

AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR UNFALLCHIRURGIE  
PROF. DR. DR. VOLKER ALT  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**AKTUELLE NACHBEHANDLUNGSKONZEPTE FÜR SPRUNGGELENKS- UND  
MITTELFUßVERLETZUNGEN**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von

Matthias Plinke

**2021**



AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR UNFALLCHIRURGIE  
PROF. DR. DR. VOLKER ALT  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**AKTUELLE NACHBEHANDLUNGSKONZEPTE FÜR SPRUNGGELENKS- UND  
MITTELFUßVERLETZUNGEN**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von

Matthias Plinke

**2021**

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Werner Krutsch

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Hornung

Tag der mündlichen Prüfung: 16.07.2021

# Inhalt

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Zusammenfassung .....  | 4  |
| 1.1   | Einleitung .....   | 4  |
| 1.2   | Material und Methoden.....                                   | 4  |
| 1.3   | Ergebnisse .....   | 4  |
| 1.4   | Fazit .....  | 5  |
| 2     | Einleitung.....  | 6  |
| 2.1   | Metatarsale Frakturen .....                                  | 7  |
| 2.2   | Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes.....                | 10 |
| 2.3   | Osteochondrale Transplantation im oberen Sprunggelenk .....  | 13 |
| 2.4   | Arthrodesen des Sprunggelenkes .....                         | 18 |
| 3     | Material und Methoden.....                                   | 22 |
| 3.1   | Studiendesign.....   | 22 |
| 3.2   | Aufbau der analysierten Nachbehandlungsschemata .....        | 22 |
| 3.3   | Einflussgrößen der Nachbehandlung .....                      | 24 |
| 3.3.1 | Wahl der Orthese .....                                       | 24 |
| 3.3.2 | Belastung .....  | 28 |
| 3.3.3 | Bewegungsausmaß .....  | 29 |
| 3.3.4 | Physiotherapieempfehlung.....                                | 29 |
| 3.3.5 | Sohlenzusatz.....  | 30 |
| 3.4   | Thematische Gruppierung der Nachbehandlungsrichtlinien ..... | 30 |
| 3.5   | Erfassung der Daten .....                                    | 31 |
| 3.6   | Statistik.....   | 33 |
| 4     | Ergebnisse .....   | 34 |
| 4.1   | Studienpopulation.....                                       | 34 |
| 4.2   | Metatarsale Frakturen .....                                  | 35 |
| 4.2.1 | Verfügbarkeit der Protokolle.....                            | 35 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.2.2 | Wahl der Orthese .....                               | 36 |
| 4.2.3 | Tragdauer der Orthese.....                           | 37 |
| 4.2.4 | Belastung .....                                      | 39 |
| 4.2.5 | Bewegungsausmaß .....                                | 41 |
| 4.2.6 | Physiotherapie .....                                 | 44 |
| 4.3   | Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes.....        | 47 |
| 4.3.1 | Verfügbarkeit der Protokolle.....                    | 47 |
| 4.3.2 | Wahl der Orthese .....                               | 47 |
| 4.3.3 | Tragdauer der Orthese.....                           | 48 |
| 4.3.4 | Belastung .....                                      | 49 |
| 4.3.5 | Bewegungsausmaß .....                                | 50 |
| 4.3.6 | Physiotherapie .....                                 | 51 |
| 4.4   | Osteochondrale Transplantation im Sprunggelenk.....  | 53 |
| 4.4.1 | Verfügbarkeit der Protokolle.....                    | 53 |
| 4.4.2 | Wahl der Orthese .....                               | 53 |
| 4.4.3 | Tragdauer der Orthese.....                           | 53 |
| 4.4.4 | Belastung .....                                      | 54 |
| 4.4.5 | Bewegungsausmaß .....                                | 55 |
| 4.4.6 | Physiotherapie .....                                 | 56 |
| 4.5   | Arthrodesse des Sprunggelenkes .....                 | 57 |
| 4.5.1 | Verfügbarkeit der Protokolle.....                    | 57 |
| 4.5.2 | Wahl der Orthese .....                               | 57 |
| 4.5.3 | Tragdauer der Orthese.....                           | 58 |
| 4.5.4 | Belastung .....                                      | 59 |
| 4.5.5 | Bewegungsausmaß .....                                | 60 |
| 4.5.6 | Physiotherapie .....                                 | 62 |
| 5     | Diskussion .....                                     | 64 |
| 5.1   | Nachbehandlung von Brüchen der Mittelfußknochen..... | 64 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 5.2 | Nachbehandlung von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk .....             | 67 |
| 5.3 | Nachbehandlung von Osteochondralen Transplantationen am Sprunggelenk ..... | 70 |
| 5.4 | Nachbehandlung von Arthrodese am Sprunggelenk.....                         | 72 |
| 5.5 | Fazit .....  | 75 |
| 5.6 | Limitationen der Arbeit .....  | 77 |
| 6   | Literaturverzeichnis .....   | 78 |
| 7   | Danksagung .....   | 93 |
| 8   | Lebenslauf.....  | 94 |
| 9   | Eidesstattliche Erklärung .....  | 95 |

# **1 Zusammenfassung**

## **1.1 Einleitung**

Das Sprunggelenk und der Fuß sind besondere anatomische, biomechanische und funktionelle Strukturen, die komplexe Bewegungsabläufe und hohe Belastungen bewältigen müssen. Eine volle Wiederherstellung dieser Funktionen nach Verletzungen und Degenerationen wird nicht nur durch ein operatives Prozedere, sondern noch viel mehr durch eine adäquate postoperative beziehungsweise posttraumatische Nachbehandlung gewährleistet.

## **1.2 Material und Methoden**

Es wurden im deutschsprachigen Raum von 213 unfallchirurgisch-orthopädischen Institutionen Nachbehandlungsstandards für Frakturen der Metatarsalknochen, Außenbandverletzungen am oberen Sprunggelenk, Arthrodesen des oberen und unteren Sprunggelenkes sowie osteochondrale Transplantationen am Sprunggelenk erfasst, ausgewertet, mit der aktuellen Literatur auf diesen Gebieten verglichen und diskutiert.

## **1.3 Ergebnisse**

Nachbehandlungen von Frakturen der Metatarsalknochen werden sowohl nach konservativer als auch nach operativer Therapie einheitlicher durchgeführt als zunächst angenommen. 110 der 213 untersuchten Institutionen differenzierten zwischen Metatarsal- und Metatarsale-5-Frakturen. Bei Metatarsale-5-Frakturen zeigt sich jedoch eine teils große Diskrepanz zwischen Praxis und Literatur.

Ein standardisiertes Vorgehen ist bei Außenbandverletzungen des oberen Sprunggelenkes etabliert, bei konservativer Therapie frühfunktionell mit freier ROM ab Woche 1 bei 87,1% der Einrichtungen, nach operativer Therapie deutlich restriktiver mit Immobilisierung von 0° noch in Woche 5 bei 60,2% der Einrichtungen.

Auch nach osteochondraler Transplantation am Sprunggelenk lässt sich ein deutlicher Konsensus in der Nachbehandlung finden, bestehend aus mindestens 6-wöchiger Teilbelastung im VACOPed-Stiefel, Physiotherapie und ROM von -10/+10° besteht. Dies scheint erklärbar durch eine hohe Expertise in wenigen behandelnden Zentren, denn lediglich 20,7% der untersuchten Institutionen legten ein Protokoll vor.

Eine Vielzahl von operativen Versorgungsmöglichkeiten bei der Arthrodesse des oberen und unteren Sprunggelenkes hat variierende Nachbehandlungsprotokolle zur Folge. Einigkeit besteht aber bei mindestens 6-wöchiger Nachbehandlungsdauer mit initialer Entlastung im VACOPed-Stiefel. Es sollte vor weiteren Untersuchungen der Nachbehandlung eine Empfehlung bezüglich des besten Operationsverfahrens ausgesprochen werden.

#### **1.4 Fazit**

Diese Studie zeigt, dass bei der Nachbehandlung von Fußverletzungen beziehungsweise von Operationen am Fuß und Sprunggelenk bereits teilweise sehr einheitliche Tendenzen bestehen. Es fielen aber zum Teil deutliche Unterschiede zwischen Klinikalltag und Literatur auf. Es sollten in Zukunft weiterführende Untersuchungen mit hohen Patientenfallzahlen durchgeführt werden, um einheitliche Standards evidenz-basiert aufstellen zu können. In der Folge ist ein Transfer dieser Standards in den klinischen Alltag essentiell.

## 2 Einleitung

Der Fuß ist eine einzigartige anatomische, biomechanische und funktionelle Struktur, die komplizierte Aufgaben bei den menschlichen Bewegungen, insbesondere Stehen, Gehen und Rennen erfüllen muss. Je nach Körpergewicht und Geschwindigkeit erreicht die Belastung das bis zu zehnfache des eigenen Körpergewichtes. Somit sind an das Sprunggelenk und den Fuß spezielle Anforderungen notwendig, um diese Belastungen auszuhalten und gleichzeitig eine volle Funktionalität zu bieten. Ein straffer Kapsel- und Bandapparat sorgt für eine gute Führung beziehungsweise stabile, aber nicht starre Verbindung der knöchernen Anteile. Eine knöcherne Fußwölbung reicht zur Druckentlastung nicht aus. Über das ligamentär und muskulär aufgespannte Fußquer- und Fußlängsgewölbe können axiale Belastungen im Stehen und Gehen abgefedert werden und sinnvoll auf Rückfuß und die fünf Strahlen des Mittel- und Vorfußes verteilt werden (Wirth et al. 2014). In den Gelenken selbst werden axiale Belastungen zusätzlich über den hyalinen Gelenkknorpel abgepuffert.

Sofern diese Strukturen intakt sind, ist eine schmerzfreie und reibungsfreie Bewegung im aufrechten Gang möglich. Doch durch die kurzfristige wie langfristige starke Belastung der Strukturen liegt nahe, dass akute Verletzungen wie auch degenerative Veränderungen häufig sind. Neben der akuten Versorgung einer Verletzung mit konservativer oder operativer Therapie, zeigt sich inzwischen, dass insbesondere die weitere Nachbehandlung erheblichen Einfluss auf die Heilung solcher Verletzungen und Degenerationen hat, wie beispielsweise Bowes und Buckley an der Nachbehandlung von Frakturen des fünften Metatarsalknochens zeigen konnten (Bowes und Buckley 2016).

In dieser Studie soll die weithin uneinheitliche Nachbehandlung von relevanten Fußverletzungen und Therapien im deutschsprachigen Raum erfasst, verglichen und diskutiert werden.

## 2.1 Metatarsale Frakturen

Metatarsale Frakturen sind die fünfthäufigsten Frakturen beim Menschen (Court-Brown und Caesar 2006). Aufgrund der physiologischen Form des Fußlängs- und Fußquergewölbes ist vorwiegend der fünfte Strahl betroffen, am 1. Strahl sind Frakturen am seltensten (Petrisor et al. 2006). Eine Fraktur am Os metatarsale V wird durch eine Pes-cavovarus- und Pes-adductus-Fehlstellung begünstigt (Wamelink et al. 2016). Je Lokalisation an den Ossa metatarsalia sind unterschiedliche Mechanismen ursächlich. In der Kopf- und Halsregion der Metatarsalknochen werden Frakturen durch direkte wie indirekte Krafteinwirkung ausgelöst und treten in der Regel als Serienfraktur auf. Schaft- und Basisfrakturen der mittleren Strahlen sind ebenfalls häufig seriell und werden meist durch direkte Kompression verursacht. An den äußeren Strahlen bewirken Torsionsmechanismen Schaftfrakturen (Sammarco 1993). Frakturen im Bereich der Basis sind selten isoliert. Am Os metatarsale V lässt sich die Basis erneut in 3 Zonen (Abbildung 1) unterteilen (Lawrence und Botte 1993). Zone 1 als proximalster Teil der Tuberositas des Os metatarsale V entsteht als Avulsionsverletzung durch Zug des lateralen Bandes der Plantarfaszie (Richli und Rosenthal 1984). Etwa 1,5cm distal der Tuberositas bis zum Beginn des Os metatarsale IV kommt es zur sogenannten Jones-Fraktur in Zone 2, meist durch eine Vorfußadduktion bei plantarflektiertem Fuß hervorgerufen. Aufgrund schlechter Durchblutung und hohem Instabilitätspotential ist die Pseudarthroserate in dieser Zone besonders hoch (Beck und Mittlmeier 2008b). Die in Zone 3, also dem proximalen Schaftbereich, lokalisierten Frakturen sind typischerweise durch eine Überbelastung bedingt und somit Stressfrakturen. Insbesondere eine repetitierende, gleichförmige, subtraumatische Belastung des Fußes ist ursächlich. Neben dem 5. Strahl finden sich derartige Frakturen oft am 2. und 3. Strahl (Geyer et al. 1993).

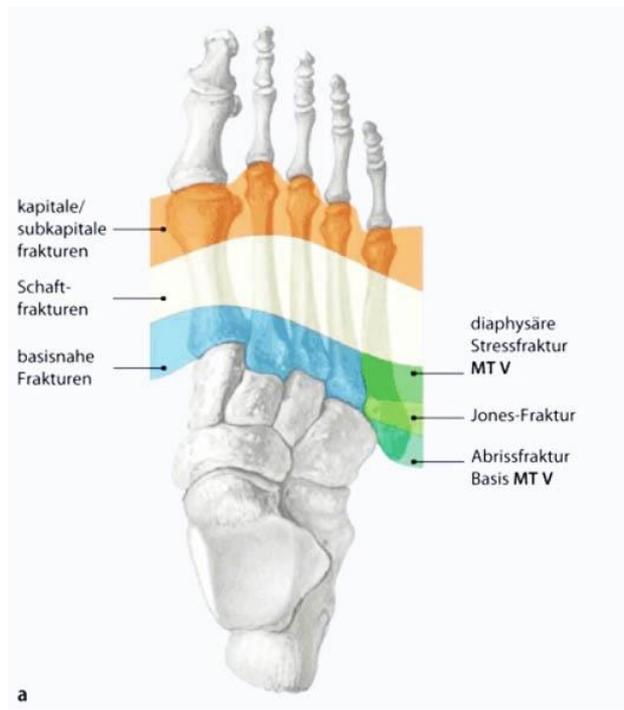


Abbildung 1: Zoneneinteilung der metatarsalen Knochen (Beck, M.; Mittlmeier, T. (2008): Metatarsale Frakturen. Unfallchirurg 111, 829)

Diagnostisch ist neben der Anamnese die körperliche Untersuchung oft schon sehr eindeutig. Aufgrund des schlanken Weichteilmantels ist ein Schmerz oft genau lokalisierbar. Schwellung, Zehenfehlstellungen und fehlende Belastbarkeit sind weitere Hinweise auf eine vorliegende Fraktur. Bildgebend ist das konventionelle Röntgenbild in 2 Ebenen das Mittel der Wahl. Stressfrakturen werden erst im fortgeschrittenen Stadium konventionell sichtbar, so dass im Anfangsstadium die MRT indiziert ist (Zwipp 1994).

Sowohl Lokalisation als auch Frakturmorphologie sind entscheidend für das therapeutische Vorgehen. Sind metatarsale Frakturen nicht disloziert, so können sie in der Regel konservativ behandelt werden. Am 2.-4. Strahl wird aktuell bei vorliegender Dislokation von weniger als  $10^\circ$  Angulation und 3-4 mm Translation in beliebiger Ebene ebenfalls die konservative Therapie empfohlen (Beck und Mittlmeier 2008b). Eine 6-wöchige Teilbelastung oder Entlastung je nach Frakturmorphologie im Verbandsschuh mit harter Sohle, Walker oder Gips wird empfohlen. Operativ gibt es werden bevorzugt 2 Verfahren durchgeführt: die perkutane, antegrade, intramedulläre K-Draht-Osteosynthese (Beck und Mittlmeier 2008a) sowie die offene Reposition und Plattenosteosynthese. Hierbei zeigt sich

Erstere vorteilhaft aufgrund von verminderter Zugangsmorbidität. Zudem ist eine Reposition offen häufig aufgrund der umliegenden Metatarsalia erschwert. Die Indikation zur operativen Therapie am 1. und 5. Strahl wird deutlich großzügiger aufgrund der biomechanischen Bedeutung gestellt. Am 1. Strahl kommt dabei für dislozierte Schafffrakturen überwiegend die Plattenosteosynthese mit leicht plantarer Plattenlage und folglich verbesserter Weichteildeckung zum Einsatz. Gelenkfrakturen sollten wenn möglich rekonstruiert werden, bei komplexen Frakturformen sind aber auch die Fixateur-externe-Anlage sowie eine primäre Großzehengrundgelenk- oder TMT-1-Gelenkarthrodese denkbar. Im Bereich des Os metatarsale V sind distale Frakturen ähnlich wie Frakturen der mittleren Metatarsalia häufig konservativ therapierbar. Die proximalen Frakturen werden je nach Lokalisation in den oben beschriebenen Zonen unterschiedlich therapiert. In Zone 1 werden Frakturen bis zu einer Dislokation von unter 2 mm und einer Gelenkflächenbeteiligung von unter 30% konservativ behandelt mit schmerzadaptierter Vollbelastung in einer Orthese für 6 Wochen (Klos et al. 2019). Bei größerer Verschiebung wird die Avulsionsverletzung mittels Zuggurtung oder bei entsprechend großem Fragment mittels Schraubenosteosynthese versorgt. Eine konservative Therapie von Zone 2- und Zone 3-Frakturen ist nur bei komplett unverschobenen Frakturen denkbar, aber selbst dann eher die Ausnahme. Als operatives Verfahren der Wahl ist hier die intramedulläre Schraubenosteosynthese zu nennen, auch wenn in der Literatur teils die bikortikale Schraubenosteosynthese gegenüber dem intramedullären Verfahren vorteilhaft zu sein scheint (Moshirfar et al. 2003).

Eine einheitliche Empfehlung für metatarsale Frakturen ist schwer formulierbar, da die fünf Metatarsalknochen sich teilweise deutlich hinsichtlich ihrer anatomischen und funktionellen Umgebung im Bewegungsapparat unterscheiden. Daher entstehen in der Forschung häufig Einzelstudien zu speziellen Lokalisationen und Indikationen mit Ergebnissen, die sich nicht vereinheitlichen lassen. Diese Studie will einen Überblick über den aktuellen Stand der Nachbehandlung von metatarsalen Frakturen innerhalb der ersten sechs Wochen geben, den Versuch einer generellen Behandlungsempfehlung wagen und zudem die Nachbehandlung eines konservativen gegenüber der eines operativen Procederes vergleichen und diskutieren.

## **2.2 Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes**

Die Distorsion des Sprunggelenkes ist die häufigste Bandverletzung. Die lateralen Bandstrukturen des Sprunggelenkes sind hierbei in über 90% der Fälle, somit wesentlich häufiger betroffen als die medialen Kollateralbänder. Isolierte Bandverletzungen des medialen Bandapparates hingegen sind selten, die Inzidenz einer isolierten Syndesmosenverletzung wird mit 1-11% angegeben.

Verletzungen des Sprunggelenkes zählen unter den Sportverletzungen, den häuslichen Verletzungen wie auch den Arbeitsunfällen zu den Häufigsten (Hubbard-Turner et al. 2015; van Dijk 2002; Ferran und Maffulli 2006). Betrachtet man beispielsweise die Sportverletzungen, so machen Verletzungen des Außenband-Apparates am Sprunggelenk alleine 30% der Sportverletzungen aus. Sportarten wie Basketball, Volleyball, Fußball und Tanzen mit hohen Stoßbelastungen sind hier besonders gefährdet (Walther et al. 2013). Darunter haben weibliche Athleten ein zusätzlich erhöhtes Risiko (Hunt et al. 2017).

Als ursächlicher Verletzungsmechanismus von lateralen Bandverletzungen am Sprunggelenk wird in 85% der Fälle eine forcierte Supinations- und Inversionsbewegung des Fußes beschrieben. Anatomisch imponiert das anteriore tibio-fibulare Ligament (Abbildung 2) als das schwächste im gesamten Außenbandapparat und wird somit am häufigsten verletzt (Ferran und Maffulli 2006). Es ist in etwa zwei Drittel der Fälle betroffen.

Bandverletzungen werden üblicherweise in drei Schweregrade eingeteilt, die sich am Ausmaß der Instabilität orientieren (Walther et al. 2013). Bei zunehmender Instabilität spricht man von Distorsionen, Partialrupturen und kompletten Rupturen. Eine weitere Unterscheidung betrifft die Dauer der Instabilität, also eine akute oder eine chronische Verletzung.

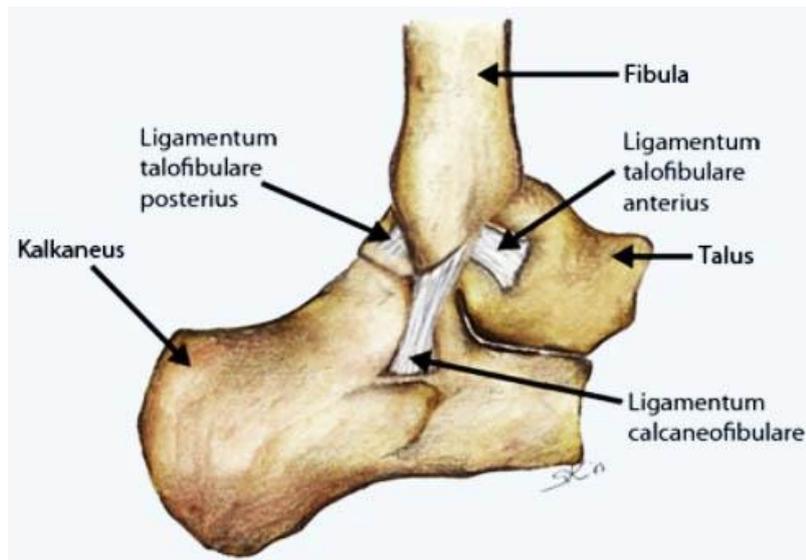


Abbildung 2: Lateraler Bandapparat am oberen Sprunggelenk (Walther, M.; Kriegelstein, S.; Altenberger, S. et al. (2013): Die Verletzung des lateralen Kapsel-Band-Apparats des Sprunggelenks. Unfallchirurg 116, 776–780)

Eine zielgerichtete Anamnese ist häufig bereits wegweisend. Fragen nach dem Verletzungsmechanismus, Schmerz, Funktionseinschränkung, früheren Bandverletzungen oder Beanspruchung des Sprunggelenkes im Sport und Alltag sind zielführend. Klinisch findet sich häufig eine deutliche Weichteilschwellung und Druckschmerz im Verlauf der verletzten Bandstruktur sowie ein Belastungsschmerz. Die Stabilität des Sprunggelenkes in allen Ebenen überprüft mittels Schubladentest, medialer und lateraler Aufklappbarkeit. Der Seitenvergleich ist hier ein wichtiger Referenzwert. Ab einer lateralen Aufklappbarkeit von über 45° beziehungsweise der radiologischen Taluskippung über 30° spricht man von einer sogenannten Luxatio pedis supinatoria und es ist von einer Verletzung aller drei Außenbänder auszugehen (Rammelt et al. 2011). Bildgebend werden konventionelle Röntgenbilder zum Ausschluss einer knöchernen Verletzung und Ausschluss einer Syndesomenverletzung durchgeführt, in Ausnahmefällen auch gehaltene Aufnahme zur Quantifizierung einer Sprunggelenksinstabilität. Eine Banddarstellung kann durch die Sonografie oder die MRT erfolgen, teilweise wird auch eine Arthroskopie beispielsweise bei chronischer Instabilität zur intraoperativen Bestimmung des Ausmaßes der ligamentären Verletzung durchgeführt.

Klares Therapieziel bei der Behandlung von Bandverletzungen ist eine Ausheilung beziehungsweise Rekonstruktion der Bandverletzung ohne Stabilitätsverlust. Bezüglich der Therapie zeigte eine große Übersichtsarbeit, dass ein Großteil dieser

Verletzungen aller Schweregrade durch konservative Therapie erfolgreich behandelbar ist und eine operative Therapieindikation nur individuell zu stellen ist (Petersen et al. 2013). Die konservative Therapie erfolgt heutzutage frühfunktionell. Das bedeutet, dass nach Konsolidierung der mitverletzten Weichteile durch abschwellende Maßnahmen eine schmerzadaptierte Vollbelastung in einer Knöchelorthese für 6 Wochen erfolgt. Anschließend wird die Stabilität des Sprunggelenkes durch propriozeptives Training, Muskelaufbau und Koordinationsschulung verbessert.

Bei Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes kann mittels operativer Versorgung zwar eine möglicherweise exaktere Adaption der Bandenden erreicht werden, das Outcome ist aber bezüglich der Funktionalität der oben beschriebenen frühfunktionellen konservativen Therapie nicht überlegen. Die Indikation zur operativen Versorgung wird bei vermehrter lateraler Aufklappbarkeit von mehr als 30° beziehungsweise Ruptur aller drei Bandanteile des Außenbandkomplexes gestellt. Schweregrad der Verletzung, Voroperationen, Compliance und Alter müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Bei den operativen Verfahren ist zu erwähnen, dass sich anatomische Rekonstruktionen des Außenbandapparates am Sprunggelenk beispielweise nach Broström gegenüber Tenodeseverfahren mit signifikant besseren Langzeitergebnissen durchgesetzt haben (Krips et al. 2001). Es erfolgt die fibuläre Kapsel-Band-Naht durch Einzelknopf- beziehungsweise U-Naht in Pronationsstellung beziehungsweise transossäre Refixation der Bandanteile am Talus und Kalkaneus mittels Fadenankern oder transossären Nähten.

