakturen (54). Hier schaffen es 67% der Patienten innerhalb der ersten drei Monate zurück an ihren Arbeitsplatz und 95% erreichen diesen Zustand nach 6 Monaten (54). Der Vergleich zeigt die deutlich größeren sozioökonomischen Kosten der Calcaneusfraktur im Vergleich zu einer Fraktur der

oberen Extremität und somit die hohe Relevanz einer guten Versorgung der Fraktur für die Gesellschaft.

Die Rückkehr zum vor der Fraktur ausgeübten Sport zeigt eine noch größere zeitliche Verzögerung als die Rückkehr zum ausgeübten Beruf. 95,5% Prozent der Patienten benötigten länger als 3 Monate, um zum Sport zurückzukehren. 27,3% erreichten dieses Ziel nie und mussten hinnehmen, dass sie nach ihrer Calcaneusfraktur ihren vor der Fraktur ausgeübten Sport nicht mehr ausüben konnten. Auch hier zeigt sich ein großer Unterschied zu Frakturen der oberen Extremität. Fowler et al. geben zum Beispiel das durchschnittliche Return to Sports nach einer operativ versorgten Scaphoidfraktur mit 6 Wochen an (59).

In Kombination zeigen die aufgeführten Ergebnisse, dass die Calcaneusfraktur weiterhin eine den Patienten in seiner Lebensqualität über einen langen Zeitraum stark einschränkende Verletzung ist. Auch wenn der Satz von Cotton aus dem Jahre 1916 „Ordinarily speaking, the man who breaks his heelbone is "done", so far as his industrial future is concerned" heutzutage in den meisten Fällen nicht mehr zutrifft, so muss das Zitat von Mercer aus dem Jahre 1944 „Fractures of the calcaneus are among the most disabling of all injuries" als weiterhin zutreffend bezeichnet werden (10). Somit erscheint es umso relevanter bei der Versorgung von Calcaneusfrakturen alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um die Lebensqualität der betroffenen Patienten nach dem Unfall so wenig eingeschränkt wie möglich zu erhalten. Hier hat die operative Versorgung der dislozierten Calcaneusfraktur einen bedeutenden Stellenwert. Auch wenn die Diskussion über den Nutzen der operativen Versorgung der Fersenbeinfraktur lange Zeit kontrovers geführt wurde, ist heute die Plattenosteosynthese auf Grund des besseren funktionellen Outcomes trotz der höheren Komplikationsrate im Vergleich zur konservativen Therapie der Goldstandart in der Therapie der dislozierten Fraktur (8,11–13,55,58). An diesem Punkt der historischen Entwicklung, von der Reposition der Fraktur mittels Hammer bei Cotton 1916, über Böhler's komplexe konservative Therapie im Gips auf dem Zugapparat, hin zur aktuellen winkelstabilen Osteosynthese, kommt nun der intramedulläre Kraftträger in der Therapie der Calcaneusfraktur in den Fokus. Ziel jeder Anpassung einer medizinischen Versorgung muss es sein, die Lebensqualität der Patienten nach einer Fraktur oder Erkrankung weiter zu verbessern. Die aufgeführten Ergebnisse dieser Arbeit in Zusammenschau mit der Literatur machen deutlich, dass in der Nutzung der intramedullären Implantate ein großes Potential für eine solche Verbesserung der Versorgung liegt (14,15,44). Vor allem durch die Verringerung der Weichteilkomplikationen sinkt für die Patienten das Risiko der operativen Versorgung und somit auch das Risiko für eine postoperativ hohe Einschränkung der Lebensqualität auf Grund von Revisionseingriffen oder langwieriger ambulanter Wundpflege (14,15,44).

Somit erscheint eine Antwort auf die in der Einleitung gestellte Frage nach dem Potential der Nagelosteosynthese als mögliche Ergänzung oder sogar Ablösung der Plattenosteosynthese

in der Versorgung der Calcaneusfraktur möglich. Ja, die intramedulläre Versorgung der Calcaneusfraktur ist eine gute Alternative zur Plattenosteosynthese und sie hat auf Grund der in der Diskussion aufgeführten Vorteile das Potential, über die nächsten Jahre die Plattenosteosynthese als Standardverfahren in der Versorgung der dislozierten Calcaneusfraktur abzulösen.