Leider scheint es, dass die mögliche Schwere der Außenbandverletzung auch heute noch im Rahmen der Therapie und Nachbehandlung unterschätzt wird, was chronische Instabilitäten, chronische Schmerzen und muskuläre Defizite im Bereich des Sprunggelenkes zur Folge hat (Ferran und Maffulli 2006). Daher möchte diese Studie den Status Quo der aktuell praktizierten Nachbehandlung feststellen, um mögliche Fehlrends aufzudecken und mögliche oben genannte Komplikationen zu minimieren. Die Ergebnisse werden zudem mit der aktuellen Datenlage in der Literatur diskutiert werden.

### **2.3 Osteochondrale Transplantation im oberen Sprunggelenk**

Als Osteochondrosis dissecans wird eine Verletzung des Gelenkknorpels und des darunter liegenden subchondralen Knochens definiert. Da allerdings keine wissenschaftliche Arbeit bisher eine eindeutige Ätiologie solcher Verletzungen beweisen konnte, spricht man neutralerweise von einer osteochondralen Läsion. Die osteochondrale Läsion im Wachstumsalter wird zu den aseptischen Knochennekrosen gezählt. Sie betrifft hauptsächlich Jugendliche und junge Erwachsene. Männer sind deutlich häufiger betroffen als Frauen (Weiss et al. 2018), bei der juvenilen Form sind es doppelt so viele Jungen wie Mädchen (Robertson et al. 2003). Sportliche Aktivität scheint das Auftreten zu begünstigen (Hughston et al. 1984). Pathogenetisch beginnt die osteochondrale Läsion mit einer subchondralen Osteonekrose. In der Folge demarkiert sich die Läsion und es bilden sich Sklerosesäume an der Grenze zum gesunden Knochen zirkulär. Durch weitere Belastung löst sich schließlich ein chondrales oder osteochondrales Fragment in das Gelenk ab. Diese werden freie Gelenkkörper genannt und können Bewegungseinschränkungen und weitere Knorpelschäden im Gelenk bis hin zur Arthrose verursachen.

Osteochondrale Läsionen des Gelenkknorpels sind nicht in allen Gelenken gleichmäßig oft vorkommend. Sie sind insbesondere an den Femurkondylen und dem Capitulum humeri zu finden. Das obere Sprunggelenk ist mit 4% das Gelenk mit dem dritthäufigsten Vorkommen (Santrock et al. 2003). Es sind bevorzugt konvexe Gelenkflächen betroffen, so ist auch im oberen Sprunggelenk der lasttragende Teil des Talus fast ausschließlich betroffen (Berndt und Harty 1959). Diese Arbeit konzentriert sich auf die osteochondrale Läsion des Talus. Es finden sich am Talus fast ausschließlich zwei Lokalisationen: die anterolaterale Talusschulter mit fast 42% der Läsionen und nahezu immer traumatisch bedingter Genese sowie der posteromediale Talus mit nahezu 58% der Läsionen, an dem eine osteochondrale Läsion aber neben einer traumatischen Genese auch oftmals mit einer chronischen Instabilität des oberen Sprunggelenkes und einer fokalen Überbelastung bei schwachem Fußgewölbe vergesellschaftet ist (Berndt und Harty 1959; Flick und Gould 1985; Canale und Kelly 1978).

Die genaue Ursache zur Entstehung der osteochondralen Läsion ist bis heute nicht geklärt. Es befinden sich aber 4 Faktoren in der Diskussion: Chronische ligamentäre

Instabilitäten des oberen Sprunggelenkes (Hintermann et al. 2002), das akute Trauma, Fehlstellungen im Rückfuß (Pagenstert et al. 2007) und Minderdurchblutung (Horst et al. 2004). Eine genetische Prädisposition zur Entwicklung einer osteochondralen Läsion konnte in den meisten Fällen nicht nachgewiesen werden, auch wenn Einzelberichte ein gehäuftes Auftreten in Familien dokumentieren (Mubarak und Carroll 1979). In der Literatur gibt es Schätzungen, dass etwa bei 6,5% der Distorsionen des oberen Sprunggelenkes eine akute chondrale oder osteochondrale Läsion auftritt (Verhagen et al. 2005). Neben akuten Läsionen können Sprunggelenksdistorsionen auch chronische ligamentäre Instabilitäten verursachen, die zu Scherkräften und lokalen Überbelastungen des Knorpels führen können. So konnten arthroskopisch in 66-98% der Fälle bei Vorliegen einer chronischen ligamentären Instabilität fokale Knorpelläsionen diagnostiziert werden (Hintermann et al. 2002). Ähnlich führt eine Varus- oder Valgusfehlstellung im Rückfuß zu biomechanischen Veränderungen im Sprunggelenk und wohl ähnlichen Läsionen. Weiterhin besteht die These, dass auch repetitive Belastungen Stressreaktionen im subchondralen Knochen hervorrufen und hier lokal eine Stressfraktur entsteht. Unter fortlaufender Belastung ist eine Heilung nicht möglich, was die Nekrosebildung und Dissektion bewirkt (Flynn et al. 2004). Es wurde beobachtet, dass eine Selbstheilungstendenz mit zunehmendem Alter abnimmt.

Die klinische Symptomatik einer osteochondralen Läsion tritt gelegentlich verzögert zur Entstehung der morphologischen Läsion auf. Ein hinkendes Gangbild, Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk sowie Belastungs- oder auch Ruheschmerz über mehrere Monate sind typisch. Eine deutliche Beschwerdezunahme ist häufig mit dem zunehmenden Verlust der chondralen Deckung des Defekts korrelierbar. Bei bereits bestehendem freiem Gelenkkörper lässt sich ein variables Einklemmungsphänomen beobachten. Gelenkergüsse können eine Begleiterscheinung sein, bei bereits zunehmender Arthrose kommen typische Anlaufschmerzen hinzu.

Radiologisch ist das konventionelle Röntgenbild des Sprunggelenkes in zwei Ebenen die primäre nicht-invasive Bildgebung. Es kann allerdings lediglich fortgeschrittene Stadien abbilden und diese auch nicht beweisen. Der nicht-invasive Goldstandard in der Diagnostik von osteochondralen Läsionen ist die MRT mit einer sehr guten Sensitivität und Spezifität. Auch eine CT kann den knöchernen Teil der

osteocondrale Läsionen teils der MRT ebenbürtig abbilden (Verhagen et al. 2005). In der invasiven Bildgebung ist die Arthroskopie führend. Vorteilhaft ist, dass nicht nur die Größe der Läsion, sondern auch Stabilität und Verankerung sowie begleitende Bandinstabilitäten dokumentiert werden können.

Zur Einteilung wurden verschiedene Klassifikationen entwickelt, die sich aber alle auf eine Beschreibung der osteochondralen Läsion beschränken müssen, da über die genaue Pathogenese zu wenig Evidenz vorhanden ist. Weit verbreitet ist die Einteilung nach Berndt und Harty in 4 Stadien, welche 1999 von Hepple und seinen Kollegen weiterentwickelt wurde (Hepple et al. 1999). In Stadium 1 liegt lediglich ein chondraler Defekt vor. Stadium 2a setzt sich aus einem Knorpelschaden mit darunterliegender Fraktur und Knochenmarksödem zusammen. Stadium 2b entspricht Stadium 2a abzüglich des Ödems. Ein bereits isoliertes Fragment, welches aber noch im „Mausbett“ liegt, kennzeichnet Stadium 3. In Stadium 4 disloziert das Fragment als freier Gelenkkörper. Stadium 5 beschreibt eine subchondrale Knochenzyste (Abbildung 3).

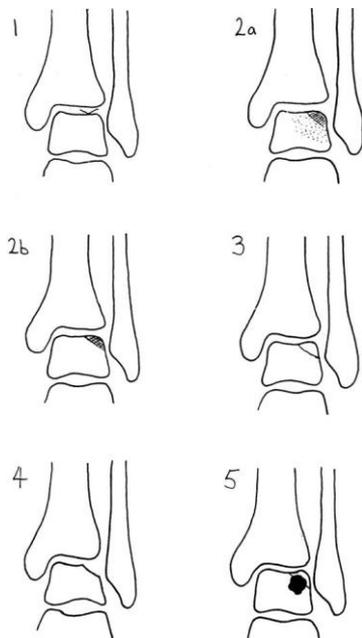


Abbildung 3: Klassifikation der OCL (Hepple, S.; Winston, IG; Glew, D. Osteochondral lesions of the talus: a revised classification. Foot Ankle Int 1999;20(12):789–93)

Die Therapiemöglichkeiten sind sehr vielfältig und richten sich insbesondere nach den folgenden Faktoren: Größe des Defektes und Alter des Patienten. Eine konservative Therapie ist überwiegend Läsionen bei Kindern und Jugendlichen sowie

kleinen, nicht weit fortgeschrittene Läsionen in Stadium 1 oder 2 beim Erwachsenen vorbehalten (Valderrabano und Leumann 2009). Effekte einer konservativen Therapie auf die Gelenkpathologie sind wenig erforscht. Zur Schmerzlinderung werden Ruhigstellung und Vermeidung sportlicher Belastung sowie die Einnahme von nichtsteroidalen Antiphlogistika empfohlen. Zuletzt konnte für die Injektion von Hyaluronsäure intraartikulär eine längerfristige Verbesserung der Schmerzen nachgewiesen werden (Migliore et al. 2011; Witteveen et al. 2008). Mögliche ursächliche ligamentäre Instabilitäten können durch Physiotherapie verbessert werden.

Operative Verfahren kommen bei Jugendlichen und Erwachsenen primär bei ausgedehnteren Defekten oder sekundär nach kurzem erfolglosem konservativem Therapieversuch zur Anwendung. Dies ist durch das äußerst geringe Regenerationspotential des reifen Knorpels zu erklären. Zu den operativen Möglichkeiten zählen verschiedene arthroskopische und offene Verfahren wie Refixation des Fragments, Debridement, Fragmententfernung und Kürretage, Knochenmarkstimulation durch Mikrofrakturierung oder Anbohrungen, autologe Matrix-induzierte Chondrozytogenese (AMIC) sowie Transplantation einer autologen gezüchteten Knorpelmatrix oder von Knorpel-Knochen-Zylindern (Looze et al. 2017; Aurich et al. 2017). Langzeitergebnisse sind für jegliche Therapieoption nicht ausreichend validiert durch Studien.

Die osteochondrale autologe Knorpel-Knochen-Transplantation (OATS) ist heutzutage eine immer wichtiger werdende Behandlungsoption von größeren osteochondralen Defekten oder Osteonekrosen am Talus. Hierfür werden im Rahmen einer ipsilateralen Kniegelenksarthrotomie Knorpel-Knochen-Zylinder aus dem lateralen Femurkondylus entnommen und in die bereits ausgestanzten Zylinder im Bereich der Talusdefektzone eingesetzt. Diese Technik ist für Defekte mit einer Größe von bis zu 3cm<sup>2</sup> möglich (Martinek et al. 2003). Viele aktuelle Studien belegen, dass dieses Verfahren insbesondere kurzfristig vielversprechende Ergebnisse erzielt (Baltzer und Arnold 2005; Hangody et al. 2010; Kennedy und Murawski 2011; Scranton et al. 2006; Schöttle et al. 2001).

Neben Art der operativen Versorgung ist ein ebenso wichtiger Bestandteil der Therapie ein adäquates Nachbehandlungsprozedere. Hier ist die Datenlage in der Literatur ebenfalls sehr spärlich. Daher will diese Studie im Falle der Knorpel-

Knochen-Transplantation am Talus eine Übersicht über die aktuell im klinischen Alltag umgesetzten Nachbehandlungsregimes geben will. Zudem soll anhand der vorhandenen Literatur ein Abgleich und eine Diskussion des derzeitigen Nachbehandlungsstandards erfolgen und eine Aussage bezüglich der Frühfunktionalität des Verfahrens getroffen werden.

## **2.4 Arthrodesen des Sprunggelenkes**

Arthrose betrifft Schätzungen nach sicherlich mehr als 100 Millionen Menschen weltweit und ist somit eines der häufigsten Krankheitsbilder (Murray et al. 2012). Bei Erwachsenen im Alter von über 60 Jahren wird die Prävalenz der symptomatischen und radiologisch nachweisbaren Arthrose auf 10% bei Männern und 18% bei Frauen geschätzt. Zudem wird angenommen, dass im Rahmen der steigenden Lebenserwartung und Alterung der Weltbevölkerung die Inzidenz der Arthrose noch deutlich zunehmen wird (Woolf und Pfleger 2003). Insbesondere Hüfte und Knie als große Gelenke der unteren Extremität sind betroffen aufgrund der langjährigen Belastung durch den aufrechten Gang. An der oberen Extremität ist insbesondere das Schultergelenk betroffen. Die Häufigkeit von Arthrose des oberen und unteren Sprunggelenkes in der Bevölkerung ist wenig untersucht, klinischen Erfahrungen und Beobachtungen nach ist sie signifikant niedriger als Arthrose im Knie- oder Hüftgelenk (Thomas und Daniels 2003). Eine schmerzhafte Arthrose im oberen Sprunggelenk betrifft in Nordamerika etwa 1% der erwachsenen Bevölkerung (Glazebrook et al. 2008).

Arthrosen im Bereich des oberen und unteren Sprunggelenkes sind überwiegend posttraumatischer Genese (Valderrabano et al. 2009a; Saltzman et al. 2005), fehlerverheilte Frakturen (Goost et al. 2014) und wiederholte ligamentäre Verletzungen (Valderrabano et al. 2006) sind mögliche Einflussfaktoren. Deutlich seltener finden sich als Ursache von sekundären Arthrosen eine chronische Arthritis, avaskuläre Nekrose, Hämophilie, Hämochromatose, Gicht oder postinfektiöse Zustände (Barg et al. 2013a; Egloff et al. 2013).

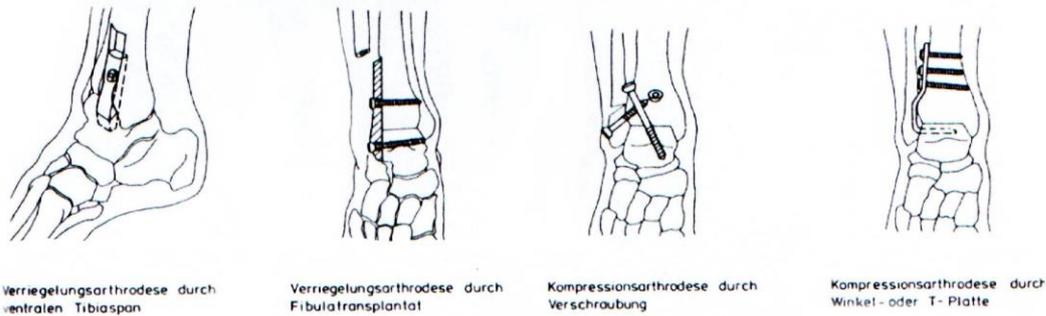
Anamnestisch ist bei Patienten mit Arthrose im oberen oder unteren Sprunggelenk ein belastungsabhängiger Schmerz typisch, bei fortgeschrittener Erkrankung auch ein Ruheschmerz. Auch ein Anlaufschmerz wird häufig genannt sowie ein zurückliegendes Trauma. Klinisch imponiert meist eine Bewegungseinschränkung im Seitenvergleich sowie eine Schwellneigung periartikulär. Teilweise sind begleitend Rückfußfehlstellungen und ligamentäre Instabilitäten dokumentierbar.

In der apparativen Diagnostik ist das konventionelle Röntgenbild der Goldstandard. Zur präzisen Therapieplanung werden Aufnahmen des Sprunggelenkes in zwei Ebenen, des Fußes seitlich und dorsoplantar sowie des Rückfußes in Form der Saltzman-Aufnahme empfohlen.

In der Behandlung der Sprunggelenksarthrose wird initial ein konservatives Therapieprozedere mit intensiver Physiotherapie, physikalischer Therapie und medikamentöser Einnahme von NSAR empfohlen. Dies wird bedarfsweise auch durch intraartikuläre Injektion von Hyaluronsäure oder Anpassung von orthopädischem Schuhwerk unterstützt (Barg et al. 2013b; Schmid und Krause 2013). Bei Fortschreiten der Erkrankung gibt es verschiedene gelenkerhaltende Verfahren wie arthroskopisches Debridement und Mikrofrakturierung, die osteochondrale Transplantation, die Distraktions-Arthroplastie oder auch die supramalleoläre Osteotomie. Diese Verfahren sind beschränkt auf jeweilige spezielle Indikationen und Voraussetzungen (Ewalefo et al. 2018).

Bei den gelenkersetzenden und -versteifenden Verfahren besteht seit einigen Jahren eine rege Diskussion. Weiterhin bestehender Goldstandard mit dem besten Outcome ist die Arthrodesse des oberen Sprunggelenkes, während die Sprunggelenktotalendoprothese zunehmend bessere Ergebnisse erzielt und ständig weiterentwickelt wird. Derzeit ist die Empfehlung zur Totalendoprothese individuell zu stellen (Maffulli et al. 2017; Morash et al. 2017; Lawton et al. 2017). In der vorliegenden Studie wird der Fokus auf die Arthrodesse des oberen Sprunggelenkes gelegt. Als Grundprinzipien einer suffizienten Arthrodesse werden eine hohe Primärstabilität, eine gute knöcherne Verbindung der ehemaligen Gelenkflächen idealerweise unter Kompression und eine korrekte Achseinstellung im oberen Sprunggelenk angesehen (Charnley 1951; Scranton 1985, 1991; DeHeer et al. 2012; Bowers et al. 2009). Aus den vielen Operationstechniken für die Arthrodesse am oberen Sprunggelenk (Abbildung 4) fanden die Kompressionsarthrodesen am weitesten Verbreitung (Mittelmeier und Nizard 1981; Clifford et al. 2015). In der früheren Literatur konnten für die interne Kompressionsarthrodesse den externen Verfahren gegenüber Vorteile in Bezug auf Patientenzufriedenheit, Komplikationsrate und Stabilität der Versorgung aufgezeigt werden (Biz et al. 2017; Breitfuß et al. 1989; Scranton 1991; Thermann et al. 1996). Heutzutage ist dies kontrovers diskutiert, nicht zuletzt aufgrund guter Ergebnisse mit einem Ilizarov-Ringfixateur, insbesondere bei komplexen Verläufen (Karapinar et al. 2009; ElAlfy et al. 2017; Eylon et al. 2007).

### Interne OSG - Arthrodesen



### Externe OSG - Arthrodesen

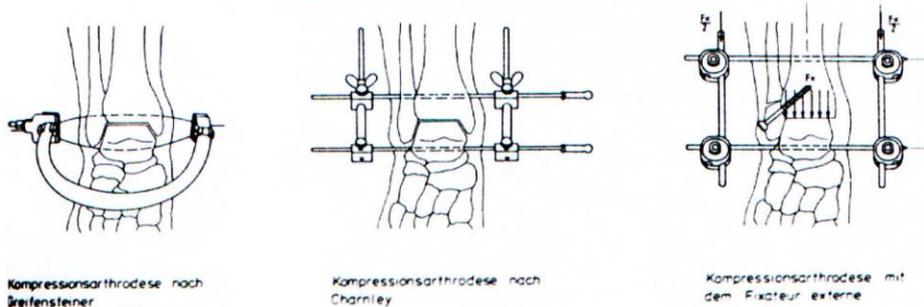


Abbildung 4: Beispiele für Arthrodeseverfahren am OSG (Blömer, W.; Ungethüm, M.; Stuhler, Th. (1994): Vergleichende mechanische Untersuchungen verschiedener Fixateur externe Montagen; In: Stuhler, Th.(Hrsg): Arthrodesen, Thieme Stuttgart NewYork, 229-236

Therapie der Wahl bei isolierter Arthrose im unteren Sprunggelenk ist die Versteifung oder Arthrodesese. Bei korrekter Indikationsstellung ist sie ein effektives Verfahren um klinische Symptome zu lindern, Achsabweichungen zu korrigieren und die Funktionalität zu verbessern (Greisberg und Sangeorzan 2007; Mann 2007). Es wurden zahlreiche Operationstechniken, Zugänge und Fixierungsmöglichkeiten entwickelt. Die Arthrodesese kann offen wie auch arthroskopisch assistiert erfolgen, letzteres ist bei der Indikationsstellung begrenzt auf weniger ausgeprägte Achsabweichungen und geringe Verluste an Knochensubstanz (Ferrao et al. 2016). Bei den Zugangswegen lassen sich die Sinus-tarsi-Inzision, die mediale Inzision und der erweiterte laterale Zugang je nach vorhandener Pathologie unterscheiden (Vulcano et al. 2015). Für die Befestigung der Gelenkkompartimente werden überwiegend lange kanülierte Schrauben verwendet, Alternativen sind Kompressionsklammern und Spezialimplantate. Die Fusionsraten unterscheiden sich

nicht wesentlich, das funktionelle Outcome ist bei Verwendung der kanülierten Schrauben aber signifikant besser (Herrera-Pérez et al. 2015).

Bezüglich der postoperativen Nachbehandlung der verschiedenen Verfahren für die Arthrodesse des oberen oder unteren Sprunggelenkes lässt sich in der Literatur wenig finden. In dieser Studie wird die These aufgestellt, dass trotz verschiedener Arthrodeseverfahren die Nachbehandlung relativ einheitlich und sehr zurückhaltend erfolgt. Dies soll durch die vorliegende Studie evaluiert werden. Ergänzend wird der Einfluss der unmittelbaren postoperativen Nachbehandlung auf mögliche Komplikationen wie Pseudarthrosenbildung und Achsabweichung diskutiert.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Studiendesign**

Zur Erfassung des aktuellen Nachbehandlungsprozederes bei verschiedenen Verletzungsbildern des Sprunggelenkes und des Mittelfußes wurden Schemata erstellt, die über einen Zeitraum von 6-8 Wochen nach Verletzung beziehungsweise Operation diverse Einflussgrößen betrachten. Zu diesen Einflussgrößen zählen die Wahl der Orthese, die Belastung und das erlaubte Bewegungsausmaß des betroffenen Fußes sowie die Anwendung von Physiotherapie. Die Schemata sind von unfallchirurgisch-orthopädischen Institutionen hinsichtlich ihrer institutionseigenen Richtlinien ausgefüllt worden und befinden sich in deren klinischer Verwendung. Von 213 dieser Einrichtungen ist ihr ausgefülltes Nachbehandlungsschema zur Erstellung dieser Arbeit zur Verfügung gestellt worden, anschließend deskriptiv und, soweit sinnvoll, statistisch ausgewertet. Berücksichtigt wurden Nachbehandlungskonzepte nur bei Vollständigkeit hinsichtlich eines Verletzungsbildes. Untersuchte Verletzungsbilder dieser Arbeit sind Metatarsale-Frakturen, einschließlich einer Differenzierung von Metatarsale-5- und Jones-Frakturen, osteochondrale Transplantationen, Arthrodesen sowie Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes. Im Folgenden wird anhand eines Beispiels der Aufbau eines der analysierten Schemas erläutert.

#### **3.2 Aufbau der analysierten Nachbehandlungsschemata**

Als Darstellungsform der analysierten Nachbehandlungsschemata wurde die Tabelle gewählt. In der Horizontalen wird der zeitliche Verlauf in Form von einzelnen Wochen ab der Verletzung beziehungsweise der Operation aufgetragen. Die Distanz für jede Woche ist gleich lang und es werden in der Regel 6-8 Wochen berücksichtigt. Für jedes Verletzungsbild werden hier wochenweise die empfohlene Belastung des Fußes farblich, die empfohlene Immobilisation beziehungsweise das erlaubte Bewegungsausmaß des Fußes und die Empfehlung zur physiotherapeutischen Anwendung grafisch dargestellt (Abbildung 5). Bei zusätzlichem Erklärungsbedarf ist es auch möglich, dass die ausfüllende Institution eine textliche Anmerkung in die Felder der Horizontalen einfügt.

| Behandlungswoche         |  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|--------------------------|--|---|---|---|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> | Metatarsale V Basisfraktur operativ    |  |  |  |  |  |  |
| <input type="checkbox"/> | Metatarsale V Basisfraktur konservativ |  |   |   |   |   |   |

Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung eines Nachbehandlungsschemas am Beispiel der Metatarsale-5-Basisfraktur

Auf der Vertikalen werden die einzelnen Verletzungsbilder und Operationen aufgereiht. Diese werden nach Verwendung der unterschiedlichen Orthesen sortiert wie im Beispiel die metatarsalen Frakturen mit dem VACOpedes® und die Außenbandverletzungen am oberen Sprunggelenk mit dem VACOankle® (Abbildung 6). Je breiter das Spektrum an angebotenen Operationen ist beziehungsweise je mehr Verletzungsbilder von einer Einrichtung versorgt werden, desto umfangreicher ist das Schema. In jeder Zeile eines Verletzungsbildes beziehungsweise einer Operation ist ein leeres Kästchen integriert. Dieses kann im klinischen Alltag bei Vorliegen einer entsprechenden Verletzung angekreuzt werden und dem Patienten als Orientierung und Information für die anstehende weitere Nachbehandlung ausgehändigt werden (Abbildung 6).

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/>     | Metatarsale V Basisfraktur operativ    |
| <input type="checkbox"/>     | Metatarsale V Basisfraktur konservativ |
| <b>VACO<sup>®</sup>pedes</b> |  |
| <input type="checkbox"/>     | Metatarsale Frakturen                  |
| <b>VACO<sup>®</sup>ankle</b> |  |
| <input type="checkbox"/>     | OSG Bandverletzung                     |

Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung eines Nachbehandlungsschemas

Die genaue Zuordnung der oben erwähnten grafischen und farblichen Darstellung zu der zu untersuchenden Einflussgrößen wird am Ende eines jeden Nachbehandlungsschemas mit Hilfe einer Legende erläutert. Im Sinne einer klassischen Ampel-Farbgebung wird die erlaubte Belastung des Fußes dargestellt. Das erlaubte Bewegungsausmaß wird durch ein Kuchendiagramm, Gradzahlen sowie Pfeile veranschaulicht. Die Empfehlung zur Physiotherapie findet sich in Form eines Känguruhs auf dem Schema wieder (Abbildung 7).

Komplettiert wird jeder Nachbehandlungsbogen mit der Erwähnung der ausfüllenden Institution und gegebenenfalls der dort verantwortlichen Ärzte.



Abbildung 7: Beispielhafte Darstellung der Legende eines Nachbehandlungsschemas

### 3.3 Einflussgrößen der Nachbehandlung

#### 3.3.1 Wahl der Orthese

Im Rahmen der Nachbehandlungen, die in dieser Arbeit analysiert werden, kommen vier unterschiedliche Orthesenmodelle zum Einsatz. Diese sind wie oben erwähnt in den jeweiligen Nachbehandlungsschemata entsprechend gekennzeichnet. Repräsentativ für die Vielfalt an Orthesenmodellen der jeweiligen Kategorie werden in dieser Analyse die Produkte der Firma OPED® verwendet.

Die erste Orthese ist sprunggelenksübergreifend und unterschenkelhoch. Das entsprechende Produkt der Firma OPED® ist der VACOped®. Den Namen erhält die Orthese von einem Vakuumkissen, dass es der Orthese ermöglicht, sich an Fuß und Unterschenkel passgenau anzulegen (Abbildung 8).



Abbildung 8: VACOped® der Firma OPED®

Das Bewegungsausmaß, im Folgenden auch als range of motion oder ROM bezeichnet, ist im Bereich des oberen Sprunggelenkes mit Hilfe von zwei Stoppern im Bereich von  $-15^\circ$  Dorsalextension bis  $+30^\circ$  Plantarflexion individuell in  $5^\circ$ -Schritten einstellbar. Werden die beiden Stopper auf die gleiche Gradzahl eingestellt, so ist das Sprunggelenk mit dieser Gradzahl fixiert (Abbildung 9).



Abbildung 9: Mögliches Bewegungsausmaß des VACOped® der Firma OPED®

Ist eine Immobilisation des Sprunggelenkes in einem anderen Winkel als der natürlichen 90°-Stellung nötig, so kann der entstehende Fersen-Boden-Abstand mit Hilfe einer sogenannten Achill-Keilsohle aufgefüllt werden. Somit ist ein stabiler Bodenkontakt möglich. Bei OPED® wird diese Erweiterung unter der Bezeichnung VACOped® Achill im Sortiment geführt (Abbildung 10).



Abbildung 10: VACOPed® Achill der Firma OPED®

Da bei Verletzungen und Operationen des Fußes ohne Beteiligung des Unterschenkels eine unterschenkelhohe Orthese nicht notwendig ist, findet hier der knöchelhohe VACOPedes® seine Verwendung. Er zeichnet sich durch eine gute Entlastung des Vorfußes aus. Eine range of motion Festlegung im Sprunggelenk ist hier aufgrund der Kürze im Unterschenkelbereich nicht mehr möglich und sinnvoll (Abbildung 11).



Abbildung 11: VACOPedes® der Firma OPED®

Beeinträchtigt die Verletzung beziehungsweise Operation lediglich die mediale und laterale Stabilität des Sprunggelenkes, so dient eine beidseits seitliche Schienung bei freigegebener Dorsalextension und Plantarflexion als Orthese der Wahl. In der Produktpalette der Firma OPED® wird das entsprechende Modell als VACOankle® bezeichnet (Abbildung 12).



Abbildung 12: VACOankle® der Firma OPED®

### 3.3.2 Belastung

Die Belastung eines Beines beziehungsweise Fußes ist in der Medizin grundlegend in vier Belastungsstufen unterteilt. Sortiert man diese von geringer Last aufsteigend so spricht man von Entlastung, Teilbelastung beziehungsweise Sohlenkontakt, Belastung mit halbem Körpergewicht sowie Vollbelastung. Je nach Körpergewicht eines Patienten ergeben sich aus diesen grundlegenden Aussagen individuell erlaubte Lasten. Daher legt man im Allgemeinen die Teilbelastung auf einen Wert zwischen 0 und 20 Kilogramm und das halbe Körpergewicht mit mehr als 20 Kilogramm fest (Tabelle 1).

Tabelle 1: Abstufung der Belastung:

| <b>Entlastung</b> | <b>Teilbelastung/Sohlenkontakt</b> | <b>Belastung mit<br/>halbem<br/>Körpergewicht</b> | <b>Vollbelastung</b> |
|-------------------|------------------------------------|---|----------------------|
| 0kg               | $0 \leq ; \leq 20\text{kg}$        | $\geq 20\text{kg}$                                | Keine Einschränkung  |

Diese Belastungsstufen sind in den Nachbehandlungsschemata farblich mit Hilfe der Ampel-Farben dargestellt (Abbildung 5). Allerdings ist diese Variable von den unterschiedlichen Institutionen nicht konsequent gleichfarbig markiert worden, so dass im Einzelfall immer die individuelle Legende des entsprechenden Nachbehandlungsbogens zur Beurteilung herangezogen werden muss (Abbildung 7).

### **3.3.3 Bewegungsausmaß**

Grundlegend wird das empfohlene Bewegungsausmaß in die Immobilisation und die Mobilisation eingeteilt. Eine Immobilisation findet immer in einem festgelegten Winkel, meistens der natürlichen 90°-Stellung des Sprunggelenkes statt. Diese 90°-Stellung wird in den verwendeten Nachbehandlungsbögen mit der Gradzahl 0° festgesetzt. Jede abweichende Gradzahl zeigt mit einem „-“ (minus) für Dorsalextension und „+“ (plus) für Plantarflexion die Richtung der Abweichung an.

Mobilisation ist definiert als die Freigabe einer Bewegung in einem Gelenk in einem bestimmten Bewegungsausmaß, der range of motion oder ROM. In den verwendeten Orthesen ist diese in 5° Schritten von -15° Dorsalextension bis zu +30° Plantarflexion möglich.

Die grafische Umsetzung des Bewegungsausmaßes in den analysierten Nachbehandlungsschemata sowie die medizintechnische Umsetzung der Einstellungsmöglichkeiten an den in dieser Arbeit verwendeten Orthesen sind oben beschrieben.

### **3.3.4 Physiotherapieempfehlung**

Physiotherapie ist ein wesentlicher Bestandteil einer konservativen oder operativen Nachbehandlung. Durch sie wird die Wiedererlangung der Beweglichkeit sowie die

Kräftigung der umgebenden Muskulatur bis zur idealerweise vollständigen Rekonvaleszenz des Bewegungsapparates gewährleistet. Sie wird in vielen der analysierten Nachbehandlungsbögen berücksichtigt. Die inhaltliche Schwerpunktsetzung der Physiotherapie im zeitlichen Verlauf sowie eine detaillierte Beschreibung der Inhalte ist nicht Teil dieser Auswertung. Die grafische Umsetzung in den Schemata ist oben beschrieben.

### **3.3.5 Sohlenzusatz**

Die oben in der Vorstellung der verwendeten Orthesen bereits erwähnte Keilsohle wird in Zusammenhang mit der unterschenkelhohen Orthese im Falle einer Immobilisation in einem Spitzfußwinkel des Sprunggelenkes eingesetzt. Sie ermöglicht durch Auffüllen des erweiterten Fersen-Boden-Abstandes einen stabilen Gang und Stand. Sie ist wie oben beschrieben in den Nachbehandlungsschemata entsprechend grafisch markiert.

## **3.4 Thematische Gruppierung der Nachbehandlungsrichtlinien**

Bei der statistischen Auswertung der Daten wurden die analysierten Krankheitsbilder systematisch untergliedert, um die Ergebnisse detaillierter auswerten und spezifischer diskutieren zu können. Diese Systematik war abhängig davon, ob die mitwirkenden Institutionen bezüglich der Therapie einer Verletzung in den Nachbehandlungsschemata nach konservativem und operativem Vorgehen unterschieden (Tabelle 2). Bei metatarsalen Frakturen nimmt die Metatarsale-5-Fraktur eine Sonderstellung aufgrund eines anderen Klassifikationssystems zur Therapieeinleitung ein. Daher wurden in vielen der analysierten Institutionen die metatarsalen Frakturen der Strahlen I bis IV unter „Metatarsale Fraktur“ zusammengefasst und in konservatives und operatives Therapieregime unterteilt. Die Metatarsale-5-Fraktur wurde in einerseits die Metatarsale-5-Basisfraktur, andererseits die Jones-Fraktur eingeteilt, diese jeweils wiederum in konservativ und operativ. Diese Einteilung ist in einem wesentlichen Therapieunterschied aufgrund der Lokalisation des Bruches begründet. Die Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes werden lediglich in konservatives und operatives Vorgehen unterteilt. Die Nachbehandlungen der osteochondralen Transplantation und der

Arthrodese des oberen und unteren Sprunggelenkes werden ebenfalls analysiert. Es handelt sich im Gegensatz zu den vorher analysierten Verletzungen um ein definiertes Operationsverfahren zur Behandlung von osteochondralen Läsionen des Sprunggelenkes beziehungsweise austherapierter, hochgradiger Sprunggelenksarthrose. Daher entfällt eine konservative Therapie.

Tabelle 2: Übersicht über die analysierten Verletzungsbilder und Therapieverfahren

|  |   |
|--|---|
| Metatarsale Fraktur                            | Metatarsale-V-Basisfrakturen konservativ<br>Metatarsale-V-Basisfrakturen operativ<br>Jones-Frakturen konservativ<br>Jones-Frakturen operativ<br>Metatarsale Frakturen konservativ<br>Metatarsale Frakturen operativ |
| Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes       | Außenbandverletzungen konservativ<br>Außenbandverletzungen operativ   |
| Osteochondrale Transplantation im Sprunggelenk | Osteochondrale Transplantation  |
| Arthrodese des Sprunggelenkes                  | Arthrodese Unteres Sprunggelenk<br>Arthrodese Oberes Sprunggelenk   |

### 3.5 Erfassung der Daten

Die Erfassung der Daten erfolgte durch tabellarische Auflistung der Ergebnisse der vorliegenden Nachbehandlungsschemata. Hierfür wurden im Statistik-Programm SPSS® die behandelnden Einrichtungen untereinander zeilenweise eingetragen.

Zu den zu analysierenden Parametern wurden entsprechende Variablen und Werte definiert. Im Anschluss erfolgte das zeilenweise Auftragen der verschiedenen Variablen gemäß der untenstehenden Tabelle (Tabelle 3) mitsamt des dem Nachbehandlungsschema entsprechenden Wert. Die Variablen für Belastung, Bewegungsumfang und Physiotherapie wurden wochenweise aufgereiht. Diese drei Variablen wurden bei bestehender Unterscheidung zwischen operativer und konservativer Orthesenversorgung zusammen mit den Variablen Wahl der Orthese, Dauer der Orthesenversorgung und Belastung separat eingetragen.

Tabelle 3: Übersicht über die analysierten Parameter mit ihren Variablen und Werten

| <b>Parameter</b>                               | <b>Variablen</b>                               | <b>Werte</b>   |
|--|--|--|
| Charakterisierung der behandelnden Einrichtung | Art der Behandlungseinrichtung                 | Klinikum<br>Uniklinikum<br>Ambulante Einrichtung   |
| Fachrichtung der behandelnden Einrichtung      | Orthopädie/Unfallchirurgie                     | Orthopädie<br>Unfallchirurgie<br>Orthopädie und Unfallchirurgie  |
| Verfügbarkeit der Protokolle                   | Behandlungsschema                              | Vorhanden<br>Keines  |
| Unterscheidung bezüglich der Primärversorgung  | Unterscheidung operativ/konservativ            | Ja<br>Nein   |
| Verfügbarkeit spezifiziert                     | Behandlungsschema vorhanden konservativ        | Vorhanden<br>Keines  |
| Verfügbarkeit spezifiziert                     | Behandlungsschema vorhanden operativ           | Vorhanden<br>Keines  |
| Wahl der Orthese                               | Behandlungsmethode                             | VACOped®<br>VACOpedes®<br>VACOankle®<br>VACOped® achill<br>VACOped® + VACOpedes®<br>VACOped® + VACOped® achill |
| Zeitraumen der Orthesen Versorgung             | Tragdauer Orthese                              | 1Woche<br>2Wochen<br>3Wochen<br>4Wochen<br>5Wochen<br>6Wochen<br>6Wochen+++                                    |
| Belastung                                      | Woche1, Woche2, Woche3, Woche4, Woche5, Woche6 | Entlastung<br>Teilbelastung/Sohlenkontakt<br>Belastung >20kg<br>Vollbelastung                                  |

|                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| Beweglichkeit             | Woche1, Woche2, Woche3,<br>Woche4, Woche5, Woche6 | Immobilisierung -10°<br>Immobilisierung 0°<br>Immobilisierung 10°<br>Immobilisierung 15°<br>Immobilisierung 20°<br>Immobilisierung 30°<br>ROM -10/+10<br>ROM -10/+20<br>ROM +15/+30<br>ROM 0/+30<br>ROM -15/+15<br>Freie ROM mit lateral. Stabilität<br>Freie ROM |
| Empfehlung Physiotherapie | Woche1, Woche2, Woche3,<br>Woche4, Woche5, Woche6 | Ja<br>Nein  |

### 3.6 Statistik

Nach Anfertigung der Tabellen in SPSS ® wie oben beschrieben erfolgte die Auswertung. Im Wesentlichen wurde hier der Fokus auf Häufigkeitstabellen gelegt, auf Signifikanzberechnung wurde verzichtet. Die Häufigkeitstabellen ermöglichten eine absolute Angabe von Häufigkeiten und wurden zur besseren Veranschaulichung mit Hilfe des Grafikprogrammes GraphPad Prism ® (Version 5, GraphPad Software, USA) in Balkendiagramme umgewandelt. Desweiteren wurden relative Häufigkeiten aus dem absoluten Datensatz errechnet.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Studienpopulation

Die erstellten Nachbehandlungsschemata wurden an 213 verschiedene medizinische Einrichtungen der Fachrichtung Orthopädie und Unfallchirurgie verteilt. Diese Institutionen waren überwiegend regionale Kliniken, im Sinne nicht-universitärer Kliniken (183; 85,9%). Die Übrigen setzten sich aus Universitätskliniken (8; 3,8%), ambulanten Einrichtungen (13; 6,1%) und nicht genauer spezifizierbaren Einrichtungen (9; 4,2%) zusammen (Abbildung 13).

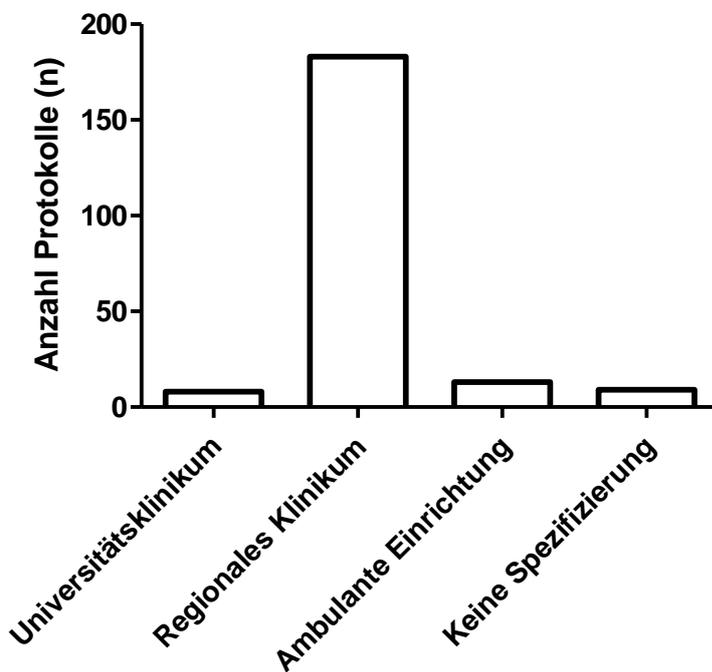


Abbildung 13: Zusammensetzung der Studienpopulation

## **4.2 Metatarsale Frakturen**

### **4.2.1 Verfügbarkeit der Protokolle**

Bei den metatarsalen Frakturen ist vorab zu erwähnen, dass die Lokalisation des Bruches auf dem fünften Strahl des Mittelfußes gegenüber den übrigen Strahlen eine Sonderstellung einnimmt, weswegen von den analysierten Einrichtungen wie auch in dieser Arbeit im Folgenden das Therapieregime hierfür überwiegend separat betrachtet wurde.

Insgesamt wiesen unter den analysierten 213 Institutionen 193 Institutionen (90,6%) ein entsprechendes Nachbehandlungsprotokoll für metatarsale Frakturen auf. Es wurde von lediglich von 14 Institutionen (7,3%) zwischen konservativem und operativem Vorgehen differenziert und nur 11 dieser Institutionen (5,2%) legten ein postoperatives Nachbehandlungsprotokoll vor. Von den 179 Institutionen, die keine Unterscheidung aufführten, wurde ein konservatives Therapieregime als Standard definiert.

Ferner wurde ein besonderer Fokus wie oben erwähnt auf den fünften Metatarsalknochen gelegt. Hierbei lässt sich in Frakturen des Metatarsale-5 im Allgemeinen, der Metatarsale-5-Basis und der sogenannten Jones-Fraktur unterscheiden. Die Nachbehandlungsprotokolle zur Metatarsale-5-Fraktur ohne genauere Lokalisation waren mit einer Anzahl von 4 äußerst selten (1,9%), daher wurden sie in die Gruppe der Nachbehandlungsschemata der Metatarsale-5-Basisfrakturen als häufigster Lokalisation eingeschlossen.

Mit somit 110 Einrichtungen (51,6%) lag bei über der Hälfte der analysierten Institutionen ein spezielles Nachbehandlungsschema für die Metatarsale-5-Basis-Fraktur vor. 24 Einrichtungen (11,3%) trennten operatives und konservatives Vorgehen, wobei hierbei alle 24 unterscheidenden Einrichtungen ein Protokoll für die postoperative Nachbehandlung, aber nur 22 Einrichtungen (10,3%) ein Protokoll für die konservative Behandlung bereitstellten. Für die verbleibenden 86 Institutionen wird das konservative Procedere als Standard vorausgesetzt.

70 Institutionen (32,9%) legten ein Nachbehandlungsprotokoll für eine Jones-Fraktur an, wobei hiervon nur 6 Einrichtungen (8,6%) zwischen konservativer und operativer Therapie unterschieden. Unter diesen 6 Einrichtungen legten 2 (0,9%) ein postoperatives und 5 (2,3%) ein konservatives Behandlungsschema vor. Bei den

verbleibenden 64 Institutionen wurde die Operation als die Methode der Wahl definiert.

Zusammenfassend konnten für ein konservatives Procedere bei der metatarsalen Fraktur 193, bei der Metatarsale-5-Basis-Fraktur 107 und bei der Jones-Fraktur 5 Schemata ausgewertet werden. Für das postoperative Vorgehen waren es bei der metatarsalen Fraktur 11, bei der Metatarsale-5-Basis-Fraktur 24 und bei der Jones-Fraktur 66 Protokolle.

#### **4.2.2 Wahl der Orthese**

Aus den unter 4.3.1 vorgestellten Orthesen war von den Institutionen zu jedem Nachbehandlungsschema ein Modell zu wählen, auch ein Wechsel der Orthese im beschriebenen Zeitraum war möglich.

Bei den metatarsalen Frakturen lässt sich sowohl im konservativen (81,9%) als auch im operativen (100%) Vorgehen ein klarer Trend zum VACOpedes® als Orthese der Wahl erkennen, der nicht das Sprunggelenk immobilisiert. Lediglich 2,1% der Einrichtungen entschieden sich bei der konservativen Versorgung für den VACOped® und 16,1% der Einrichtungen für eine initiale Behandlung mit dem VACOped® und einen anschließenden Wechsel innerhalb des 6-Wochen-Intervalls auf den VACOpedes® (Abbildung 14).

Entgegen dieses Konsensus im Bereich der allgemeinen metatarsalen Frakturen gehen bei den speziellen Frakturen des fünften Mittelfußknochens die Empfehlungen auseinander. Der bei den allgemeinen metatarsalen Frakturen verbreitete VACOpedes® wird hier nur von einer deutlichen Minderheit genutzt. Die Mehrheit der Einrichtungen nutzt den Knie-hohen VACOped® sowohl in der postoperativen als auch in der konservativen Behandlung. Im Operativen kam er bei der Jones-Fraktur in 72,7%, bei der Metatarsale-5-Basis-Fraktur 83,3% der Einrichtungen zum Einsatz, im konservativen Bereich waren er bei der Jones-Fraktur 60,0% und bei der Metatarsale-5-Basis-Fraktur 79,4% (Abbildung 15).

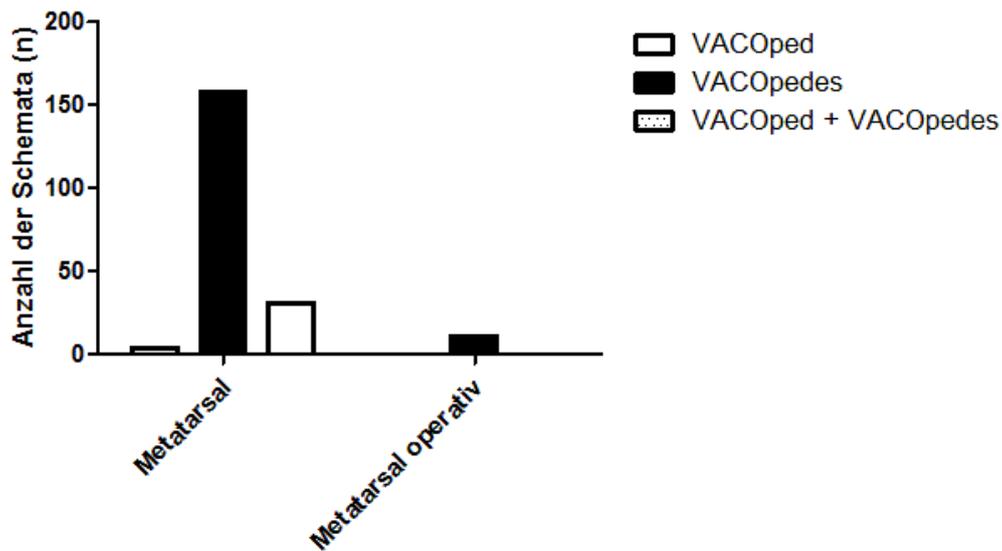


Abbildung 14: Wahl der Orthese metatarsale Frakturen

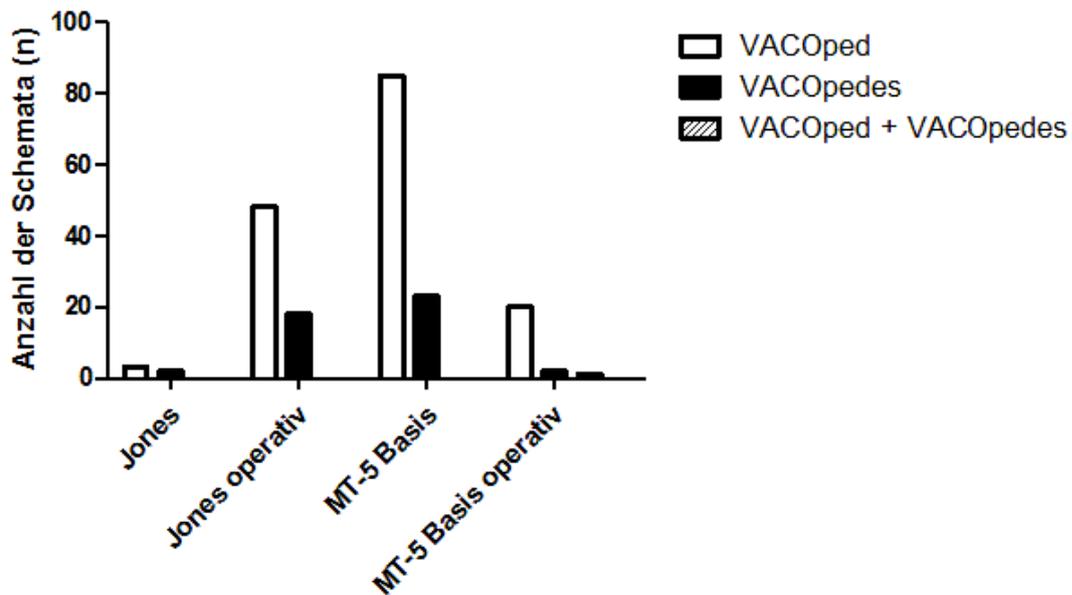


Abbildung 15: Wahl der Orthese Jones- und MT-5-Basisfrakturen

#### 4.2.3 Tragdauer der Orthese

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde die Tragdauer der Orthese in jeweils ganzen Wochen im Zeitraum der ersten 6 Wochen ab Versorgungsbeginn beschrieben. Bei prolongierter Tragdauer über 6 Wochen hinaus erfolgte eine Zusammenfassung unter dem Wert „6 Wochen +++“).