7. Zusammenfassung

In der Einleitung dieser Arbeit wurde die Frage gestellt, ob ein intramedulläres Calcaneusimplantat die Zukunft in der osteosynthetischen Versorgung der dislozierten Calcaneusfraktur darstellen kann. Um diese Frage zu beantworten, erfolgte zunächst die Darlegung der Geschichte der Calcaneusfraktur und ihrer Versorgung. Es wurden die historischen als auch die aktuellen Schwierigkeiten für die betroffenen Patienten und die behandelnden Ärzte beschrieben. Gerade die Weichteilkomplikation stellt eine in der Literatur generationenübergreifende Hürde für eine erfolgreiche Therapie der Fersenbeinfraktur dar (9–11,40). Anhand der schon vorhandenen Veröffentlichungen zu den beiden auf dem Markt befindlichen intramedullären Calcaneusimplantaten wurde das Konzept dieser neuen Therapie und die damit einhergehenden Vor- und Nachteile beschrieben. Im Anschluss erfolgte die Präsentation der Mainzer Daten und Ergebnisse aus der Versorgung von Calcaneusfrakturen mit dem C-Nail, welche seit 2016 erfolgt. Das Patientenkollektiv zeigte sich epidemiologisch gut mit der Literatur vergleichbar. Um die eingangs gestellte Frage zu beantworten, erfolgte in der Diskussion die Gegenüberstellung der Literatur zu Plattenosteosynthese und Calcaneusnagel in Kombination mit den in dieser Arbeit erhobenen Daten. Hier konnte gezeigt werden, dass die Nägel der Plattenosteosynthese hinsichtlich des Outcomes gemessen am AOFAS Score und dem Repositionsergebnis unabhängig von der Frakturschwere gleichwertig sind. Im Bereich der Weichteilkomplikationen ergab sich eine deutliche Überlegenheit der intramedullären Implantate gegenüber der Plattenosteosynthese über den lateralen Zugang. Zusammengefasst stellt der Calcaneusnagel ein adäquates Mittel zur Versorgung einer dislozierten Calcaneusfraktur dar, welches im Vergleich mit dem bisherigen Goldstandard der Therapie, der winkelstabilen Plattenosteosynthese, erhebliche und vor allem relevante Vorteile bietet. Eine Ablösung der Platte durch den Nagel als Goldstandard erscheint angesichts der aktuellen Datenlage in der Zukunft als möglich und begrüßenswert.

Die Limitierung der Mainzer Daten als auch der bisherigen Publikationen zu Calcaneusnägeln liegt vor allem in der geringen Größe der Patientenkollektive. Große prospektive Studien zum Vergleich der Plattenosteosynthese mit den Calcaneusnägeln existieren aktuell noch nicht. Um ein Umdenken hin zur primären Verwendung eines intramedullären Implantates bei der Versorgung der Fersenbeinfraktur flächendeckend zu erreichen, benötigt es sicherlich derartige größere Studien, die die Überlegenheit der Nägel vor allem im Bereich der Weichteilkomplikationen bestätigen können.