Bei den metatarsalen Frakturen wie auch den Metatarsale-5-Frakturen gibt es einen eindeutigen Konsensus, dass die Behandlung mit einer Orthese postoperativ und konservativ mit einer Dauer von 6 Wochen erfolgt (Abbildungen 16 und 17). Einzig bei der konservativen Therapie einer Metatarsale-5-Basisfraktur findet sich eine noch nennenswerte Minderheit von 13,1%, die eine über 6 Wochen hinausgehende Behandlungsdauer vertritt.

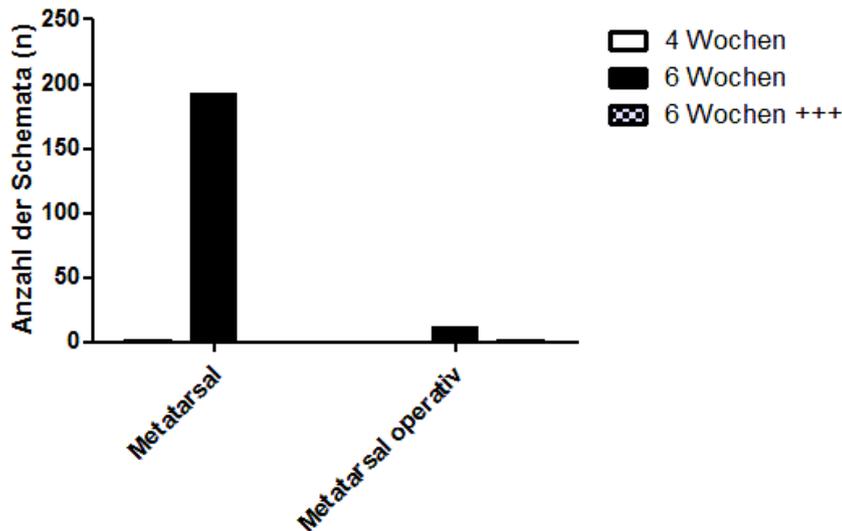


Abbildung 16: Tragdauer der Orthese metatarsale Frakturen

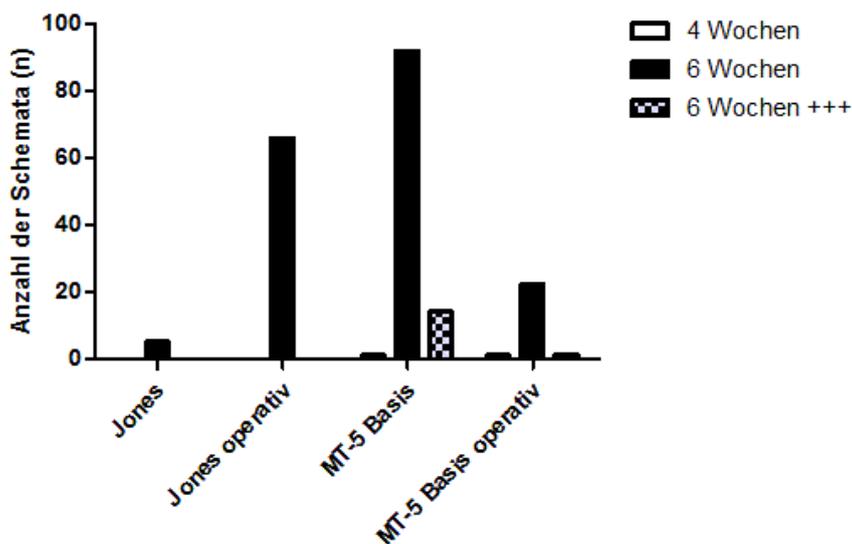


Abbildung 17: Tragdauer der Orthese Jones- und MT-5-Basisfrakturen

#### 4.2.4 Belastung

Für die konservative und postoperative Behandlung von Metatarsal- und Metatarsale-5-Frakturen erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades der zugelassenen Belastung.

Es fällt bei der Gesamtbetrachtung der Nachbehandlungen im Mittelfuß eine vermehrte frühzeitige Vollbelastung ab der zweiten Woche bei der Nachbehandlung der Jones-Frakturen (60,0% konservativ und 68,2% operativ) und der konservativ therapierten metatarsalen Frakturen (40,9%) auf (Abbildungen 18, 22, 23). Ab der 5. Woche der Nachbehandlung findet die Vollbelastung dann bei allen Protokollen eine deutliche Mehrheit mit Ausnahme der operativ versorgten metatarsalen Frakturen. Die vorsichtigsten Belastungssteigerungen über die untersuchten 6 Wochen finden sich in der postoperativen Nachbehandlung von metatarsalen Frakturen und auch Metatarsale-5-Basisfrakturen. Bei den Metatarsale-5-Basisfrakturen wird 6 Wochen postoperativ noch in 37,5% der Einrichtungen eine Teilbelastung vorgeschrieben, bei den metatarsalen Frakturen sind es postoperativ sogar 45,5% (Abbildungen 19-21).

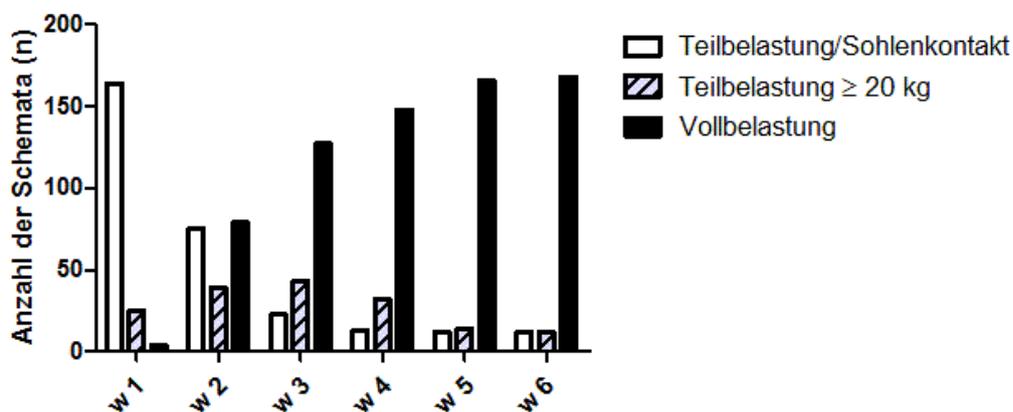


Abbildung 18: Belastung bei konservativer Therapie von metatarsalen Frakturen in Wochenschritten (w)

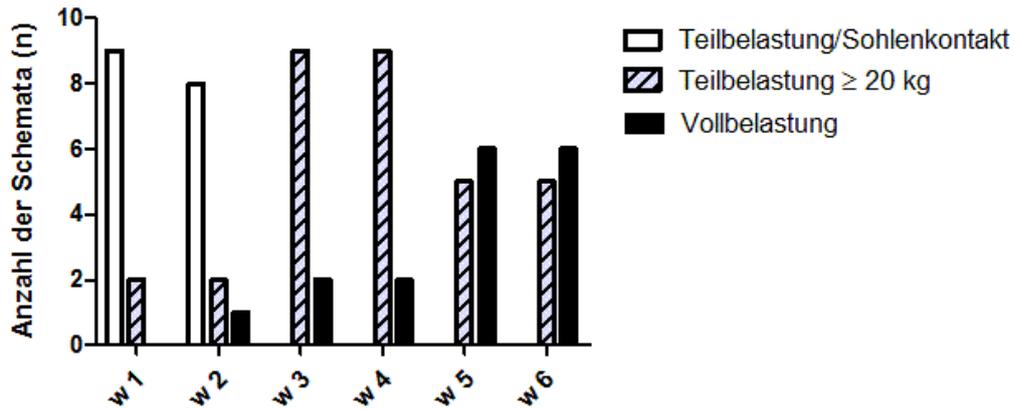


Abbildung 19: Belastung nach Operation von metatarsalen Frakturen in Wochenschritten (w)

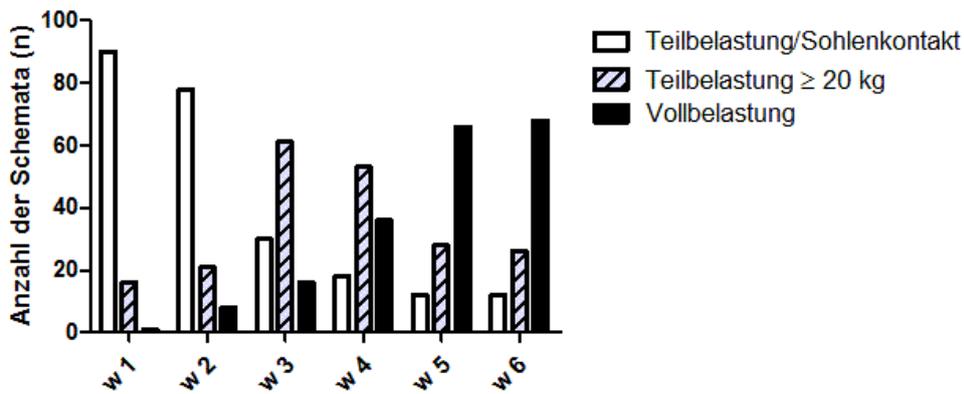


Abbildung 20: Belastung bei konservativer Therapie von Metatarsale-5-Basisfrakturen in Wochenschritten (w)

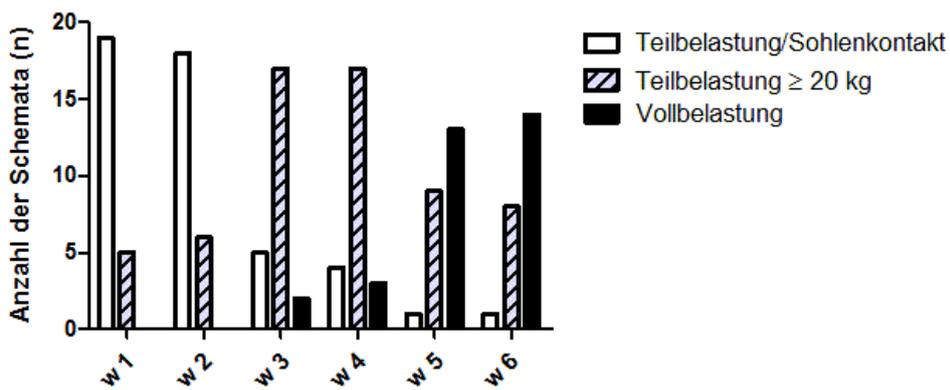


Abbildung 21: Belastung nach Operation von Metatarsale-5-Basisfrakturen in Wochenschritten (w)

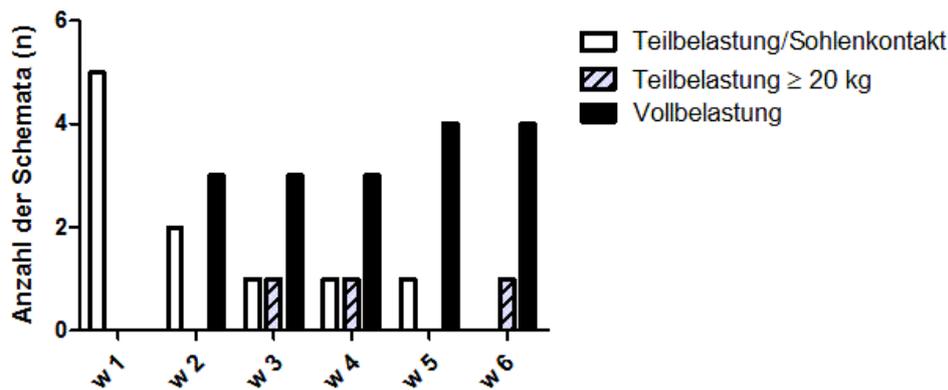


Abbildung 22: Belastung bei konservativer Therapie von Jones-Frakturen in Wochenschritten (w)

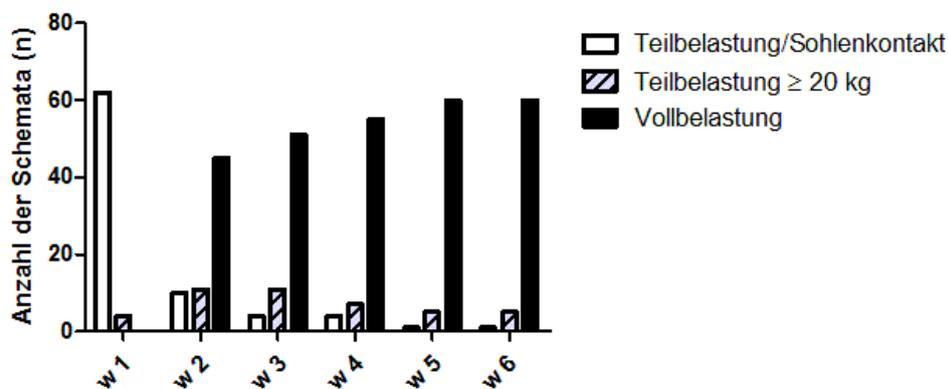


Abbildung 23: Belastung nach Operation von Jones-Frakturen in Wochenschritten (w)

#### 4.2.5 Bewegungsausmaß

Für die konservative und postoperative Behandlung erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades des erlaubten Bewegungsausmaßes.

Bei der Nachbehandlung von Metatarsal- und Metatarsale-5-Frakturen kamen in den Schemata folgende Bewegungsgrade zum Einsatz: Immobilisierung bei 0°, 15° und 30°, eine ROM von -10 bis +10°, eine freie ROM.

Je nach Wahl der Orthese sind beim VACOped® ROM-Umfänge und Immobilisierungen einstellbar, beim VACOpedes® dagegen nicht.

Als grundlegendes Prinzip lässt sich in allen Protokollen ein Übergang von starker Bewegungseinschränkung unmittelbar posttraumatisch oder postoperativ hin zu weiteren Bewegungsumfängen nach 6 Wochen feststellen. Besonders die Nachbehandlungsschemata der einfachen metatarsalen Frakturen zeigen eine sehr

frühe volle Freigabe des Bewegungsumfanges im Sprunggelenk ab der 1. Woche (90,9% postoperativ, 39,9% konservativ, Abbildungen 24 und 25), wobei bei der konservativen Therapie mit überwiegend verwendetem VACOPedes® die ROM -10°/+10° in den meisten Fällen als freie ROM zu werten ist.

Dem gegenüber ist in der Behandlung von Metatarsale-5-Basis- und Jones-Frakturen sowohl bei konservativer Therapie als auch postoperativ nur eine schrittweise Steigerung der Beweglichkeit im Sprunggelenk zu verzeichnen. Diese beginnt überwiegend mit einer Immobilisation bei 0° für 3 bis 4 Wochen und wird ab dem Ende der 3. beziehungsweise 4. Woche auf einen Bewegungsumfang von -10° bis +10° freigegeben (Abbildungen 26-29).

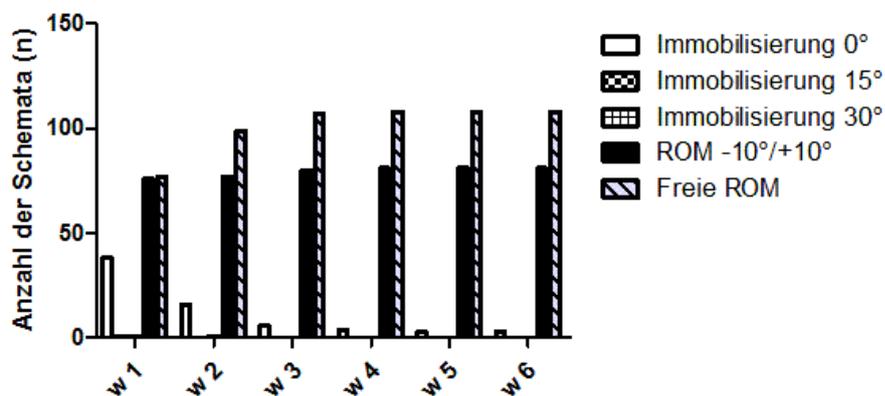


Abbildung 24: Bewegungsausmaß bei konservativer Therapie von metatarsalen Frakturen in Wochenschritten (w)

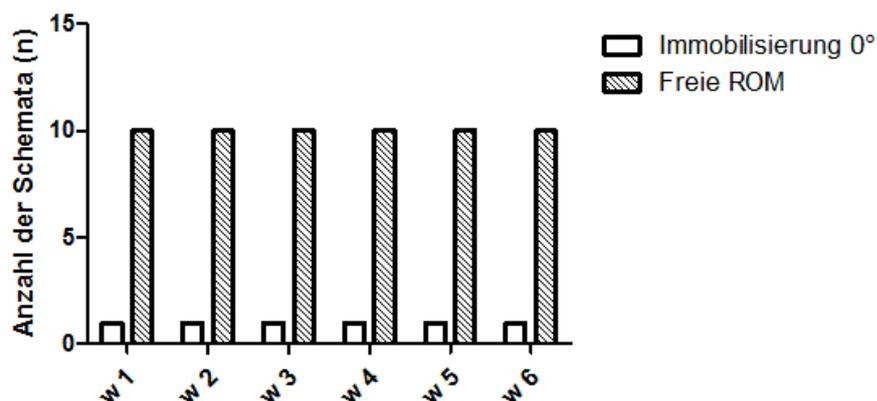


Abbildung 25: Bewegungsausmaß nach Operation von metatarsalen Frakturen in Wochenschritten (w)

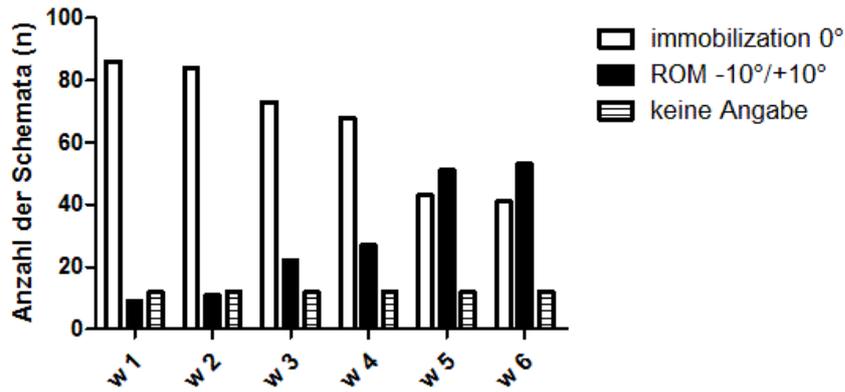


Abbildung 26: Bewegungsausmaß bei konservativer Therapie von Metatarsale-5-Basisfrakturen in Wochenschritten (w)

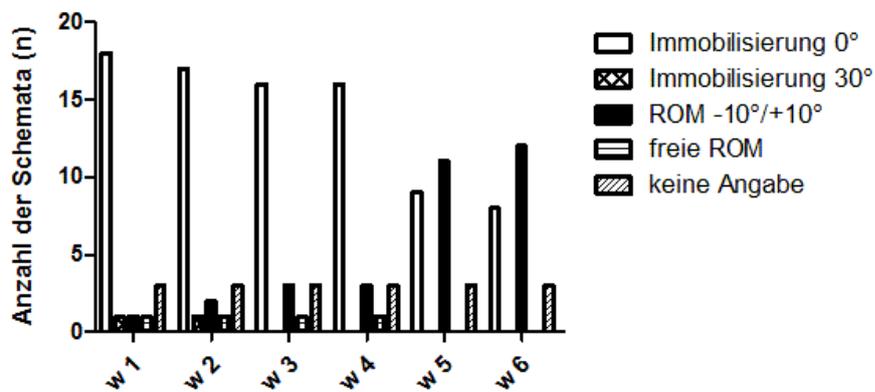


Abbildung 27: Bewegungsausmaß nach Operation von Metatarsale-5-Basisfrakturen in Wochenschritten (w)

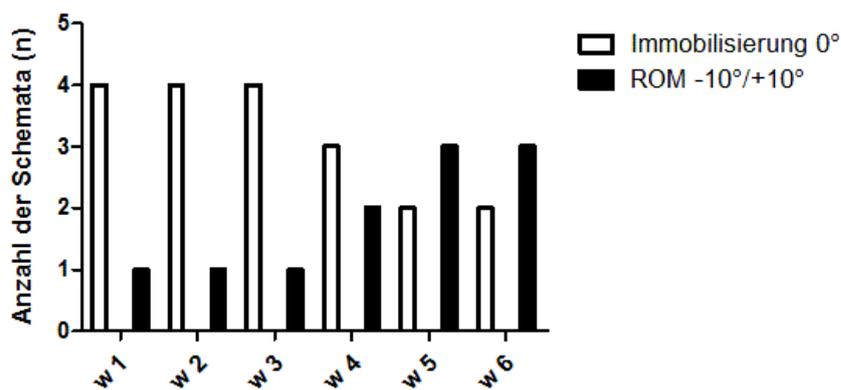


Abbildung 28: Bewegungsausmaß bei konservativer Therapie von Jones-Frakturen in Wochenschritten (w)

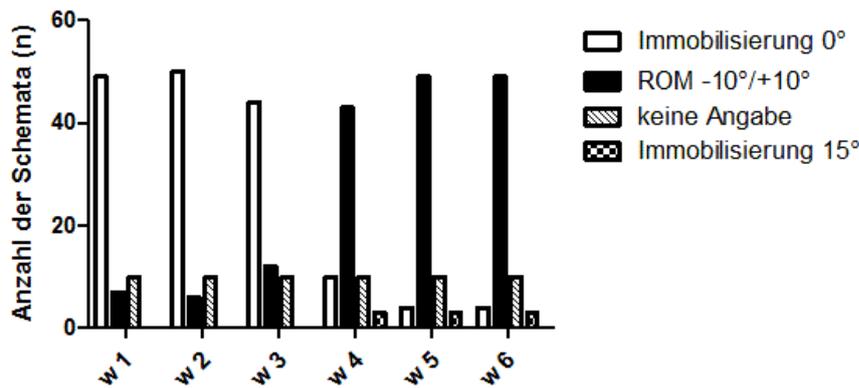


Abbildung 29: Bewegungsausmaß nach Operation von Jones-Frakturen in Wochenschritten (w)

#### 4.2.6 Physiotherapie

Für die konservative und postoperative Behandlung von Metatarsal- und Metatarsale-5-Frakturen erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich der Empfehlung zur Durchführung von Physiotherapie.

Grundlegend lässt sich für die konservative Therapie sowie die postoperative Nachbehandlung von Metatarsale-5-Basisfrakturen, die postoperative Nachbehandlung von metatarsalen Frakturen und das konservative Prozedere nach Jones-Frakturen eine deutliche Tendenz zur Vermeidung von frühzeitiger physiotherapeutischer Behandlung in den ersten beiden Wochen konstatieren. In der dritten und vierten Woche gleichen sich Empfehlung und Vermeidung von Physiotherapie an, spätestens ab der fünften Woche nach Trauma oder Operation überwiegt die Empfehlung (Abbildungen 31-34).

Eine nahezu einheitliche Ablehnung von Physiotherapie über das gesamte 6-Wochen-Intervall findet sich im Rahmen der konservativen Therapie von metatarsalen Frakturen (Woche 1 mit 95,3%- Woche 6 mit 93,7%; Abbildung 30).

Die Schemata der postoperativen Nachbehandlung von Jones-Frakturen dagegen zeigen ab der 1. Woche eine durchgehend eindeutige Empfehlung zur Durchführung von Physiotherapie (Woche 1 mit 69,7% - Woche 6 mit 74,2%; Abbildung 35).