Literaturverzeichnis

1. Cherry JC. Fractures of the os calcis. *Ir J Med Sci.* 1946;21(4):122–5.
2. COTTON FJ. Os calcis. *Amer J orthop Surg.* 1916;14:290.
3. Bartoníček J, Rammelt S. Carl Gussenbauer and the history of nailing for calcaneal fractures. *Fuß Sprunggelenk.* 2020 Sep 1;18(3):239–43.
4. Hodges FC. The rational treatment of OS calcis fractures. Vol. 45, *Southern Medical Journal.* 1952. p. 684–9.
5. Parmar H V., Triffit PD, Gregg PJ. Os calcis fractures. *Curr Orthop.* 1993;7(3):184–92.
6. Burdeaux BD. Fractures of the calcaneus: Open reduction and internal fixation from the medial side a 21-year prospective study. *Foot Ankle Int.* 1997;18(11):685–92.
7. Bezes H, Massart P, Delvaux D, Fourquet JP, Tazi F. The operative treatment of intraarticular calcaneal fractures: Indications, technique, and results in 257 cases. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 1993. p. 55–9.
8. 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):848–55.
9. Palmer I. Of fractures. *J Bone Jt Surg.* 1948;30(2).
10. ESSEX-LOPRESTI EP. THE MECHANISM, REDUCTION TECHNIQUE, AND RESULTS IN FRACTURES OF THE OS CALCIS". *Br J Surg.* 1952;157(39):395–419.
11. Rammelt S, Zwipp H. Calcaneus fractures: Facts, controversies and recent developments. *Injury.* 2004;35(5):443–61.
12. Meena S, Gangary SK, Sharma P. Operative versus non-operative treatment for displaced intra-articular calcaneal fracture: A meta-analysis of randomised controlled trials. *J Orthop Surg.* 2016;24(3):411–6.
13. Razik A, Harris M, Trompeter A. Calcaneal fractures: Where are we now? *Strateg Trauma Limb Reconstr.* 2018;13(1):1–11.
14. Zwipp H, Paša L, Žilka L, Amlang M, Rammelt S, Pompach M. Introduction of a New Locking Nail for Treatment of Intraarticular Calcaneal Fractures. *J Orthop Trauma.* 2016;30(3):e88–92.
15. 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):345–9.
16. Amlang MH, Rammelt S. Calcaneusnagel C-Nail. *Unfallchirurg.* 2016;119(3):239–44.
 17. Amlang M, Zwipp H, Pompach M, Rammelt S. Interlocking nail fixation for the treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures. *JBJS Essent Surg Tech.* 2017;7(4):1–12.
 18. Pompach M, Carda M, Amlang M, Zwipp H. Versorgung des Fersenbeinbruchs mit einem Verriegelungsnagel (C-Nail). *Oper Orthop Traumatol.* 2016;28(3):218–30.
 19. Drenckhahn D, Benninghoff; Taschenbuch Anatomie. 2008. 89–94 p.
 20. Waschke, J.; Paulsen F. Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen. 2010. 283–289 p.
 21. Sangeorzan A, Sangeorzan B. Subtalar Joint Biomechanics: From Normal to Pathologic. *Foot Ankle Clin [Internet].* 2018;23(3):341–52. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2018.04.002>
 22. Jastifer JR, Gustafson PA. The subtalar joint: Biomechanics and functional representations in the literature. *Foot [Internet].* 2014;24(4):203–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foot.2014.06.003>
 23. Aynardi M, Pedowitz DI, Raikin SM. Subtalar Instability. *Foot Ankle Clin [Internet].* 2015;20(2):243–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcl.2015.02.007>
 24. Sammarco VJ. The talonavicular and calcaneocuboid joints: Anatomy, biomechanics, and clinical management of the transverse tarsal joint. *Foot Ankle Clin.* 2004;9(1):127–45.
 25. Keener BJ, Sizensky JA. The anatomy of the calcaneus and surrounding structures. *Foot Ankle Clin.* 2005;10(3):413–24.
 26. Potter MQ, Nunley JA. Long-term functional outcomes after operative treatment for intra-articular fractures of the calcaneus. *J Bone Jt Surg - Ser A.* 2009;91(8):1854–60.
 27. Juliano P, Nguyen H-V. Fractures of the calcaneus. *Foot Ankle Trauma.* 2001;32(1):35–51.
 28. Myerson M, Manoli A. Compartment syndromes of the foot after calcaneal fractures. *Clin Orthop Relat Res [Internet].* 1993;43(290):142–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jemermed.2009.08.059>
 29. Sanders R, Fortin P, DiPasquale T, Walling A. Operative treatment in 120 displaced intraarticular calcaneal fractures: Results using a prognostic computed tomography

- scan classification. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1993. p. 87–95.
30. Schofer M, Schoepp C, Rüländer C, Kortmann HR. Operative und konservative Behandlung der Kalkaneusfrakturen. *Trauma und Berufskrankheit*. 2005;7(SUPPL. 1):156–61.
 31. Grifka J. *Orthopädie Unfallchirurgie*. 2013. 394 p.
 32. Goff C. Fresh fracture of the os calcis. *Arch Surg* 36. 1938;36:744–65.
 33. Böhler L. Die Technik der Knochenbruchbehandlung 2. Band. 2173–2202 p.
 34. Zwipp H, Tscherne H, Wülker N GR. Der intraartikuläre Fersebeinbruch. Klassifikation, Bewertung und Operationstaktik [Intra-articular fracture of the calcaneus. Classification, assessment and surgical procedures]. *Unfallchirurg* 1989 Mar;92(3):117-29 Ger PMID 2711196. 1989;1989 Mar(92(3)):117–29.
 35. WHITTAKER AH. Management of fractures of the os calcis. *Nebr State Med J*. 1947;34(2):55–8.
 36. Parmar H V., Triffitt PD, Gregg PJ. Intra-articular fractures of the calcaneum treated operatively or conservatively. A prospective study. *J Bone Jt Surg - Ser B*. 1993;75(6):932–7.
 37. STEPHENSON JR. Surgical Treatment of Displaced Intraarticular Fractures of the Calcaneus. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(290):68–75.
 38. Frankel JP, Anderson CD. The use of a calcaneal reconstruction plate in intra-articular calcaneal fractures. *J Foot Ankle Surg [Internet]*. 1996;35(4):318–30. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S1067-2516\(96\)80081-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1067-2516(96)80081-0)
 39. Sanders R. Intra-articular fractures of the calcaneus: Present state of the art. *J Orthop Trauma*. 1992;6(2):252–65.
 40. Letournel E. Open Treatment of Acute Calcaneal Fractures. *Orthop Relat Res*. 1993;(290):60–7.
 41. SANGEORZAN BJ, MAYO KA, HANSEN ST. Intraarticular Fractures of the Foot. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;292(292):135–41.
 42. Höntzsch D, Perren S, Frigg R. Geschichte und technische Möglichkeiten der winkelstabilen Osteosynthese – eine Bildergeschichte. *Op-Journal*. 2012;28(02):124–8.
 43. Schon LC, Wisbeck JM. Minimally invasive plate fixation of calcaneus fractures. *Tech Orthop*. 2012;27(2):118–25.
 44. Simon P, Goldzak M, Eschler A, Mittlmeier T. Reduction and internal fixation of