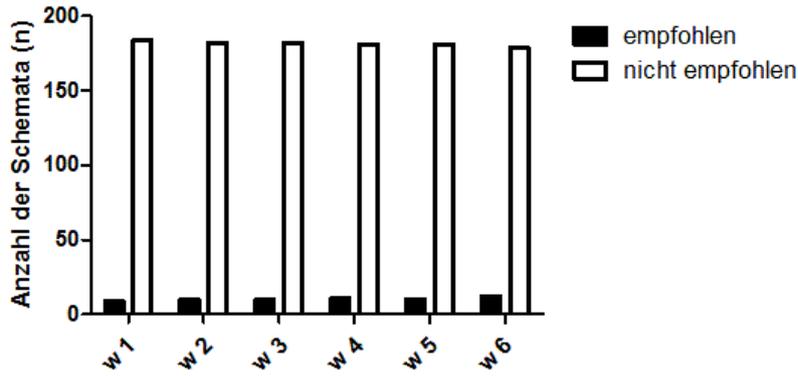


Abbildung 30: Physiotherapieempfehlung bei konservativer Therapie von metatarsalen Frakturen in Wochenschritten (w)

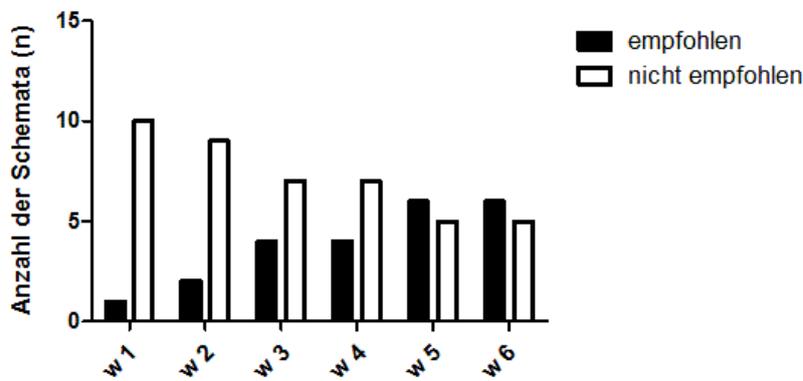


Abbildung 31: Physiotherapieempfehlung nach Operation von metatarsalen Frakturen in Wochenschritten (w)

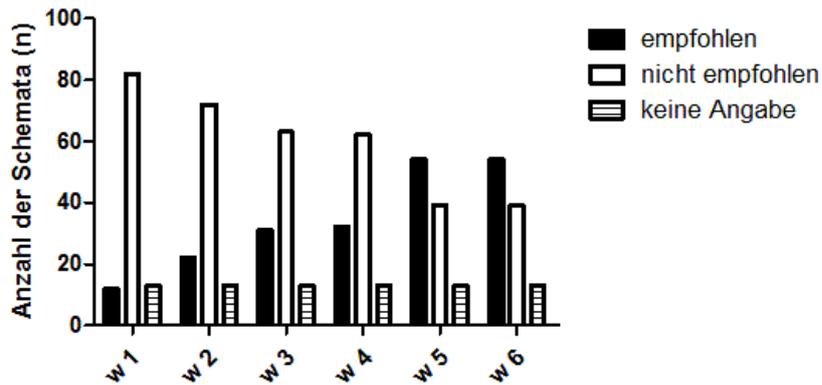


Abbildung 32: Physiotherapieempfehlung bei konservativer Therapie von Metatarsale-5-Basisfrakturen in Wochenschritten (w)

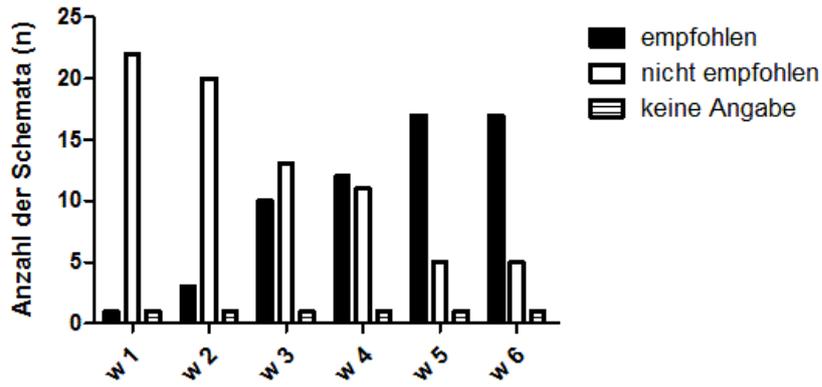


Abbildung 33: Physiotherapieempfehlung nach Operation von Metatarsale-5-Basisfrakturen in Wochenschritten (w)

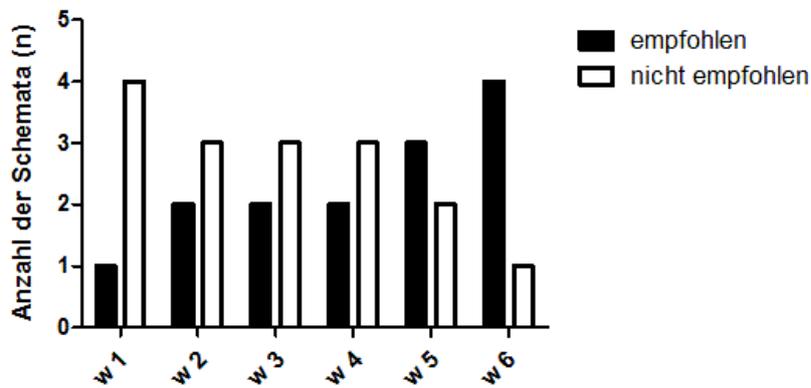


Abbildung 34: Physiotherapieempfehlung bei konservativer Therapie von Jones-Frakturen in Wochenschritten (w)

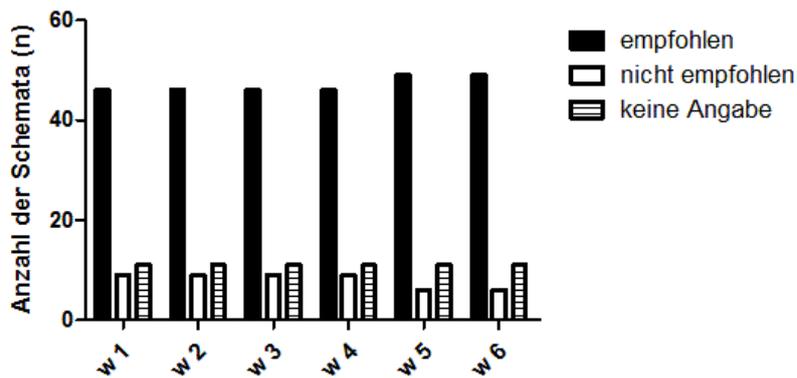


Abbildung 35: Physiotherapieempfehlung nach Operation von Jones-Frakturen in Wochenschritten (w)

## **4.3 Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes**

### **4.3.1 Verfügbarkeit der Protokolle**

Unter den analysierten 213 Institutionen wiesen 120 Institutionen (56,3%) ein entsprechendes Nachbehandlungsprotokoll für Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes auf. Ferner wurden von 50 Institutionen (23,5%) Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes mit einem allgemeinen Protokoll notiert. Die übrigen 70 Einrichtungen (32,9%) differenzierten zwischen operativem und konservativem Vorgehen, wobei 36 Einrichtungen (16,9%) ein Protokoll für beide Verfahren, 32 Einrichtungen (15,0%) lediglich eines für das operative Verfahren und 2 Einrichtungen (0,9%) lediglich eines für das konservative Verfahren vorlegten. Die Protokolle für ein allgemeines Procedere wurden im Folgenden zu den Protokollen des konservativen Vorgehens gerechnet.

Zusammenfassend konnten bei den Außenbandverletzungen am Sprunggelenk für ein konservatives Procedere 88 Schemata und für ein operatives Vorgehen 68 Schemata ausgewertet werden.

### **4.3.2 Wahl der Orthese**

Aus den unter 4.3.1 vorgestellten Orthesen war von den Institutionen zu jedem Nachbehandlungsschema ein Modell zu wählen, auch ein Wechsel der Orthese im beschriebenen Zeitraum war möglich.

Unter den Nachbehandlungsschemata des konservativen Vorgehens wurde die Verwendung des VACOankle® mit 87,5% deutlich favorisiert. Bei den Schemata der operativen Nachbehandlung war keine Eindeutigkeit bezüglich der Orthesenwahl zu erkennen. Während 35,3% der Protokolle den VACOped® und 22,1% den VACOankle® bevorzugten, wählten 42,6% eine Kombination aus zunächst VACOped® und anschließend VACOankle® (Abbildung 36).

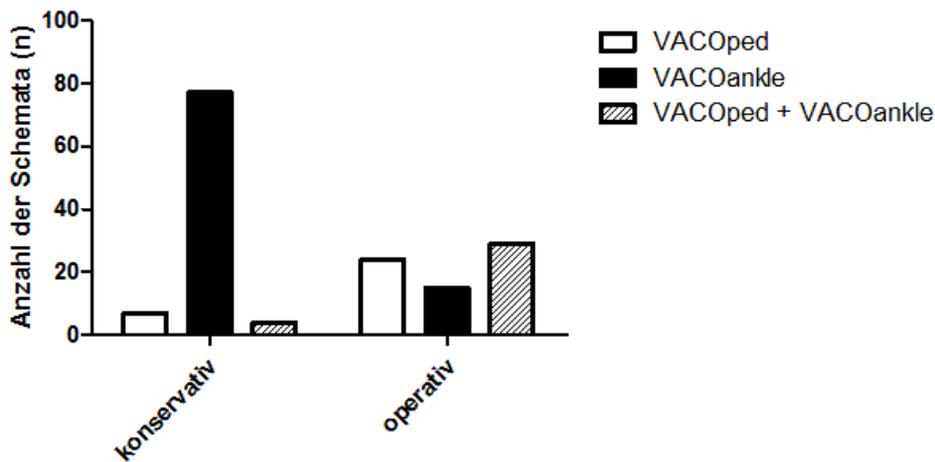


Abbildung 36: Wahl der Orthese Außenbandverletzungen am Sprunggelenk

### 4.3.3 Tragdauer der Orthese

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde die Tragdauer der Orthese in jeweils ganzen Wochen im Zeitraum der ersten 6 Wochen ab Versorgungsbeginn beschrieben. Bei prolongierter Tragdauer über 6 Wochen hinaus erfolgte eine Zusammenfassung unter dem Wert „6 Wochen +++“.

Während bei der konservativen Behandlung von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk mit 93,2% nahezu einstimmig eine Behandlungsdauer von 6 Wochen vorlag, teilten sich bei der operativen Behandlung die Empfehlungen mit 52,9% für ein 6-Wochen-Intervall und 44,1% für ein noch längeres Intervall auf (Abbildung 37).

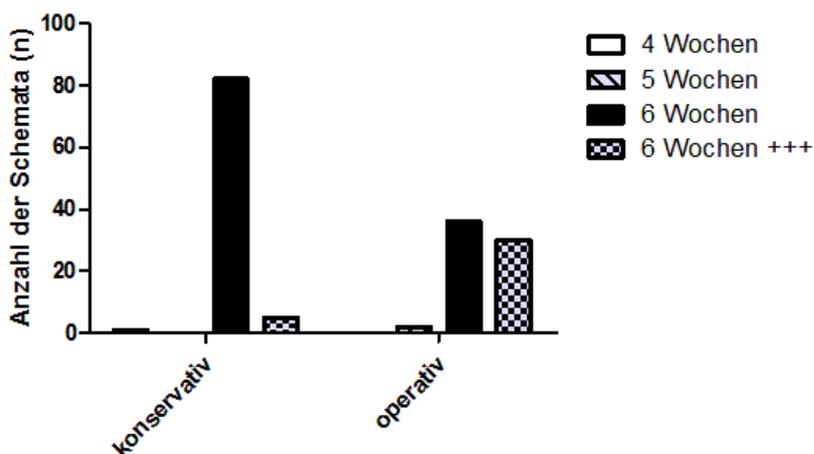


Abbildung 37: Tragdauer der Orthese Außenbandverletzungen am Sprunggelenk

#### 4.3.4 Belastung

Für die konservative und die operative Nachbehandlung erfolgte je eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades der zugelassenen Belastung.

Für beide Formen der Nachbehandlung zeigte sich zusammenfassend ein ähnliches Bild mit unmittelbar posttraumatischer beziehungsweise postoperativer Teilbelastung unter 20 kg in Woche 1, die zügig in eine Vollbelastung ab Woche 3 überging. Lediglich im Übergang der Belastungsstufen in Woche 2 fand sich eine erwähnenswerte Abweichung. Während hier unter den postoperativen Nachbehandlungsschemata erst 66,2% eine Vollbelastung empfohlen, waren es unter den posttraumatischen Nachbehandlungsschemata bereits 80,7% (Abbildung 38 und 39).

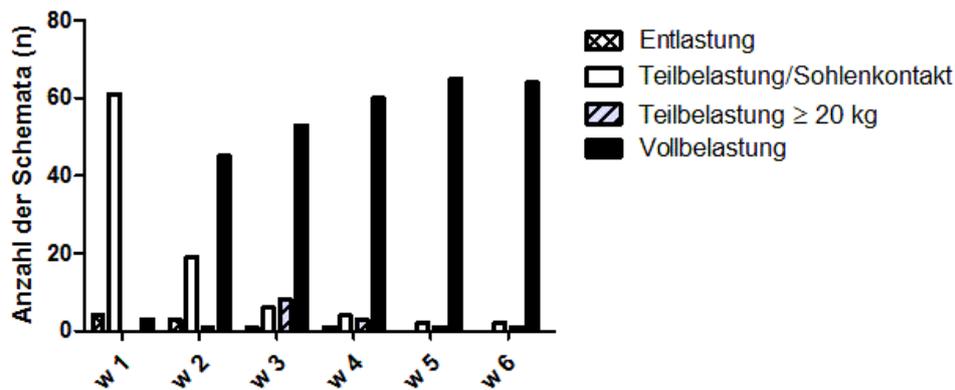


Abbildung 38: Belastung nach Operation von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

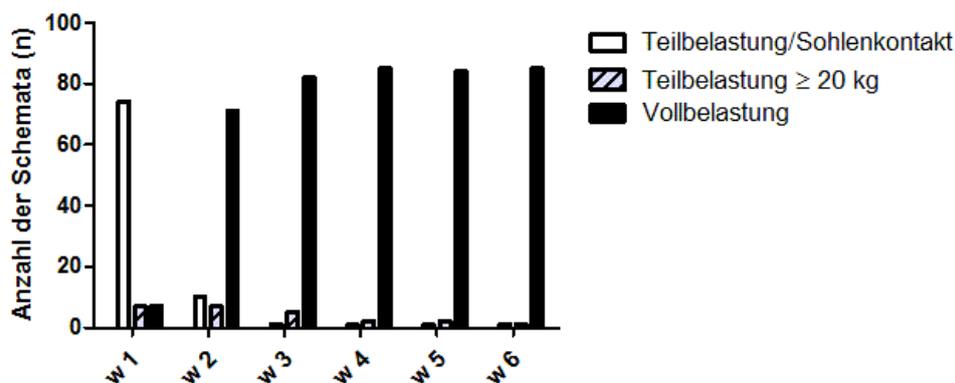


Abbildung 39: Belastung bei konservativer Therapie von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

### 4.3.5 Bewegungsausmaß

Für die konservative und die operative Nachbehandlung erfolgte je eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades des erlaubten Bewegungsausmaßes.

Bei der Nachbehandlung von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk kamen in den Schemata folgende Bewegungsgrade zum Einsatz: Immobilisierung bei 0°, eine ROM von -10 bis +10°, eine freie ROM mit lateraler Stabilisierung, eine freie ROM.

Die postoperative Nachbehandlung von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk zeigte aufgrund von uneinheitlicher Orthesenwahl ein gemischtes Bild. Der konstante Anteil von 22,1% an freier ROM mit lateraler Stabilisierung ab Woche 1 wurde durch die entsprechenden Empfehlungen eines VACOankle® gedeckt. Die übrigen Einrichtungen empfahlen im VACOped® mit 76,5% die Immobilisierung des Sprunggelenkes. Der Großteil dieser Einrichtungen - darunter auch diejenigen, die eine gemischte Orthesenwahl mit VACOped® und VACOankle® empfahlen – legten einen langsamen Übergang zur freien ROM mit lateraler Stabilisierung bis Woche 6 fest. Nur 25,8% der postoperativen Nachbehandlungen dokumentierten noch in Woche 6 eine Immobilisierung bei 0° (Abbildung 40).

Bei der Auswertung der Nachbehandlungsschemata des konservativen Vorgehens zeigte sich dagegen eine nahezu einstimmige Empfehlung zur freien ROM mit lateraler Stabilisierung von 87,1% in Woche 1 bis 91,8% in Woche 6 (Abbildung 41).

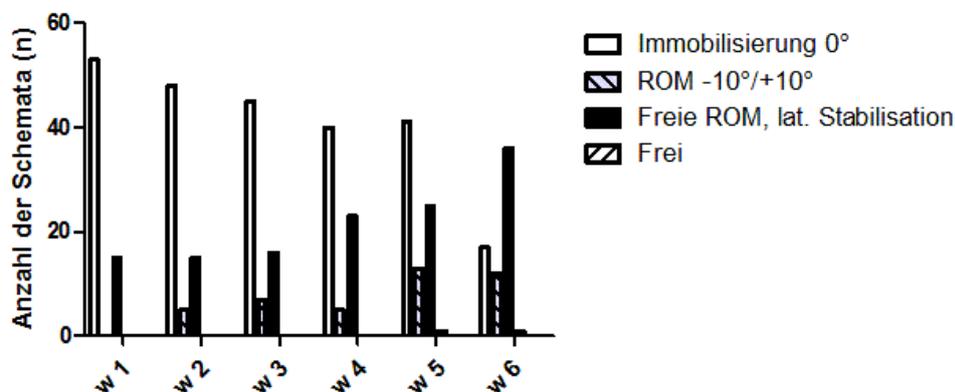


Abbildung 40: Bewegungsausmaß nach Operation von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

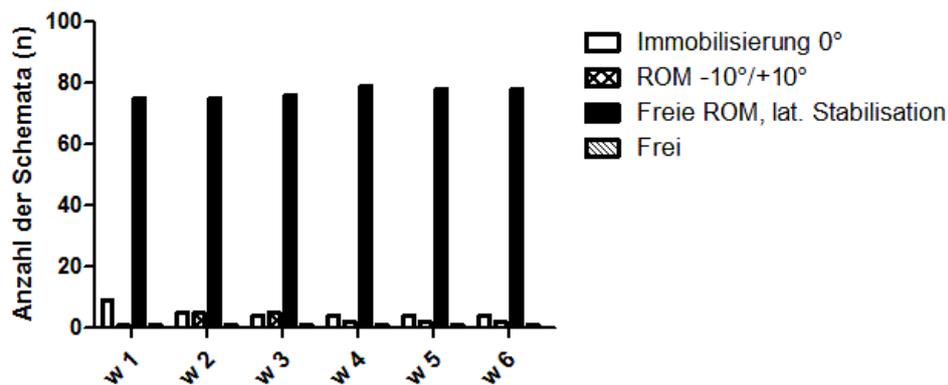


Abbildung 41: Bewegungsausmaß nach konservativer Therapie von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

#### 4.3.6 Physiotherapie

Für die konservative und die operative Nachbehandlung von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk erfolgte je eine wochenweise Auswertung hinsichtlich der Empfehlung zur Durchführung von Physiotherapie.

Insgesamt war die Physiotherapieempfehlung bei Außenbandverletzungen am Sprunggelenk uneinheitlich.

Bei der Analyse der postoperativen Nachbehandlungsschemata fand sich nach großer Mehrheit von 94,1% in Woche 1 gegen Physiotherapie im weiteren Verlauf der Wochen in etwa ein Verhältnis von 60:40 in den Wochen 3 bis 5 sowie ein Verhältnis von 67,2% zu 32,8% in Woche 6 jeweils für die Durchführung von Physiotherapie (Abbildung 42).

Unter den Nachbehandlungsschemata des konservativen Vorgehens zeigte sich, nach ebenfalls großer Mehrheit von 87,2% gegen eine Physiotherapie in Woche 1, ab Woche 3 zwei nahezu gleich große Gruppen dafür und dagegen (Abbildung 43).

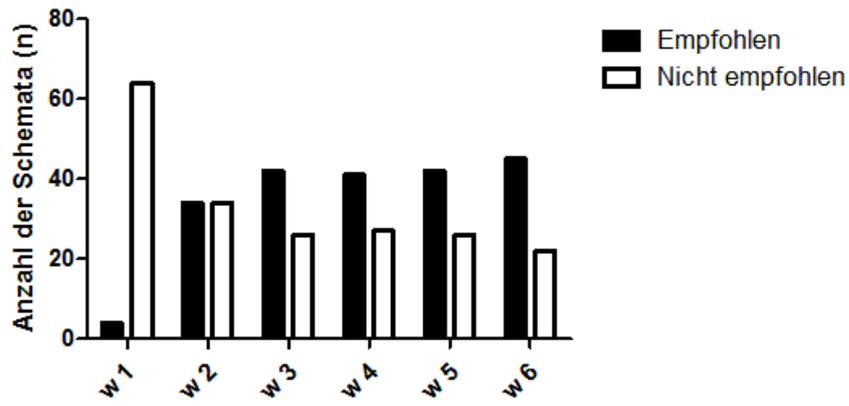


Abbildung 42: Physiotherapieempfehlung nach Operation von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

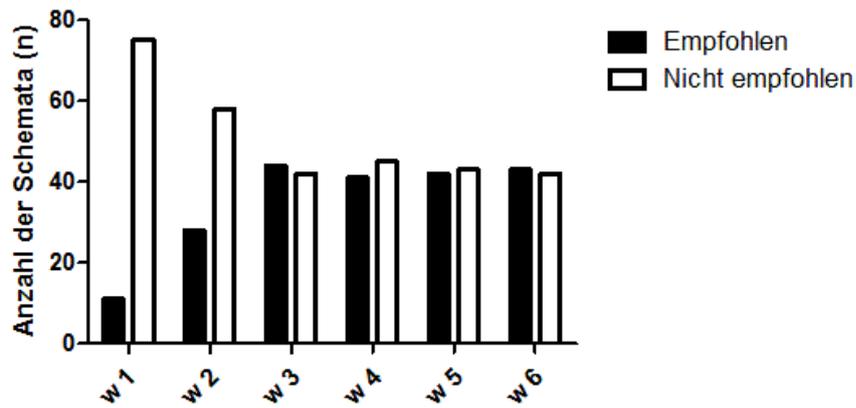


Abbildung 43: Physiotherapieempfehlung bei konservativer Therapie von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

## 4.4 Osteochondrale Transplantation im Sprunggelenk

### 4.4.1 Verfügbarkeit der Protokolle

Unter den analysierten 213 Institutionen wiesen 44 Institutionen (20,7%) ein entsprechendes Nachbehandlungsprotokoll für osteochondrale Transplantation im Sprunggelenk auf. Eine weitere Differenzierung wurde nicht vorgenommen.

### 4.4.2 Wahl der Orthese

Aus den unter 4.3.1 vorgestellten Orthesen war von den Institutionen zu jedem Nachbehandlungsschema ein Modell zu wählen, auch ein Wechsel der Orthese im beschriebenen Zeitraum war möglich.

Bei der Auswertung der Nachbehandlungsschemata bezüglich osteochondraler Transplantation am Sprunggelenk war der VACOped® bei 100% der Einrichtungen die Orthese der Wahl (Abbildung 44).

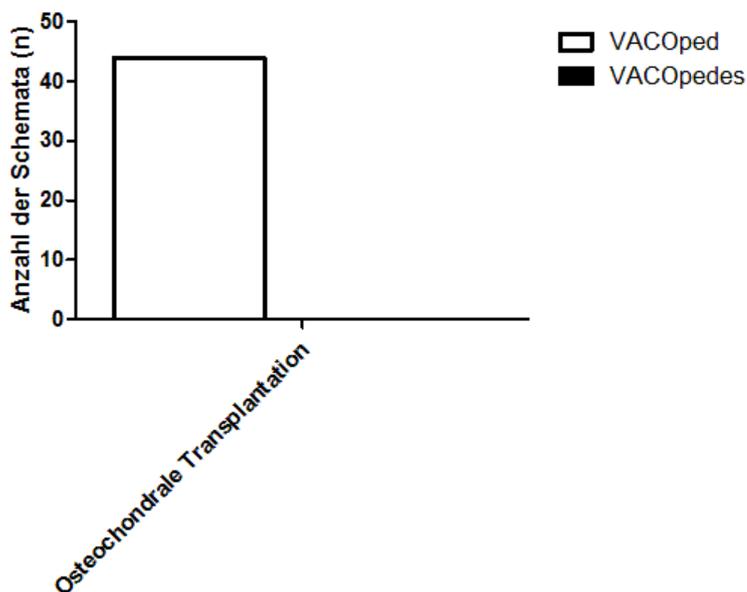


Abbildung 44: Wahl der Orthese nach osteochondraler Transplantation am Sprunggelenk

### 4.4.3 Tragdauer der Orthese

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde die Tragdauer der Orthese in jeweils ganzen Wochen im Zeitraum der ersten 6 Wochen ab Versorgungsbeginn beschrieben. Bei

prolongierter Tragdauer über 6 Wochen hinaus erfolgte eine Zusammenfassung unter dem Wert „6 Wochen +++“).

Bezüglich der Tragdauer der Orthese fand sich unter den analysierten Nachbehandlungsschemata der osteochondralen Transplantation am Sprunggelenk eine deutliche Mehrheit von 95,5% für ein 6-wöchiges Intervall. Die übrigen Einrichtungen empfahlen allesamt eine noch längere Tragdauer (Abbildung 45).

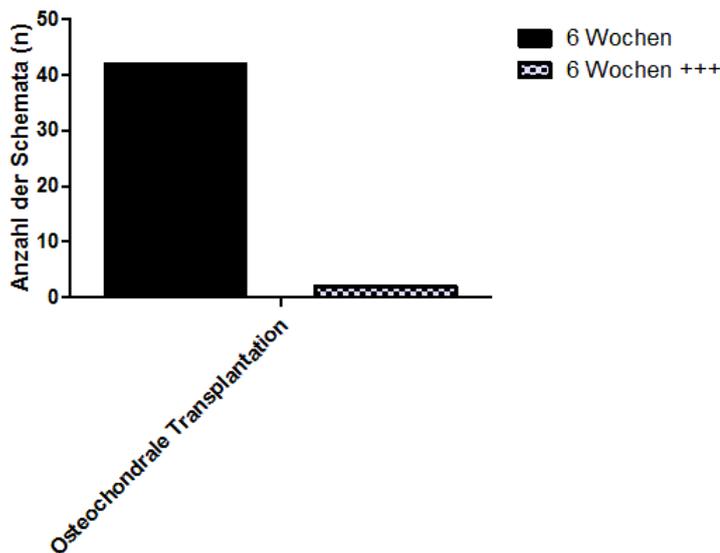


Abbildung 45: Tragdauer der Orthese nach osteochondraler Transplantation am Sprunggelenk

#### 4.4.4 Belastung

Für die Nachbehandlung der osteochondralen Transplantation am Sprunggelenk erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades der zugelassenen Belastung.

Dabei zeigte sich unter den ausgewerteten Institutionen fast einheitlich eine Empfehlung zur Teilbelastung über die ersten 6 postoperativen Wochen. Diese eindeutige Mehrheit blieb von Woche 1 an mit 95,5% der Einrichtungen bis Woche 6 mit 86,4% der Einrichtungen recht konstant (Abbildung 46).

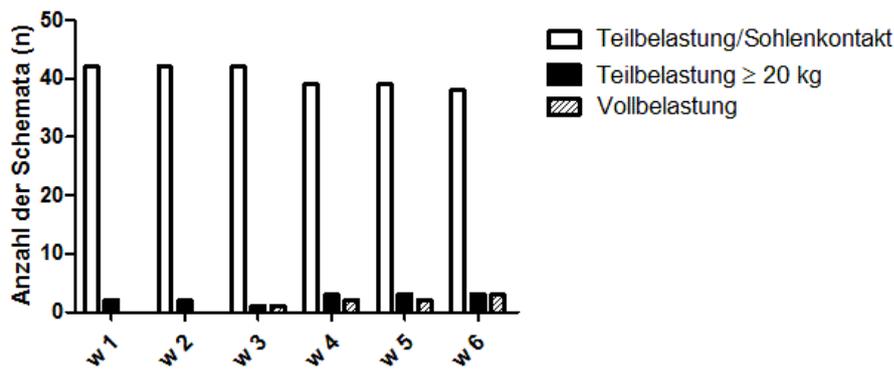


Abbildung 46: Belastung nach osteochondraler Transplantation am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

#### 4.4.5 Bewegungsausmaß

Für die Nachbehandlung der osteochondralen Transplantation am Sprunggelenk erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades des erlaubten Bewegungsausmaßes.

Es kamen in den Schemata folgende Bewegungsgrade zum Einsatz: Immobilisierung bei 0°, eine ROM von -10 bis +10°.

Ein deutlicher Trend zur 6-wöchigen ROM von -10° bis +10° im Sprunggelenk war bei der Auswertung der Schemata bezüglich des Bewegungsausmaßes zu verzeichnen. Je mehr Zeit nach der Operation vergangen war, desto mehr Institutionen empfahlen diese ROM, beginnend in Woche 1 mit 79,5% waren es in Woche 6 bereits 90,9%. Einige Einrichtungen begannen zurückhaltender mit einer Immobilisierung in 0° (20,5%) (Abbildung 47).

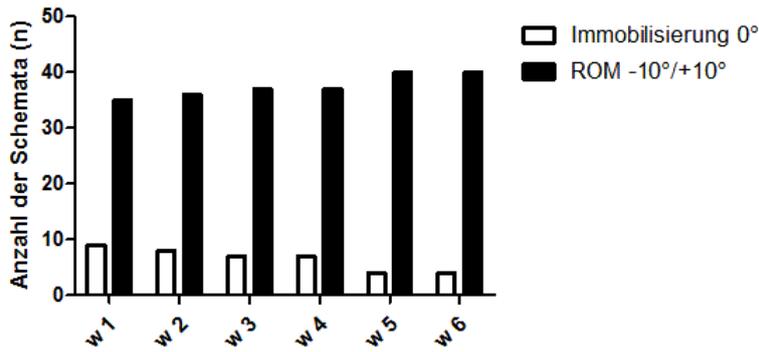


Abbildung 47: Bewegungsausmaß nach osteochondraler Transplantation am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

#### 4.4.6 Physiotherapie

Für die Nachbehandlung der osteochondralen Transplantation am Sprunggelenk erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich der Empfehlung zur Durchführung von Physiotherapie.

Über den gesamten analysierten Zeitraum sprach sich in den Nachbehandlungsschemata eine deutliche Mehrheit der Institutionen (81,8% bis 86,4%) für die konsequente Durchführung von Physiotherapie aus (Abbildung 48).

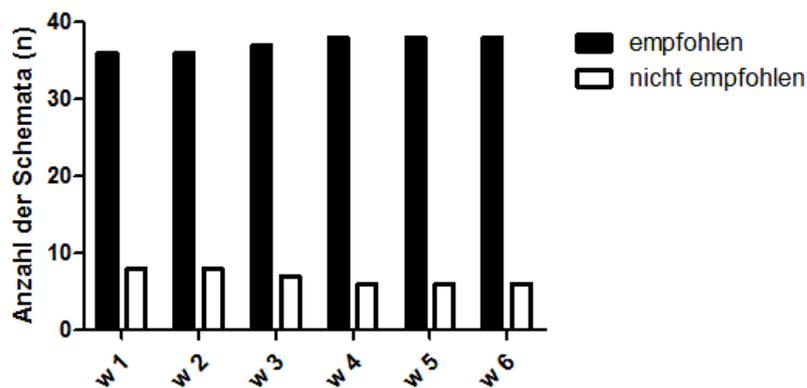


Abbildung 48: Empfehlung zur Physiotherapie nach osteochondraler Transplantation am Sprunggelenk in Wochenschritten (w)

## **4.5 Arthrodesse des Sprunggelenkes**

### **4.5.1 Verfügbarkeit der Protokolle**

Unter den analysierten 213 Institutionen wiesen 155 Institutionen (72,8%) ein entsprechendes Nachbehandlungsprotokoll für die Arthrodesse des Sprunggelenkes auf. Ferner wurde von 126 der Institutionen (59,2%) zwischen Versteifung des unteren und des oberen Sprunggelenkes – in den Abbildungen auch mit USG und OSG abgekürzt – differenziert. Es führten 112 Einrichtungen (52,6%) ein Schema für die Versteifung des unteren Sprunggelenkes und 124 Einrichtungen (58,2%) eines für das obere Sprunggelenk, somit lagen bei den unterscheidenden Einrichtungen nicht immer Protokolle für beide Verfahren vor. Die wenigen nicht unterscheidenden Nachbehandlungsschemata wurden denen der Arthrodesse des unteren Sprunggelenkes zugeordnet, da diese Studie die Frührehabilitation einer alleinigen Knochenheilung gegenüber der Frührehabilitation von Bändern und osteochondralen Läsionen darstellen möchte.

Insgesamt konnten also 141 Nachbehandlungsschemata für die Arthrodesse des unteren Sprunggelenkes und 124 Nachbehandlungsschemata für die Arthrodesse des oberen Sprunggelenkes ausgewertet werden.

### **4.5.2 Wahl der Orthese**

Aus den unter 4.3.1 vorgestellten Orthesen war von den Institutionen zu jedem Nachbehandlungsschema ein Modell zu wählen, auch ein Wechsel der Orthese im beschriebenen Zeitraum war möglich.

Sowohl bei der Nachbehandlung der Arthrodesse des unteren Sprunggelenkes als auch der des oberen Sprunggelenkes war zu jeweils 100% einstimmig der VACOPed® die Orthese der Wahl (Abbildung 49).

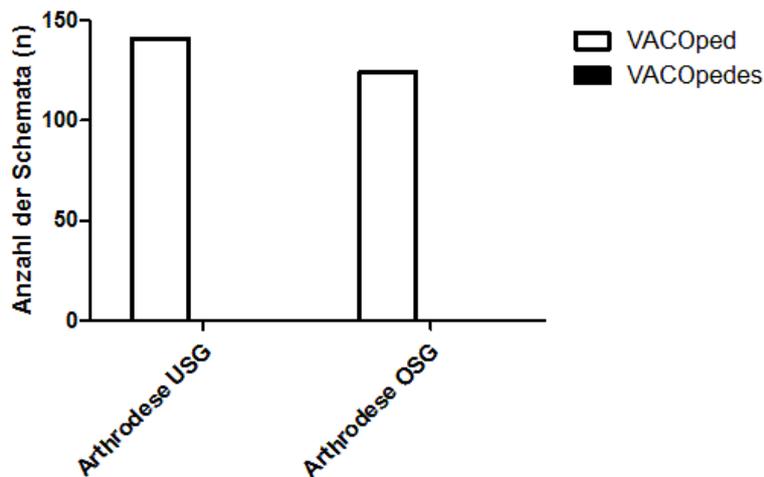


Abbildung 49: Wahl der Orthese Arthrodesis des USG und OSG

#### 4.5.3 Tragdauer der Orthese

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde die Tragdauer der Orthese in jeweils ganzen Wochen im Zeitraum der ersten 6 Wochen ab Versorgungsbeginn beschrieben. Bei prolongierter Tragdauer über 6 Wochen hinaus erfolgte eine Zusammenfassung unter dem Wert „6 Wochen +++“).

Eine deutliche Mehrheit für eine Tragdauer der Orthese von 6 Wochen war sowohl bei der Nachbehandlung der Arthrodesis des unteren Sprunggelenkes mit 80,9% der Einrichtungen als auch bei der Nachbehandlung der Arthrodesis des oberen Sprunggelenkes mit 88,7% der Einrichtungen festzustellen. Die übrigen Einrichtungen empfahlen alle ein längeres Trageintervall (Abbildung 50).

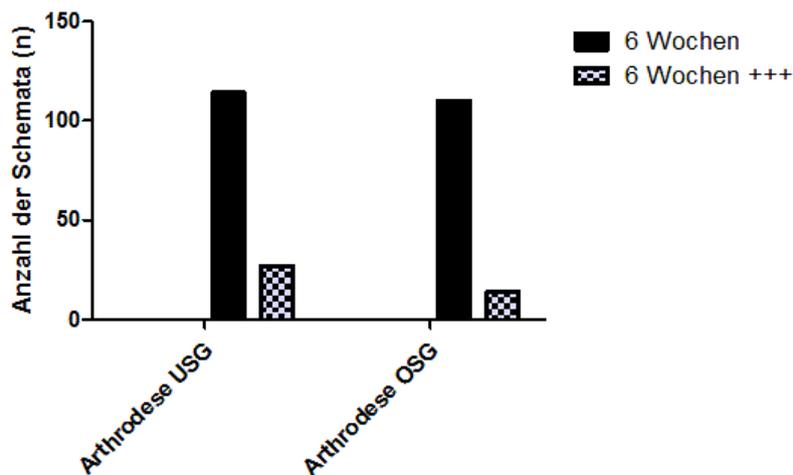


Abbildung 50: Tragdauer der Orthese Arthrodesese des USG und OSG

#### 4.5.4 Belastung

Für die Nachbehandlung der Arthrodesese des unteren und des oberen Sprunggelenkes erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades der zugelassenen Belastung.

Mit jeweils deutlicher Mehrheit für eine Teilbelastung zeigten sich die Belastungsempfehlungen in den ersten beiden postoperativen Wochen nach Arthrodesese des unteren (92,2% und 86,5%) wie auch des oberen Sprunggelenkes (94,4% und 90,3%) recht ähnlich. Während ein Wechsel zur vermehrten Teilbelastung beim unteren Sprunggelenk ab Woche 3 zu verzeichnen war, imponierte dies beim oberen Sprunggelenk erst ab Woche 4. Eine Empfehlung zur Vollbelastung war bei nahezu allen Nachbehandlungsschemata innerhalb der ersten 6 postoperativen Wochen nicht zu verzeichnen (Abbildungen 51 und 52).

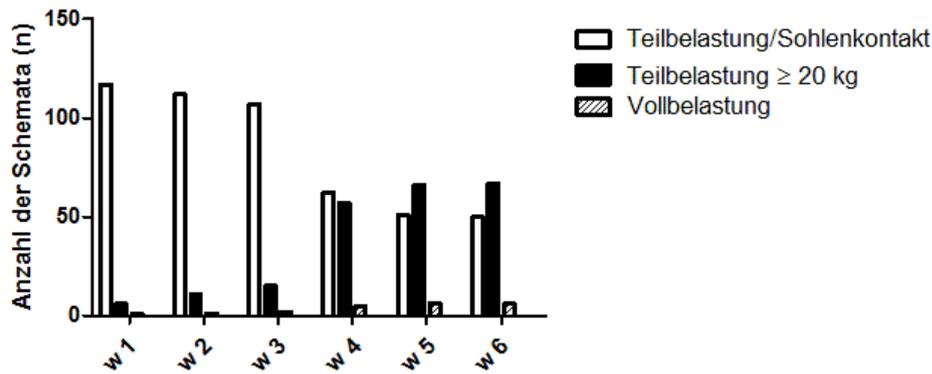


Abbildung 51: Belastung nach Arthrodesese im OSG in Wochenschritten (w)

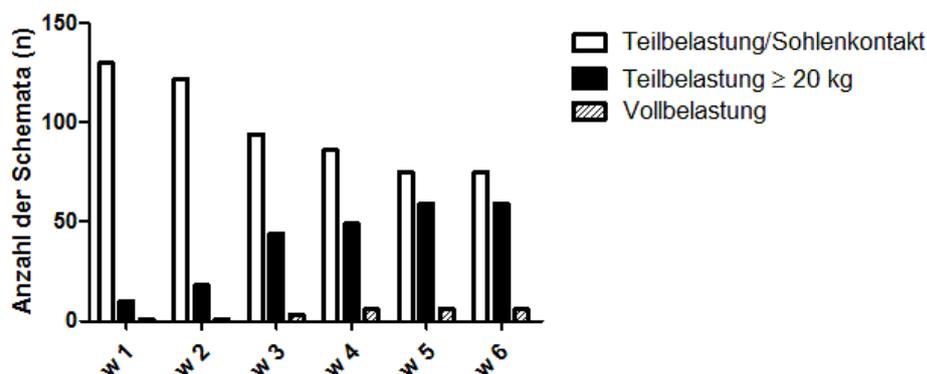


Abbildung 52: Belastung nach Arthrodesese im USG in Wochenschritten (w)

#### 4.5.5 Bewegungsausmaß

Für die Nachbehandlung der Arthrodesese des unteren und des oberen Sprunggelenkes erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich des Grades des erlaubten Bewegungsausmaßes.

Bei der Nachbehandlung von Arthrodesesen im unteren und oberen Sprunggelenk kamen in den Schemata folgende Bewegungsgrade zum Einsatz: Immobilisierung bei 0°, eine ROM von -10 bis +10°, eine freie ROM mit lateraler Stabilisierung, eine freie ROM.

Für die postoperative Nachbehandlung der Arthrodesese des oberen Sprunggelenkes zeigte sich bezüglich des Bewegungsausmaßes ein eindeutiger Trend zur Immobilisierung in 0°. Dieser Trend war ab Woche 1 bei 96,8% der Einrichtungen bis in Woche 6 bei 87,9% der Einrichtungen festzustellen (Abbildung 53).

Auch in der Nachbehandlung der Arthrodesese des unteren Sprunggelenkes wählten in Woche 1 86,5% der Einrichtungen die Immobilisierung in 0°, allerdings wurde hier ab Woche 2 vermehrt eine ROM von -10° bis +10° empfohlen. Gegen Ende des 6-Wochen-Intervalls waren die Empfehlungen zur Immobilisierung in 0° zu 51,1% und zur ROM von -10° bis +10° zu 48,2% verteilt (Abbildung 54).

Eine größere ROM wurde in beiden Fällen im betrachteten Zeitraum nicht empfohlen.

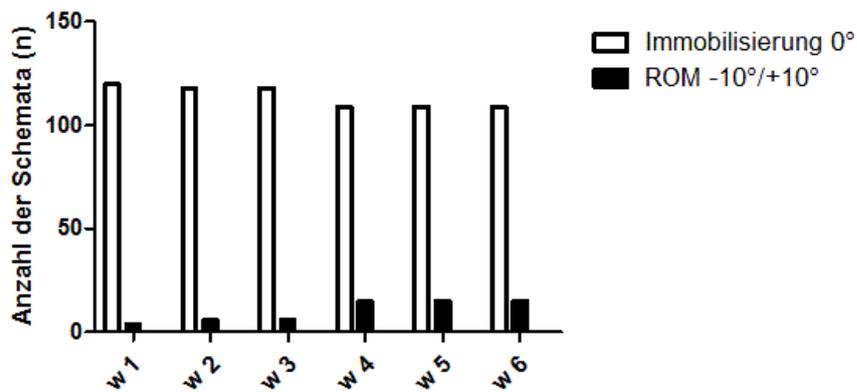


Abbildung 53: Bewegungsausmaß nach Arthrodesese im OSG in Wochenschritten (w)

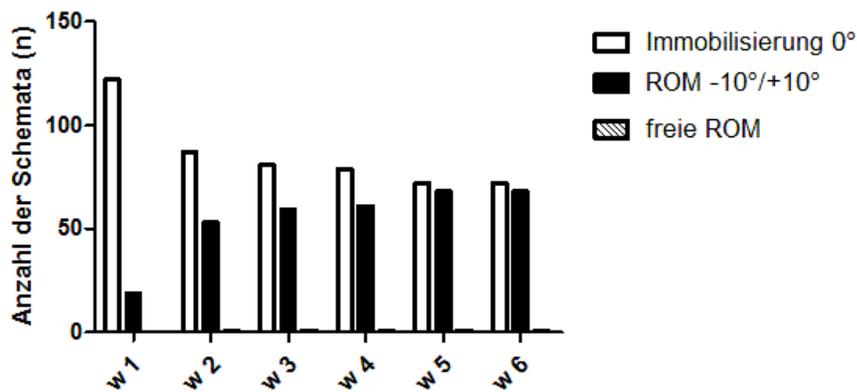


Abbildung 54: Bewegungsausmaß nach Arthrodesese im USG in Wochenschritten (w)

#### 4.5.6 Physiotherapie

Für die Nachbehandlung der Arthrodesse des unteren und des oberen Sprunggelenkes erfolgte eine wochenweise Auswertung hinsichtlich der Empfehlung zur Durchführung von Physiotherapie.

Die Empfehlungen bezüglich der Physiotherapie waren uneinheitlich. Sowohl bei der Nachbehandlung der Arthrodesse des oberen Sprunggelenkes (79,0%) als auch der des unteren Sprunggelenkes (76,6%) wurde unmittelbar postoperativ von der Mehrheit ein Verzicht auf physiotherapeutische Anwendungen angeraten. Im weiteren Nachbehandlungsverlauf ergab sich ein deutlich ausgeglicheneres Verhältnis von Empfehlung zu ausbleibender Empfehlung mit einer Tendenz zur Empfehlung von Physiotherapie. Der Umschlagspunkt in der Zahl der Empfehlungen lag für die Arthrodesse des oberen Sprunggelenkes in Woche 4, für die Arthrodesse des unteren Sprunggelenkes bereits in Woche 3 (Abbildungen 55 und 56).

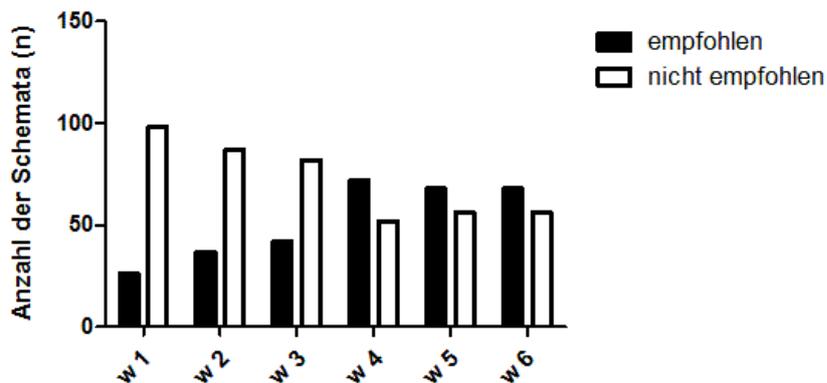


Abbildung 55: Physiotherapieempfehlung nach Arthrodesse im OSG in Wochenschritten (w)

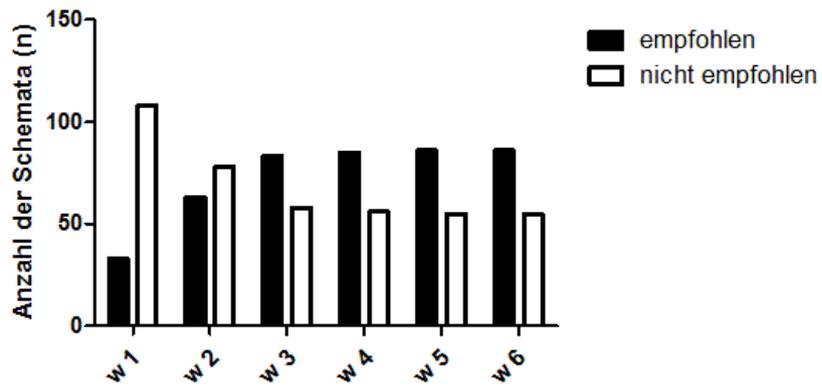


Abbildung 56: Physiotherapieempfehlung nach Arthrodesese im USG in Wochenschritten (w)

## **5 Diskussion**

### **5.1 Nachbehandlung von Brüchen der Mittelfußknochen**

Als Frakturlokalisierung mit der fünfthöchsten Inzidenz beim Menschen ist die metatarsale Fraktur eine alltägliche Verletzung für Unfallchirurgen und Orthopäden (Court-Brown und Caesar 2006). Eine Behandlung dieser Verletzungen ist insbesondere von der Art der Fraktur, der genauen Lokalisation im Mittelfußknochen, aber auch von individuell beeinflussenden Faktoren des Patienten wie beispielsweise Compliance, Körpergewicht und Fitnesszustand abhängig. Neben der Entscheidung zwischen einem konservativen oder einem operativen Therapieprozedere rückt zunehmend die Art und Dauer der Nachbehandlung – insbesondere frühzeitig nach Trauma oder Operation – in den Mittelpunkt der aktuellen Forschung (Bowes und Buckley 2016). Hier gibt es bisher keine einheitlichen Empfehlungen, weswegen diese Studie mit Hilfe einer Datenerhebung von Nachbehandlungsprotokollen zahlreicher Kliniken und Praxen aus dem deutschsprachigen Raum einen aktuellen Stand erfasst, um die aktuellen Standards der täglichen Frakturbehandlung am Mittelfuß in Deutschland widerzuspiegeln.

Aufgrund der geringen Anzahl an veröffentlichten Studien im Bereich der metatarsalen Frakturen werden Therapieempfehlungen und Nachbehandlungsprotokolle häufig in Einzelstudien verfasst. Viele dieser Veröffentlichungen beklagen die geringe Anzahl an bisher erfassten Daten und die schlechte Qualität der eingeschlossenen Studien (Dameron, JR. 1995; Lawrence und Botte 1993; Bowes und Buckley 2016). Eine Schwierigkeit bei der Erstellung eines einheitlichen Therapie- und Nachbehandlungsregimes für metatarsale Frakturen sind die unterschiedlichen anatomischen Besonderheiten je nach Frakturlokalisierung im Mittelfußbereich. Undislozierte metatarsale Frakturen sowie metatarsale Frakturen des zweiten bis vierten Strahls mit Verschiebung der Fragmente in der Horizontalebene können im Allgemeinen konservativ therapiert werden. Hierbei wird eine vorübergehende Teilbelastung des betroffenen Fußes in einem Orthesenschuh oder auch –stiefel angestrebt (Rammelt et al. 2004). Diese Empfehlungen konnten in der erhobenen Bestandsaufnahme der aktuell praktizierten Nachbehandlung nachgewiesen werden. Allgemeine metatarsale Frakturen werden überwiegend mit einer Teilbelastung ab Woche 1, die zügig bis Woche 6 zur Vollbelastung gesteigert wird, im Orthesenschuh mit einem Verzicht auf Immobilisierung im Sprunggelenk und

einem Verzicht auf Physiotherapie nachbehandelt. Weisen dagegen Frakturen des ersten und fünften Mittelfußknochens signifikante Verschiebungen auf, sollten diese operativ versorgt werden, um Pseudarthrosen und langfristig Fehlstellungen des Fußes wie beispielsweise einem Hallux valgus vorzubeugen – diese entstehen meist in Folge einer veränderten Belastungsverteilung auf die abstützenden Strahlen des Fußes (Sanders 1999; Zwipp und Rammelt 2002). Für diese Frakturen konnte gezeigt werden, dass postoperativ zum Schutz der Osteosynthese und zur verbesserten Knochenheilung gegenüber dem konservativen Therapieprozedere zwar eine etwas vorsichtigeren Aufbelastung des Fußes erfolgt, allerdings der Bewegungsumfang im Sprunggelenk im Orthesenschuh als Mittel der Wahl weiterhin frei gegeben wird.