- displaced intra-articular calcaneal fractures with a locking nail: a prospective study of sixty nine cases. *Int Orthop*. 2015;39(10):2061–7.
45. Reinhardt S, Martin H, Ulmar B, Döbele S, Zwipp H, Rammelt S, et al. Interlocking Nailing Versus Interlocking Plating in Intra-articular Calcaneal Fractures: A Biomechanical Study. *Foot Ankle Int*. 2016;37(8):891–7.
 46. Zeman J, Zeman P, Matejka T, Belatka J, Matejka J. Comparison of lcp and intramedullary nail osteosynthesis in calcaneal fractures. *Acta Ortop Bras*. 2019;27(6):288–93.
 47. Kakwani R, Siddique M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Class Pap Orthop*. 2014;217–9.
 48. Pinsker E, Daniels TR. AOFAS position statement regarding the future of the AOFAS clinical rating systems. *Foot Ankle Int*. 2011;32(9):841–2.
 49. Pompach M, Carda M, Amlang M, Zwipp H. Treatment of calcaneal fractures with a locking nail(C-Nail). *Oper Orthop Traumatol*. 2016;
 50. 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 Jt Surg - Ser B*. 2010;92(5):693–700.
 51. MacKenzie EJ, Morris JA, Jurkovich GJ, Yasui Y, Cushing BM, Burgess AR, et al. Return to work following injury: The role of economic, social, and job- related factors. *Am J Public Health*. 1998;88(11):1630–7.
 52. Del Buono A, Smith R, Coco M, Woolley L, Denaro V, Maffulli N. Return to sports after ankle fractures: A systematic review. *Br Med Bull*. 2013;106(1):179–91.
 53. Binkley H, Smith DL, Wise S. Rehabilitation and return to sport after scaphoid fractures. *Strength Cond J*. 2012;34(5):24–33.
 54. Michael Dietrich, Mathias Wasmer, Andreas Platz CS. Open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures. *Oper Tech Orthop Trauma Surg*. 2012;163–71.
 55. 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 [Internet]*. 2013;52(4):486–90. Available from: <http://dx.doi.org/10.1053/j.jfas.2013.04.002>
 56. 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):2885–98.