Die Region des proximalen Endes des fünften Os metatarsale nimmt weitestgehend eine Sonderstellung ein, da hier zum einen durch den knöchernen Sehnenansatz des Musculus peroneus brevis eine Zugbelastung entsteht, zum anderen der fünfte Strahl des Fußes gemeinsam mit dem ersten Strahl und dem Rückfuß als Hauptlastträger gilt und somit hier eine stärkere Druckbelastung entsteht. Trotz dieser anatomischen Voraussetzungen konnten verschiedene Studien zeigen, dass Frakturen der Basis des fünften Os metatarsale ohne Immobilisierung des Sprunggelenks und mit funktioneller Nachbehandlung gut verheilen (Gray et al. 2008; Wiener et al. 1997; Zwitter und Breederveld 2010). Lawrence und Botte etablierten für proximale Metatarsale-5-Frakturen eine Unterteilung in drei Zonen, wobei die zuvor beschriebenen stabileren Basisfrakturen des Os metatarsale der Zone 1 entsprechen. Weiter wird die etwas distalere, sogenannten Jones-Fraktur am Os metatarsale 5 als Zone 2 deklariert (Lawrence und Botte 1993). In der Literatur werden für die Jones-Fraktur verschiedene (Nach-)Behandlungskonzepte aufgeführt, die von der funktionellen Behandlung der Frakturen in Zone 1 abweichen. In der vorliegenden Studie aber wiesen die Nachbehandlungsprotokolle der Metatarsale-5-Basisfraktur gegenüber der Jones-Fraktur keine wesentlichen Unterschiede zur Behandlung auf. Es wird in den ersten sechs Wochen überwiegend in einem Kniehohen Orthesentiefel bei initialer Immobilisierung des Sprunggelenkes bei 0° und später freigegebenen 20° Bewegungsumfang behandelt. Die Belastung wird hierbei nur schrittweise von einer Teilbelastung zur Vollbelastung gesteigert, mit zunehmender Belastung wird auch vermehrt Physiotherapie durchgeführt. Auffallend ist allerdings eine mehrheitlich deutlich frühere Vollbelastung nach Jones-Fraktur,

sowohl konservativ als auch operativ versorgt, ab Woche 2 gegenüber der Metatarsale-5-Basis-Fraktur. Dies steht einer restriktiveren Nachbehandlung der Jones-Fraktur in der Literatur (Klos et al. 2019) aufgrund der Gefahr hoher Komplikationsraten gegenüber. Die Evidenzlage solcher Komplikationen ist aber gering. Ein Vergleich mit der Nachbehandlung bei Frakturen in der noch distaleren Zone 3 nach Lawrence und Botte, die bekannterweise eine deutliche schlechtere Heilungsrate haben, sind nicht möglich, da keine der untersuchten Einrichtungen ein separates Nachbehandlungsschema hierfür erstellte. Dem gegenüber lagen für Frakturen der Metatarsalknochen 193 Protokolle, Metatarsale-5-Basisfrakturen 110 Protokolle und Jones-Frakturen 70 Protokolle vor. Sollte eine deutliche Abgrenzung in der Nachbehandlung von Frakturen der Zone 1 und 2 gegenüber Zone 3 feststellbar sein, wäre eine zukünftige Einteilung in lediglich zwei Zonen gemäß ihrem Heilungspotenzial sinnvoll, wie neuerlich vorgestellte Konzepte vorschlagen (Polzer et al. 2012b). Mögliche Ursachen der Diskrepanz zwischen Literatur und klinischem Alltag in der Funktionalität der Nachbehandlung von proximalen Metatarsale-5-Frakturen können eine Uneinheitlichkeit und Ungenauigkeit in der Frakturklassifikation sowie aufgrund fehlender Evidenz die Befürchtung einer verzögerten Frakturheilung sein (Bowes und Buckley 2016).

Zusammenfassend lässt sich aus neuesten Studien bei den proximalen Metatarsale-5-Frakturen ein besseres Outcome durch eine früher funktionelle Nachbehandlung in einer abnehmbaren Orthese oder einer funktionellen elastischen Bandage kombiniert mit einem flachen hart-besohnten Schuh gegenüber einer klassischen Gipsruhigstellung ableiten (Pituckanotai et al. 2018; Biz et al. 2017). Dass die Anwendung solcher funktioneller Orthesen bereits eine sehr große klinische Verbreitung hat, belegt die vorliegende Studie. Dennoch ist weiterhin ungeklärt wie groß der Einfluss der Sprunggelenksimmobilisierung und der Belastung auf die Heilung von Frakturen im Bereich des proximalen Endes des Os metatarsale 5 ist und sollte zukünftig Gegenstand weitreichender Forschung auf dem Gebiet der Biomechanik sein. Zudem sind systematische Studien, die das Outcome der Versorgung und Nachbehandlung von metatarsalen Frakturen – die Metatarsale-5-Fraktur ausgenommen – untersuchen, bisher nicht existent (Rammelt et al. 2004). Mit Hilfe der vorliegenden Studie als Bestandsaufnahme der aktuell angewandten Therapie und Nachbehandlung von metatarsalen Frakturen wären solche Studien zur Untersuchung der Langzeitergebnisse wünschenswert.

## **5.2 Nachbehandlung von Außenbandverletzungen am Sprunggelenk**

Betrachtet man die Ergebnisse der vorliegenden Studie bezüglich der Nachbehandlung von lateralen Bandverletzungen des Knöchels, so lässt sich für die postoperative Nachbehandlung ein eher zurückhaltendes Therapieprozedere und für die posttraumatische, konservative Behandlung ein frühfunktionelles Therapieprozedere feststellen. Diese Studie ist die erste ihrer Art, indem sie Daten über die aktuell angewendete Nachbehandlung solcher Verletzungen innerhalb der ersten 6 Wochen nach Trauma erfasst und zugleich eine Aufteilung in postoperativ und posttraumatisch zulässt. Es erscheint ungewöhnlich, dass die nicht operativ versorgten lateralen Bandverletzungen am Sprunggelenk gegenüber den operativ Versorgten ein deutlich frühfunktionelleres Therapieregime erfahren sowohl in Bezug auf frühzeitige Vollbelastung als auch insbesondere frühzeitige Freigabe der Bewegung und Benutzung einer lediglich lateral stabilisierenden Sprunggelenksorthese. Einen derartigen Trend konnten bereits weitere Studien dokumentieren (Polzer et al. 2012a; Petersen et al. 2013; Kemler et al. 2011; Lynch und Renström 1999). Im unmittelbaren Vergleich zu den in dieser Studie gefundenen restriktiveren Nachbehandlungen nach operativer Versorgung muss die Frage gestellt werden, ob bei konservativer Therapie die Heilungschance der Bänder überschätzt wird oder nach operativem Vorgehen die Nachbehandlung zu vorsichtig durchgeführt wird. Als dritte Erklärungsmöglichkeit könnte angeführt werden, dass eine schwerwiegendere Verletzung mit höherer Wahrscheinlichkeit operativ versorgt wird und somit auch restriktiver nachbehandelt wird. Diese Frage lässt sich aber aus der aktuellen Datenlage nicht beantworten, hierfür sind weiterführende Studien notwendig.

Betrachtet man die bisher vorhandene Literatur bezüglich der Thematik, findet man keine genauen Empfehlungen für eine schrittweise Nachbehandlung akuter, lateraler Bandverletzungen am Sprunggelenk hinsichtlich ROM in Orthesen, Belastung und Einsatz von Physiotherapie. Es lassen sich aber grundsätzlich Ergebnisse finden, die eine gute Heilungstendenz solcher Verletzungen bestätigen, sofern eine angemessene Therapie bestehend aus überwiegend Immobilisierung und eingeschränkter ROM begonnen wird (Kemler et al. 2011; Bleakley et al. 2008). Grundlegend für diese Studie sind die verschiedenen Strategien zur Heilung von Bändern im Rahmen unterschiedlicher Nachbehandlungen, vorausgesetzt man berücksichtigt die spezifischen Indikationen für eine operative Versorgung.

Heutzutage wird ein operatives Therapieverfahren nur individuell gestellt, häufig bei bestehender Instabilität trotz Durchführung eines konsequenten, etwa 6 Monaten dauernden Rehabilitationsprogramms (Kerkhoffs et al. 2012).

Bei der Untersuchung der Nachbehandlungsprotokolle im Anschluss an eine der verschiedenen operativen Rekonstruktionen des lateralen Bandapparates am Sprunggelenk (Smith und Davies 2008) fanden sich nahezu ausnahmslos restriktive Vorgaben wie eine mehrere Wochen andauernde Immobilisierung, teils in einem festen VACOPed®. Als möglichen Grund für eine derartig vorsichtige Nachbehandlung könnte der Schutz der eigenen operativen Ergebnisse genannt werden.

Demgegenüber stehen bei der konservativen Behandlung von Außenbandverletzungen des Sprunggelenkes eine nahezu sofortige Vollbelastung, teilweise bis keine Einschränkung der ROM und Verzicht auf immobilisierende Orthesen in den analysierten Nachbehandlungsschemata. Diese Aspekte lassen sich unter dem Begriff der frühfunktionellen Nachbehandlung zusammenfassen, der bereits seit einigen Jahren in der Literatur geprägt wurde (Pearce et al. 2016; Petersen et al. 2013; van den Bekerom et al. 2013; Keene et al. 2014; Porter et al. 2014) und gemäß den vorliegenden Ergebnissen inzwischen zur Routine bei Außenbandverletzungen im klinischen Alltag geworden ist. Somit ist diese Tendenz an sich wenig überraschend und erscheint sinnvoll, wobei durch den Vergleich zur deutlich restriktiveren Nachbehandlung nach operativer Versorgung das konservative Prozedere etwas vereinfacht erscheint. Angesichts der weiterhin bestehenden Komplikationsraten mit chronischer Instabilität, chronischen Schmerzen und muskulären Defiziten bleibt dennoch eine Unterschätzung der Außenbandverletzungen am Sprunggelenk (Ferran und Maffulli 2006) zu diskutieren. Es wird auch in der Literatur davor gewarnt, die konservative Therapie mit „therapeutischem Nihilismus“ zu verwechseln. Eine 6-wöchige Stabilisierung des Bandapparates in einer Orthese mit frühzeitiger Physiotherapie für Sensomotorik und Stabilisierung des Sprunggelenkes erscheint überblickend als empfehlenswert (Walther et al. 2013). Sollten im Verlauf Komplikationen wie oben beschrieben auftreten ist eine frühsekundäre Bandrekonstruktion mit ähnlich guten Ergebnissen wie die primäre Bandnaht beschrieben (Brodsky et al. 2005). Daher erscheint eine primäre operative Versorgung als nicht medizinisch indiziert (Tiling et al. 1994).

Um die Nachbehandlung nach Außenbandverletzungen durch einheitliche Richtlinien zu verbessern, sind weiterführende Studien mit langem Follow-Up bezüglich des Outcomes verschiedener Nachbehandlungsstrategien notwendig. Die vorliegende Studie bietet hierfür eine einzigartige Grundlage durch die Erfassung der aktuell durchgeführten klinischen Routine innerhalb der ersten 6 Wochen.

### **5.3 Nachbehandlung von Osteochondralen Transplantationen am Sprunggelenk**

Im Vergleich zu den Ergebnissen der anderen in dieser Arbeit betrachteten Verletzungen stellt sich die aktuelle Nachbehandlung einer osteochondralen Transplantation am oberen Sprunggelenk sehr einheitlich dar. Wie oben bereits beschrieben finden sich osteochondrale Läsionen am oberen Sprunggelenk überwiegend im Bereich der hauptlasttragenden Zone des Talus (Berndt und Harty 1959). Somit liegt es nahe, dass zur Einheilung des Knorpel-Knochen-Zylinders am Talus eine Entlastung oder zumindest eine Teilbelastung notwendig ist. Über die Dauer dieser Teilbelastung finden sich wenige, aber überwiegend einstimmige Aussagen. Bei einem Großteil der Autoren steht ein Zeitraum von 6-12 Wochen im Mittelpunkt (Haasper et al. 2008). Betrachtet man die Therapieempfehlungen in der Literatur bezüglich der konservativen Therapie von osteochondralen Läsionen so findet man einen ähnlichen Teilbelastungszeitraum in Kombination mit einer Immobilisation des Sprunggelenkes (Biedert 1989; Flick und Gould 1985; Badekas et al. 2013), nur bei speziellen Indikationen wird eine Teilbelastung von bis zu 6 Monaten empfohlen (Canale und Belding 1980; Deutsch et al. 1992). Eine Immobilisation des Sprunggelenkes ist notwendig, weil kein gesunder hyaliner Knorpel an der Defektzone vorhanden ist und somit Bewegung das Gelenk weiter schädigen würde. Bei der osteochondralen Transplantation hingegen wird gesunder hyaliner Knorpel direkt in die Defektzone eingesetzt. Somit ist eine frühfunktionellere Bewegung des Sprunggelenkes möglich wie auch die klinisch erfassten Daten der vorliegenden Studie zeigen. Eine große Mehrheit der Einrichtungen ließ in den ersten 6 Wochen einen Bewegungsumfang von  $-10^{\circ}$  bis  $+10^{\circ}$  sowie physiotherapeutische Behandlung des Sprunggelenkes zu. Es gibt sogar Studien, denen zu Folge nach osteochondraler Transplantation ein voller Bewegungsumfang des Sprunggelenkes erlaubt ist (Haasper et al. 2008). Eine verlängerte Immobilisation nach osteochondraler Transplantation ist nur vereinzelt zu finden (Badekas 2012).

Aufgrund der Möglichkeit einer frühfunktionelleren Nachbehandlung ist die osteochondrale Transplantation derzeit eine erfolgsversprechende Therapie, um bei größeren Defekten und Patienten mit frühzeitig hohem Belastungsanspruch wie Sportlern gute Ergebnisse zu erzielen (Flynn et al. 2016; Fraser et al. 2016a; Paul et al. 2012; Gautier et al. 2002; Al-Shaikh et al. 2002). Sie scheint zudem nach primärer fehlgeschlagener arthroskopischer Behandlung die deutlich bessere Behandlung zur

Revision gegenüber einer erneuten Arthroskopie zu sein (Yoon et al. 2014; Kreuz et al. 2006). Häufig benannte Komplikationen im Bereich der Zylinderentnahmestelle (Valderrabano et al. 2009b) spielen gemäß der aktuellen Datenlage auf einen längeren Zeitraum gesehen kaum noch eine Rolle (Yoon et al. 2014; Fraser et al. 2016b). Bei kleineren Defekten oder noch ausschließlich subchondral liegenden Defekten sind frühfunktionellere Nachbehandlungen mit vermehrtem Bewegungsumfang im Sprunggelenk sowie frühzeitiger Belastungssteigerung ebenfalls möglich nach retrogradem Anbohren der Defektzone. Mehrere Studien belegen hierbei gute Resultate (Kono et al. 2006; Rosenberger et al. 2006; Taranow et al. 1999).

Zusammenfassend besteht ein überwiegender Konsens in der Nachbehandlung von osteochondralen Transplantationen mit Teilbelastung von 6-12 Wochen postoperativ sowie unmittelbarer Freigabe von Bewegung im Sprunggelenk. Dieser Konsens liegt zum einen in der oben genannten Lokalisation von osteochondralen Läsionen in der Hauptbelastungszone und daraus folgenden eindeutigen biomechanischen Regeln der Teilbelastung, die es zu beachten gilt. Als weiterer Grund für diese Einstimmigkeit ist wohl auch die Durchführung von osteochondralen Transplantationen in spezialisierten Einrichtungen zu nennen. In der vorliegenden Studie boten nur etwa ein Fünftel aller Einrichtungen ein Nachbehandlungsschema für die osteochondrale Transplantation an. Somit ist der Expertenkreis kleiner als bei alltäglicheren Operationen und somit der Wissensaustausch effektiver. Hieraus resultiert schließlich eine einheitlichere Empfehlung zur postoperativen Nachbehandlung.

#### **5.4 Nachbehandlung von Arthrodesen am Sprunggelenk**

Es muss vorweggenommen werden, dass die Nachbehandlung von Arthrodesen am oberen und unteren Sprunggelenk gemäß der aktuellen Literatur stark abhängig ist von der Wahl des Arthrodeseverfahrens. Bevor hierauf genauer eingegangen wird, werden zunächst nochmals die vereinheitlichten Ergebnisse der vorliegenden Studie betrachtet.

Sowohl beim oberen als auch beim unteren Sprunggelenk wird für die Nachbehandlung der Arthrodesen ein Zeitraum von mindestens 6, wenn nicht mehr Wochen angesetzt. Ebenfalls unabhängig von der exakten Lokalisation wird als Orthese der Wahl einheitlich der kniehohe VACOped-Stiefel gewählt. Für die Arthrodesen des oberen Sprunggelenkes wird dieser in der vorliegenden Studie merkbar restriktiver bezüglich des Bewegungsumfanges eingesetzt mit fast 6-wöchiger Immobilisation bei 0 Grad als bei der des unteren Sprunggelenkes, bei der man bereits ab Woche 2 einen Trend zu einer ROM von -10 bis +10 Grad feststellen konnte. Dies erscheint logisch, da die Dorsalextension und Plantarflexion der Bewegung des oberen Sprunggelenkes entspricht, während das untere Sprunggelenk die Inversion und Eversion bedient. Bei der Belastung des operierten Beines besteht kaum ein Unterschied zwischen oberem und unterem Sprunggelenk. Nach initialer Teilbelastung wird nach 3-4 Wochen die Teilbelastung über 20kg erhöht. Eine Vollbelastung bleibt innerhalb der ersten 6 Wochen nahezu aus. Die ergänzende Physiotherapie wird uneinheitlich, aber zunehmend in den späteren Behandlungswochen empfohlen.

Bei der Arthrodesen des oberen Sprunggelenkes werden in der Literatur unterschiedlichste Verfahren diskutiert (siehe Einleitung). Je nach Operationsverfahren ist somit eine frühfunktionellere Nachbehandlung möglich. Die wohl derzeit frühfunktionellste Nachbehandlungsempfehlung wird für die Kompressionsmarknagelarthrodesen ausgesprochen. Ähnlich den Prinzipien der Marknagelosteosynthese ist also bereits nach Abschluss der Wundheilung eine schmerzadaptierte Vollbelastung ohne Gipsanlage mit Abrollhilfe im Schuh möglich (Mückley et al. 2003), was gegenüber den Ergebnissen dieser Studie eine deutliche Abweichung darstellt. Demgegenüber steht die Schraubenarthrodesen, bei der eine postoperative Gips- oder Orthesenbehandlung bei längerer Teilbelastung empfohlen wird, teilweise sogar Gipsruhigstellung bis zur knöchernen Konsolidierung (Braly et

al. 1994; Cameron und Ullrich 2000). Eine umso frühere funktionelle Nachbehandlung ist aus Autorensicht wie auch in der Literatur beschrieben für das Outcome förderlich, da eine Verbesserung der Beweglichkeit der angrenzenden Gelenke aufgrund der kürzeren Immobilisation eine bessere Kompensation für das versteifte Gelenk ermöglicht (Wagner und Pock 1982).

Betrachtet man die Nachbehandlung von isolierten subtalaren Arthrodesen in der Literatur, so findet man überwiegend eine Teilbelastung von mindestens 8 Wochen, bei Einbringen von Knochentransplantaten von mindestens 10-12 Wochen, nach 6-Wochen-postoperativer Röntgenkontrolle Steigerung der Belastung. Somit wird die Nachbehandlung der subtalaren Arthrodesen über einen längeren Zeitraum beschrieben als die erfassten Ergebnisse es vermitteln, wobei der in dieser Arbeit untersuchte Zeitraum von 6 Wochen hier eine Limitierung der Aussagekraft darstellt. Der Zeitpunkt der Vollbelastung im derzeitigen Behandlungsstandard des untersuchten Gebietes ist aufgrund dieser Limitation nicht ersichtlich und somit nicht vergleichbar. In der Literatur wird - wie auch in der vorliegenden Studie erfasst - ein kniehohes Orthesenschuh wie der VACOPed empfohlen. Eine aktive Beübung des oberen Sprunggelenkes darf frühzeitig erfolgen (Fuhrmann und Pillukat 2016). Diese frühzeitige Physiotherapie deckt sich durchaus mit den ausgewerteten Ergebnissen dieser Studie. Vereinzelt wird die Nachbehandlung aber auch sehr zurückhaltend mit Immobilisierung des Sprunggelenkes bei 0° in einem Gips und kompletter Entlastung des Beines in den ersten 6 Wochen durchgeführt. In den folgenden 6 Wochen erfolgt die schrittweise Aufbelastung bis zur Vollbelastung in einem kniehohen Orthesenschuh, während dieser Zeit wird auch erst die Physiotherapie gestartet (Ferraio et al. 2016). Es lässt sich daher vermuten, dass ähnlich wie bei der Arthrodesen des oberen Sprunggelenkes die Nachbehandlung individuell an das Arthrodeseverfahren angepasst werden muss. Eine grundlegende Klärung der besten Operationsmethode im Bereich der Arthrodesen des oberen und unteren Sprunggelenkes wäre aus Autorensicht ein wichtiger Schritt zu einer einheitlichen und möglichst frühfunktionellen Nachbehandlung.

Desweiteren werden die in der Literatur teils hohen Komplikationsraten wie beispielsweise für die Pseudarthrose betrachtet. Das Risiko einer Pseudarthrose lässt sich je nach Quelle mit über 11% (Johnson und Boseker 1968), über 23% (Schaap et al. 1990) oder auch über 30% (Scranton et al. 1980) beziffern. Es lässt

sich allerdings nur schwer eine Aussage über den Zusammenhang zwischen frühfunktioneller Nachbehandlung und dem Risiko einer Pseudarthrose oder einer Achsabweichung treffen, da diese Komplikationen ebenfalls in großen Anteilen mit verschiedenen Operationsverfahren, der Qualität der Durchführung der Operation (Maurer et al. 1991) und Risikofaktoren wie beispielweise Nikotinabusus oder vorangegangenen Infektionen (Frey et al. 1994) zusammenhängen. Somit wäre auch in dieser Hinsicht zunächst eine grundlegende Empfehlung zur besten operativen Methode sinnvoll. Im Anschluss sollten Studien mit langem Follow-Up die beste Nachbehandlung ermitteln.

## 5.5 Fazit

Diese Studie zeigt für die untersuchte Nachbehandlung von Frakturen der Metatarsalknochen, die laut der spärlichen Literatur aufgrund der anatomischen Besonderheiten von der Lokalisation abhängig variieren sollte, weniger Unterschiede auf als erwartet. Fällt bei den allgemeinen metatarsalen Frakturen die Wahl auf eine konservative Therapie, so wird sehr einheitlich im kniehohen Orthesenschuh ohne Immobilisierung im Sprunggelenk bei einer anfänglichen Teilbelastung und zügiger Aufbelastung zur Vollbelastung in den ersten 6 Wochen therapiert. Wenn die Indikation zur operativen Therapie gestellt wird, wird postoperativ die Nachbehandlung zwar leicht restriktiver bezüglich der Belastung, aber die ROM im Orthesentiefel ist dennoch frei.

Bei den Sonderfällen der proximalen Metatarsale-5-Frakturen gibt es laut Literatur eine verbreitete Unterteilung in 3 Zonen, die therapeutisch relevant sind aufgrund der vorliegenden Biomechanik und Heilungstendenzen. Im Bereich der Zonen 1 und 2 keine wesentlichen Behandlungsunterschiede im therapeutischen Alltag feststellen. Es wird in den ersten sechs Wochen überwiegend in einem Knie-hohen Orthesentiefel bei initialer Immobilisierung des Sprunggelenkes bei 0° und später freigegebenen 20° Bewegungsumfang behandelt. Die Belastung wird hierbei nur schrittweise von einer Teilbelastung zur Vollbelastung gesteigert, mit zunehmender Belastung wird auch vermehrt Physiotherapie durchgeführt. Behandlungen der Zone 3 wurden nicht separat abgegrenzt, so dass hier keine Aussage zu treffen ist. Es konnte aber gezeigt werden, dass ein frühfunktioneller Ansatz im Bereich der metatarsalen Frakturen bereits tagtäglich weit verbreitet ist. Bei teils deutlicher Diskrepanz zwischen Praxis und Literatur im Bereich der Metatarsale-5-Fraktur ist aber eine weitreichendere klinische Forschung und ein anschließender Transfer der erreichten Ergebnisse in den Alltag nötig.

Außenbandrupturen des Sprunggelenkes sind überwiegend eine Domäne der konservativen Therapie, die in der Literatur zunehmend frühfunktionell gefordert wird. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass eine frühfunktionelle Nachbehandlung mit nahezu fehlender Immobilisierung, mit Vollbelastung und frühzeitiger Physiotherapie bereits sehr einheitlich Einzug in den klinischen Alltag deutschlandweit gehalten hat. Es konnte darüber hinaus die oftmals angenommene These gestützt werden, dass die Nachbehandlung von operativ behandelten

Außenbandrupturen des Sprunggelenkes deutlich restriktiver ausfällt als die konservative Therapie. Eine zielführende Diskussion über eine möglicherweise zu frühfunktionelle konservative Therapie und eine möglicherweise zu restriktive postoperative Nachbehandlung ist derzeit aufgrund der geringen Studienzahl nicht möglich. Der Bedarf an Studien in diesem Gebiet sollte zeitnah gefüllt werden, um die Anzahl möglicher Komplikationen wie chronische Instabilitäten oder Bewegungseinschränkungen zu minimieren.