57. Borrelli, Joseph Jr.; Torzilli, Peter A.; Grigiene, Rita; Helfet DL. Effect of Impact Load on Articular Cartilage: Development of an Intra-Articular Fracture Model. *J Orthop Trauma*. 11(5):p 319-326.
58. Richard Buckley, Suzanne Tough, Robert McCormack, Graham Pate, Ross Leighton, Dave Petrie RG. Operative compared with nonoperative treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: a prospective, randomized, controlled multicenter trial. *J Bone Jt Surg Am*. 2002;84(10):1733–44.
59. Fowler JR, Hughes TB. Scaphoid Fractures. *Clin Sports Med [Internet]*. 2015;34(1):37–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csm.2014.09.011>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Die Gelenkflächen des Calcaneus; A: Facies articularis talaris anterior; C: Facies articularis cuboidea; M Facies articularis talaris medialis; P: Facies articularis talaris posterior (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).....	3
Abbildung 2: B: Böhler Winkel; G: Kritischer Winkel von Gissane (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).....	5
Abbildung 3: Sanders Klassifikation (Mit freundlicher Genehmigung der AMBOSS GmbH) ...	7
Abbildung 4: Reposition nach Cotton (Mit freundlicher Genehmigung der Wolters Kluwer Health, Inc.)	8
Abbildung 5: A: Kombination zweier Drittelrohrplatten; B: Kombination Drittelrohrplatte mit H-Platte; C: Y-Platte (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).....	11
Abbildung 6: Ausgedehnter lateraler Zugang mit Schnittführung gestrichelt (Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier).....	12
Abbildung 7: DepuySynthes LCP Calcaneus (Mit freundlicher Genehmigung von DepuySynthes)	13
Abbildung 8: Der C-Nail im Calcaneus (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature)	15
Abbildung 9: Sinus Tarsi Zugang, Hautschnitt eingezeichnet in rot (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature)	16
Abbildung 10: Reposition der Gelenkflächen vor Einbringen des C-Nails (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature)	17
Abbildung 11: C-Nail mit Zielgerät (Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature).....	18
Abbildung 12: AOFAS Rückfuß-Sprunggelenk.....	22
Abbildung 13: Verwendeter zusätzlicher Fragebogen	24
Abbildung 14: Vergleich der Unfallart mit dem Frakturmechanismus	27
Abbildung 15: Verteilung der Unfallmechanismen.....	28
Abbildung 16: Vergleich des Frakturmechanismus mit der Frakturschwere.....	30
Abbildung 17: Der präoperative Böhlerwinkel in Grad	38
Abbildung 18: Der postoperative Böhlerwinkel in Grad	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Alter aller Patienten	25
Tabelle 2: Alter der nachuntersuchten Patienten.....	25
Tabelle 3: Geschlecht aller Patienten.....	26
Tabelle 4: Geschlecht der nachuntersuchten Patienten	26
Tabelle 5: Arbeitsunfall gegenüber Freizeitunfall.....	26
Tabelle 6: Frakturmechanismus	27
Tabelle 7: Aufgeschlüsselte Frakturmechanismen der Gruppe "Andere"	28
Tabelle 8: Sanders Klassifikation der Frakturen	29
Tabelle 9: Korrelation der Frakturschwere mit dem Frakturmechanismus	30
Tabelle 10: Wundheilungsstörungen	32
Tabelle 11: AOFAS Score Ergebnisse	32
Tabelle 12: Zeitpunkt des Return to Work	33
Tabelle 13: Zeitpunkt des Return to Sports	34
Tabelle 14: Zeit bis zur Vollbelastung.....	34
Tabelle 15: Korrelation des Zeitpunkt der Vollbelastung und Zeitpunkt des Return to Work .	35
Tabelle 16: Zeit bis zur Schmerzfreiheit	36
Tabelle 17: Beschwerden bei der Nachuntersuchung	36
Tabelle 18: Lokale Irritationen bei der Nachuntersuchung.....	37
Tabelle 19: Metallentfernungen.....	37
Tabelle 20: Böhlerwinkel präoperativ in Grad.....	38
Tabelle 21: Böhlerwinkel postoperativ in Grad	39
Tabelle 22: Differenz des Böhlerwinkels prä- zu postoperativ in Grad.....	40

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater für die Überlassung des Themas, die hervorragende Betreuung meiner Arbeit und die ständige Hilfsbereitschaft bei allen thematischen Fragen sowie für die Übernahme des Erstgutachtens danken.

Mein Dank für die vielfältige Unterstützung, die Motivation und die Einführung in die klinische Forschung gilt den Kollegen des Zentrums für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsmedizin Mainz.

Nicht zuletzt bedanke ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglichten und mir immer mit viel Interesse und Verständnis zur Seite standen. Auch möchte ich mich bei meiner Ehefrau bedanken, die mich während der Arbeit stets motivierte und in jeglicher Hinsicht unterstützte.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Rasmus Engels geb. Ahlbrecht

Geburtsdatum: 11.09.1989 in Bonn-Duisdorf

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: verheiratet

Schulbildung

1996 – 2000 Katholische Grundschule Meckenheim

2000 – 2009 Konrad-Adenauer-Gymnasium, Meckenheim

2006/2007 Auslandsaufenthalt Bangor High School, Bangor MI, USA

Hochschulbildung

Oktober 2009 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

August 2011 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Oktober 2014 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Dezember 2015 Abschluss des Studiums der Humanmedizin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Facharztausbildung

Februar 2016 – März 2021 Universitätsmedizin Mainz, Weiterbildung zum Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie

Juli 2017 – Januar 2018 Rotation für 6 Monate Allgemein Chirurgie Asklepios Paulinen Klinik Wiesbaden

Seit März 2021

GPR Klinik Rüsselsheim, Weiterbildung zum Facharzt für
Orthopädie und Unfallchirurgie

Promotion

Januar 2017

Beginn der Promotion im Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
Universitätsmedizin Mainz bei PD Dr. med. R. Küchle

Juni 2020

Beginn der Nachuntersuchung im Rahmen der durch den Ethikrat des
Landes Rheinland-Pfalz genehmigten Studie