Die Nachbehandlung nach osteochondralen Transplantationen im oberen Sprunggelenk zeigt einen überwiegenden Konsens unter den untersuchten Einrichtungen. Der Patient muss postoperativ 6-12 Wochen lang entbeziehungsweise teilbelasten, es darf aber bereits von Beginn an das Sprunggelenk bewegt und physiotherapeutisch behandelt werden. Gründe für den Konsens sind zum einen die logische Einhaltung biomechanischer Regeln, zum anderen die Expertise der behandelnden Einrichtungen, da nur wenige Einrichtungen solche Operationen durchführen und somit ein besserer Wissensaustausch zwischen spezialisierten Einrichtungen besteht.

Bei den Arthrodesen des oberen wie des unteren Sprunggelenks ist eine Nachbehandlung sehr abhängig von der Art der Operationsmethode. Deutschlandweit wird derzeit nach Arthrodesen des oberen Sprunggelenks sehr einheitlich restriktiv mit mindestens 6-wöchiger Teilbelastung unter Immobilisation bis zu 6 Wochen im VACOped therapiert. Aus Autorensicht wäre eine frühfunktionellere Nachbehandlung für das langfristige Outcome wünschenswert, neuere Operationsmethoden wie die Kompressionsmarknagelarthrodese ermöglichen dies, müssen aber wohl noch mehr Verbreitung finden. Arthrodesen des unteren Sprunggelenkes werden ebenfalls restriktiv bezüglich der Belastung mit einer Teilbelastung von mindestens 6 Wochen im VACOped therapiert, ermöglichen aber der Anatomie geschuldet bereits frühzeitig erhöhte ROM im oberen Sprunggelenk und physiotherapeutische Beübung. Da sich aber vereinzelt auch in diesen Bereichen sehr restriktive Nachbehandlungskonzepte in der Literatur finden lassen, sollte vor weiteren Studien mit langem Follow-Up eine Entscheidung bezüglich des besten Operationsverfahrens getroffen werden. Dies gilt für die Arthrodesen des oberen wie die des unteren Sprunggelenkes.

## **5.6 Limitationen der Arbeit**

In dieser Studie werden ausschließlich von Kliniken und Praxen ausgestellte Nachbehandlungsprotokolle bei der Nachbehandlung von Fußverletzungen analysiert. Über die einheitliche Umsetzung dieser Protokolle durch das klinikinterne Team sowie durch die Patienten ist keine Aussage möglich. Die Protokolle enthielten teils Überbegriffe für Operationsverfahren, unter denen viele verschiedene Varianten der Operation verstanden und auch praktiziert werden. Unterschiede in der Nachbehandlung sind somit nachvollziehbar und können aber in dieser Studie nicht weiter differenziert werden, sondern nur in die Diskussion mitaufgenommen werden. In einigen Protokollen wurde zwischen der konservativen und operativen Therapie nicht weiter differenziert, so dass in diesen Fällen nur eine ungenaue Zuordnung erfolgen konnte. Zudem ist aufgrund der fehlenden Daten einer Nachuntersuchung bezüglich des Outcomes der Patienten keine Stellungnahme bezüglich den Vorzügen und einer Effektivität bestimmter Nachbehandlungsstrategien gegenüber anderen möglich. Der Nachbehandlungszeitraum im Fokus der Studie wurde mit 6 Wochen postoperativ oder posttraumatisch festgelegt. Es zeigte sich, dass bei Operationsverfahren wie beispielsweise den Sprunggelenksarthrodesen ein längeres Beobachtungsintervall sinnvoll gewesen wäre.

## 6 Literaturverzeichnis

- 1 Al-Shaikh, R. A.; Chou, L. B.; Mann, J. A.; Dreeben, S. M.; Prieskorn, D. (2002): Autologous osteochondral grafting for talar cartilage defects. In: *Foot & ankle international* 23 (5), S. 381–389. DOI: 10.1177/107110070202300502.
- 2 Aurich, M.; Albrecht, D.; Angele, P.; Becher, C.; Fickert, S.; Fritz, J. et al. (2017): Behandlung osteochondraler Läsionen des Sprunggelenks: Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Klinische Geweberegeneration der DGOU. In: *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 155 (1), S. 92–99. DOI: 10.1055/s-0042-116330.
- 3 Badekas, T. (2012): Treatment of talar osteochondral lesions using local osteochondral talar autograft long term results; In: *An international perspective on topics in sports medicine and sports injury*, Zaslav, Kenneth R.
- 4 Badekas, T.; Takvorian, M.; Souras, N. (2013): Treatment principles for osteochondral lesions in foot and ankle. In: *International orthopaedics* 37 (9), S. 1697–1706. DOI: 10.1007/s00264-013-2076-1.
- 5 Baltzer, A. W. A.; Arnold, J. P. (2005): Bone-cartilage transplantation from the ipsilateral knee for chondral lesions of the talus. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 21 (2), S. 159–166. DOI: 10.1016/j.arthro.2004.10.021.
- 6 Barg, A.; Pagenstert, G. I.; Hügler, T.; Gloyer, M.; Wiewiorski, M.; Henninger, H. B.; Valderrabano, V. (2013a): Ankle osteoarthritis: etiology, diagnostics, and classification. In: *Foot and ankle clinics* 18 (3), S. 411–426. DOI: 10.1016/j.fcl.2013.06.001.
- 7 Barg, A.; Smirnov, E.; Paul, J.; Pagenstert, G.; Valderrabano, Victor (2013b): Management der Sprunggelenksarthrose. In: *Orthop. Rheuma* 16 (1), S. 44–52. DOI: 10.1007/s15002-013-0377-9.
- 8 Beck, M.; Mittlmeier, T. (2008a): Antegrade intramedulläre K-Draht-Osteosynthese bei subkapitaler Metatarsalefraktur. In: *Der Unfallchirurg* 111 (10), S. 841–843. DOI: 10.1007/s00113-008-1508-7.
- 9 Beck, M.; Mittlmeier, T. (2008b): Metatarsale Frakturen. In: *Der Unfallchirurg* 111 (10), 829-39; quiz 840. DOI: 10.1007/s00113-008-1509-6.

- 10 Berndt, A. L.; Harty, M. (1959): Transchondral fractures (osteochondritis dissecans) of the talus. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 41-A, S. 988–1020.
- 11 Biedert, R. (1989): Osteochondrale Läsionen des Talus. In: *Unfallchirurg* (92), S. 199–205.
- 12 Biz, C.; Zamperetti, M.; Gasparella, A.; Dalmau-Pastor, M.; Corradin, M.; Guttry, G. de; Ruggieri, P. (2017): Early radiographic and clinical outcomes of minimally displaced proximal fifth metatarsal fractures: cast vs functional bandage. In: *Muscles, ligaments and tendons journal* 7 (3), S. 532–540. DOI: 10.11138/mltj/2017.7.3.532.
- 13 Bleakley, C. M.; McDonough, S. M.; MacAuley, D. C. (2008): Some conservative strategies are effective when added to controlled mobilisation with external support after acute ankle sprain: a systematic review. In: *The Australian journal of physiotherapy* 54 (1), S. 7–20.
- 14 Bowers, C. A.; Catanzariti, A. R.; Mendicino, R. W. (2009): Traditional ankle arthrodesis for the treatment of ankle arthritis. In: *Clinics in podiatric medicine and surgery* 26 (2), S. 259–271. DOI: 10.1016/j.cpm.2008.12.003.
- 15 Bowes, J.; Buckley, R. (2016): Fifth metatarsal fractures and current treatment. In: *World journal of orthopedics* 7 (12), S. 793–800. DOI: 10.5312/wjo.v7.i12.793.
- 16 Braly, W. G.; Baker, J. K.; Tullos, H. S. (1994): Arthrodesis of the ankle with lateral plating. In: *Foot & ankle international* 15 (12), S. 649–653. DOI: 10.1177/107110079401501204.
- 17 Breitfuß, H.; Muhr, G.; Mönnig, B. (1989): Fixateur oder Schraube bei Arthrodesen am oberen Sprunggelenk. Ein retrospektiver Vergleich bei 76 Patienten. In: *Unfallchirurg* (92), S. 245–253.
- 18 Brodsky, A. R.; O'Malley, M. J.; Bohne, W. H.; Deland, J. A.; Kennedy, J. G. (2005): An analysis of outcome measures following the Broström-Gould procedure for chronic lateral ankle instability. In: *Foot & ankle international* 26 (10), S. 816–819. DOI: 10.1177/107110070502601005.
- 19 Cameron, S. E.; Ullrich, P. (2000): Arthroscopic arthrodesis of the ankle joint. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of*

*the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 16 (1), S. 21–26.

20 Canale, S. T.; Belding, R. H. (1980): Osteochondral lesions of the talus. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 62 (1), S. 97–102.

21 Canale, S. T.; Kelly, F. B. (1978): Fractures of the neck of the talus. Long-term evaluation of seventy-one cases. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 60 (2), S. 143–156.

22 Charnley, J. (1951): Compression arthrodesis of the ankle and shoulder. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 33B (2), S. 180–191.

23 Clifford, C.; Berg, S.; McCann, K.; Hutchinson, B. (2015): A biomechanical comparison of internal fixation techniques for ankle arthrodesis. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 54 (2), S. 188–191. DOI: 10.1053/j.jfas.2014.06.002.

24 Court-Brown, C. M.; Caesar, B. (2006): Epidemiology of adult fractures: A review. In: *Injury* 37 (8), S. 691–697. DOI: 10.1016/j.injury.2006.04.130.

25 Dameron, J., JR. (1995): Fractures of the Proximal Fifth Metatarsal: Selecting the Best Treatment Option. In: *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 3 (2), S. 110–114.

26 DeHeer, P. A.; Catoire, S. M.; Taulman, J.; Borer, B. (2012): Ankle arthrodesis: a literature review. In: *Clinics in podiatric medicine and surgery* 29 (4), S. 509–527. DOI: 10.1016/j.cpm.2012.07.001.

27 Deutsch, A. L.; Mink, J. H.; Kerr, R. (1992): MRI of the foot and ankle. New York: Raven Press.

28 Egloff, C.; Gloyer, M.; Barg, K.; Hügler, T.; Pagenstert, G.; Valderrabano, V.; Barg, A. (2013): Arthrose des oberen Sprunggelenks – Ätiologie und Biomechanik. In: *Fuß & Sprunggelenk* 11 (4), S. 179–185. DOI: 10.1016/j.fuspru.2013.09.016.

29 ElAlfy, B.; Ali, A. M.; Fawzy, S. I. (2017): Ilizarov External Fixator Versus Retrograde Intramedullary Nailing for Ankle Joint Arthrodesis in Diabetic Charcot Neuroarthropathy. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 56 (2), S. 309–313. DOI: 10.1053/j.jfas.2016.10.014.

- 30 Ewalefo, S. O.; Dombrowski, M.; Hirase, T.; Rocha, J. L.; Weaver, M.; Kline, A. et al. (2018): Management of Posttraumatic Ankle Arthritis: Literature Review. In: *Current reviews in musculoskeletal medicine* 11 (4), S. 546–557. DOI: 10.1007/s12178-018-9525-9.
- 31 Eylon, S.; Porat, S.; Bor, N.; Leibner, E. D. (2007): Outcome of Ilizarov ankle arthrodesis. In: *Foot & ankle international* 28 (8), S. 873–879. DOI: 10.3113/FAI.2007.0873.
- 32 Ferran, N. A.; Maffulli, N. (2006): Epidemiology of sprains of the lateral ankle ligament complex. In: *Foot and ankle clinics* 11 (3), S. 659–662. DOI: 10.1016/j.fcl.2006.07.002.
- 33 Ferrao, P. N.; Saragas, N. P.; Strydom, A. (2016): Isolated Subtalar Arthrodesis. In: *JBJS essential surgical techniques* 6 (1), S. e12. DOI: 10.2106/JBJS.ST.15.00065.
- 34 Flick, A. B.; Gould, N. (1985): Osteochondritis dissecans of the talus (transchondral fractures of the talus): review of the literature and new surgical approach for medial dome lesions. In: *Foot & ankle* 5 (4), S. 165–185.
- 35 Flynn, J. M.; Kocher, M. S.; Ganley, T. J. (2004): Osteochondritis dissecans of the knee. In: *Journal of pediatric orthopedics* 24 (4), S. 434–443. DOI: 10.1097/00004694-200407000-00015.
- 36 Flynn, S.; Ross, K. A.; Hannon, C. P.; Yasui, Y.; Newman, H.; Murawski, C. D. et al. (2016): Autologous Osteochondral Transplantation for Osteochondral Lesions of the Talus. In: *Foot & ankle international* 37 (4), S. 363–372. DOI: 10.1177/1071100715620423.
- 37 Fraser, E. J.; Harris, M. C.; Prado, M. P.; Kennedy, J. G. (2016a): Autologous osteochondral transplantation for osteochondral lesions of the talus in an athletic population. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 24 (4), S. 1272–1279. DOI: 10.1007/s00167-015-3606-8.
- 38 Fraser, E. J.; Savage-Elliott, I.; Yasui, Y.; Ackermann, J.; Watson, G.; Ross, K. A. et al. (2016b): Clinical and MRI Donor Site Outcomes Following Autologous Osteochondral Transplantation for Talar Osteochondral Lesions. In: *Foot & ankle international* 37 (9), S. 968–976. DOI: 10.1177/1071100716649461.

- 39 Frey, C.; Halikus, N. M.; Vu-Rose, T.; Ebramzadeh, E. (1994): A review of ankle arthrodesis: predisposing factors to nonunion. In: *Foot & ankle international* 15 (11), S. 581–584. DOI: 10.1177/107110079401501102.
- 40 Fuhrmann, R. A.; Pillukat, T. (2016): Die Arthrodesese des Subtalargelenks. In: *Operative Orthopädie und Traumatologie* 28 (3), S. 177–192. DOI: 10.1007/s00064-016-0438-8.
- 41 Gautier, E.; Kolker, D.; Jakob, R. P. (2002): Treatment of cartilage defects of the talus by autologous osteochondral grafts. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 84 (2), S. 237–244.
- 42 Geyer, M.; Sander-Beuermann, A.; Wegner, U.; Wirth, C. J. (1993): Streßreaktionen und Streßfrakturen beim Leistungssportler. Ursachen, Diagnostik und Therapie. In: *Unfallchirurg* 96, S. 66–74.
- 43 Glazebrook, M.; Daniels, T.; Younger, A.; Foote, C. J.; Penner, M.; Wing, K. et al. (2008): Comparison of health-related quality of life between patients with end-stage ankle and hip arthrosis. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 90 (3), S. 499–505. DOI: 10.2106/JBJS.F.01299.
- 44 Goost, H.; Wimmer, M. D.; Barg, A.; Kabir, K.; Valderrabano, V.; Burger, C. (2014): Fractures of the ankle joint: investigation and treatment options. In: *Deutsches Arzteblatt international* 111 (21), S. 377–388. DOI: 10.3238/arztebl.2014.0377.
- 45 Gray, A. C.; Rooney, B. P.; Ingram, R. (2008): A prospective comparison of two treatment options for tuberosity fractures of the proximal fifth metatarsal. In: *Foot (Edinburgh, Scotland)* 18 (3), S. 156–158. DOI: 10.1016/j.foot.2008.02.002.
- 46 Greisberg, J.; Sangeorzan, B. (2007): Hindfoot arthrodesis. In: *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 15 (1), S. 65–71.
- 47 Haasper, C.; Zelle, B. A.; Knobloch, K.; Jagodzinski, M.; Citak, M.; Lotz, J. et al. (2008): No mid-term difference in mosaicplasty in previously treated versus previously untreated patients with osteochondral lesions of the talus. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 128 (5), S. 499–504. DOI: 10.1007/s00402-007-0513-6.

- 48 Hangody, L.; Dobos, J.; Baló, E.; Pánics, G.; Hangody, L. R.; Berkes, I. (2010): Clinical experiences with autologous osteochondral mosaicplasty in an athletic population: a 17-year prospective multicenter study. In: *The American journal of sports medicine* 38 (6), S. 1125–1133. DOI: 10.1177/0363546509360405.
- 49 Hepple, S.; Winson, I. G.; Glew, D. (1999): Osteochondral lesions of the talus: a revised classification. In: *Foot & ankle international* 20 (12), S. 789–793. DOI: 10.1177/107110079902001206.
- 50 Herrera-Pérez, M.; Andarcia-Bañuelos, C.; Barg, A.; Wiewiorski, M.; Valderrabano, V.; Kapron, A. L. et al. (2015): Comparison of cannulated screws versus compression staples for subtalar arthrodesis fixation. In: *Foot & ankle international* 36 (2), S. 203–210. DOI: 10.1177/1071100714552485.
- 51 Hintermann, B.; Boss, A.; Schäfer, D. (2002): Arthroscopic findings in patients with chronic ankle instability. In: *The American journal of sports medicine* 30 (3), S. 402–409. DOI: 10.1177/03635465020300031601.
- 52 Horst, F.; Gilbert, B. J.; Nunley, J. A. (2004): Avascular necrosis of the talus: current treatment options. In: *Foot and ankle clinics* 9 (4), S. 757–773. DOI: 10.1016/j.fcl.2004.08.001.
- 53 Hubbard-Turner, T.; Wikstrom, E. A.; Guderian, S.; Turner, M. J. (2015): An Acute Lateral Ankle Sprain Significantly Decreases Physical Activity across the Lifespan. In: *Journal of sports science & medicine* 14 (3), S. 556–561.
- 54 Hughston, J. C.; Hergenroeder, P. T.; Courtenay, B. G. (1984): Osteochondritis dissecans of the femoral condyles. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 66 (9), S. 1340–1348.
- 55 Hunt, K. J.; Hurwit, D.; Robell, K.; Gatewood, C.; Botser, I. B.; Matheson, G. (2017): Incidence and Epidemiology of Foot and Ankle Injuries in Elite Collegiate Athletes. In: *The American journal of sports medicine* 45 (2), S. 426–433. DOI: 10.1177/0363546516666815.
- 56 Johnson, F. W.; Boseker, E. H. (1968): Arthrodesis of the ankle. In: *Arch Surgery* (97), S. 766–773.

- 57 Karapinar, H.; Sener, M.; Kazimoglu, C.; Akgun, U. (2009): Arthrodesis of neuropathic ankle joint by Ilizarov fixator in diabetic patients. In: *Journal of the American Podiatric Medical Association* 99 (1), S. 42–48.
- 58 Keene, D. J.; Williamson, E.; Bruce, J.; Willett, K.; Lamb, S. E. (2014): Early ankle movement versus immobilization in the postoperative management of ankle fracture in adults: a systematic review and meta-analysis. In: *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 44 (9), 690-701, C1-7. DOI: 10.2519/jospt.2014.5294.
- 59 Kemler, E.; van de Port, I.; Backx, F.; van Dijk, C. N. (2011): A systematic review on the treatment of acute ankle sprain: brace versus other functional treatment types. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 41 (3), S. 185–197. DOI: 10.2165/11584370-000000000-00000.
- 60 Kennedy, J. G.; Murawski, C. D. (2011): The Treatment of Osteochondral Lesions of the Talus with Autologous Osteochondral Transplantation and Bone Marrow Aspirate Concentrate: Surgical Technique. In: *Cartilage* 2 (4), S. 327–336. DOI: 10.1177/1947603511400726.
- 61 Kerkhoffs, G. M.; van den Bekerom, M.; Elders, L. A. M.; van Beek, P. A.; Hullegie, W. A. M.; Bloemers, G. M F M et al. (2012): Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: an evidence-based clinical guideline. In: *British journal of sports medicine* 46 (12), S. 854–860. DOI: 10.1136/bjsports-2011-090490.
- 62 Klos, K.; Randt, T.; Simons, P.; Knobe, M. (2019): Vor- und Mittelfußfrakturen beim Erwachsenen. In: *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 14 (01), S. 63–89. DOI: 10.1055/s-0044-101766.
- 63 Kono, M.; Takao, M.; Naito, K.; Uchio, Y.; Ochi, M. (2006): Retrograde drilling for osteochondral lesions of the talar dome. In: *The American journal of sports medicine* 34 (9), S. 1450–1456. DOI: 10.1177/0363546506287300.
- 64 Kreuz, P. C.; Steinwachs, M.; Erggelet, C.; Lahm, A.; Henle, P.; Niemeyer, P. (2006): Mosaicplasty with autogenous talar autograft for osteochondral lesions of the talus after failed primary arthroscopic management: a prospective study with a 4-year follow-up. In: *The American journal of sports medicine* 34 (1), S. 55–63. DOI: 10.1177/0363546505278299.

- 65 Krips, R.; van Dijk, C. N.; Halasi, P. T.; Lehtonen, H.; Corradini, C.; Moyon, B.; Karlsson, J. (2001): Long-term outcome of anatomical reconstruction versus tenodesis for the treatment of chronic anterolateral instability of the ankle joint: a multicenter study. In: *Foot & ankle international* 22 (5), S. 415–421. DOI: 10.1177/107110070102200510.
- 66 Lawrence, S. J.; Botte, M. J. (1993): Jones' fractures and related fractures of the proximal fifth metatarsal. In: *Foot & ankle* 14 (6), S. 358–365.
- 67 Lawton, C. D.; Butler, B. A.; Dekker, R. G.; Prescott, A.; Kadakia, A. R. (2017): Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis—a comparison of outcomes over the last decade. In: *Journal of orthopaedic surgery and research* 12 (1), S. 76. DOI: 10.1186/s13018-017-0576-1.
- 68 Looze, C. A.; Capo, J.; Ryan, M. K.; Begly, J. P.; Chapman, C.; Swanson, D. et al. (2017): Evaluation and Management of Osteochondral Lesions of the Talus. In: *Cartilage* 8 (1), S. 19–30. DOI: 10.1177/1947603516670708.
- 69 Lynch, S. A.; Renström, P. A. (1999): Treatment of acute lateral ankle ligament rupture in the athlete. Conservative versus surgical treatment. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 27 (1), S. 61–71. DOI: 10.2165/00007256-199927010-00005.
- 70 Maffulli, N.; Longo, U. G.; Locher, J.; Romeo, G.; Salvatore, G.; Denaro, V. (2017): Outcome of ankle arthrodesis and ankle prosthesis: a review of the current status. In: *British medical bulletin* 124 (1), S. 91–112. DOI: 10.1093/bmb/ldx042.
- 71 Mann, R. A. (2007): Arthrodesis of the foot and ankle. In: Coughlin MJ, Mann RA, Saltzman CL, editors., editors. *Surgery of the foot and ankle*, p 1087-123. 8. Aufl. Philadelphia: Elsevier Health.
- 72 Martinek, V.; Ansah, P.; Imhoff, A. B. (2003): Osteochondrale autologe Knorpel-Knochen-Transplantation (OATS) in der Behandlung der Talus-Osteonekrose. In: *Arthroskopie* (1). Online verfügbar unter <https://www.springermedizin.de/osteochondrale-autologe-knorpel-knochen-transplantation-oats-in-/8128486>.
- 73 Maurer, R. C.; Cimino, W. R.; Cox, C. V.; Satow, G. K. (1991): Transarticular cross-screw fixation. A technique of ankle arthrodesis. In: *Clinical orthopaedics and related research* (268), S. 56–64.

- 74 Migliore, A.; Giovannangeli, F.; Bizzi, E.; Massafra, U.; Alimonti, A.; Laganà, B. et al. (2011): Viscosupplementation in the management of ankle osteoarthritis: a review. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 131 (1), S. 139–147. DOI: 10.1007/s00402-010-1165-5.
- 75 Mittelmeier, H.; Nizard, M. (1981): Technik und Ergebnisse der Arthrodese des oberen Sprunggelenkes mit Autokompressionsplatten. In: *Z Orthop* (119), S. 418–421.
- 76 Morash, J.; Walton, D. M.; Glazebrook, M. (2017): Ankle Arthrodesis Versus Total Ankle Arthroplasty. In: *Foot and ankle clinics* 22 (2), S. 251–266. DOI: 10.1016/j.fcl.2017.01.013.
- 77 Moshirfar, A.; Campbell, J. T.; Molloy, S.; Jasper, L. E.; Belkoff, S. M. (2003): Fifth metatarsal tuberosity fracture fixation: a biomechanical study. In: *Foot & ankle international* 24 (8), S. 630–633. DOI: 10.1177/107110070302400810.
- 78 Mubarak, S. J.; Carroll, N. C. (1979): Familial osteochondritis dissecans of the knee. In: *Clinical orthopaedics and related research* (140), S. 131–136.
- 79 Mückley, T.; Schütz, T.; Srivastava, S.; Goebel, M.; Gonschorek, O.; Bühren, V. (2003): Die Technik der tibiotalaren Arthrodese mit Kompressionsmarknagel. In: *Der Unfallchirurg* 106 (9), S. 732–740. DOI: 10.1007/s00113-003-0638-1.
- 80 Murray, C. J. L.; Vos, T.; Lozano, R.; Naghavi, M.; Flaxman, A. D.; Michaud, C. et al. (2012): Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. In: *Lancet (London, England)* 380 (9859), S. 2197–2223. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)61689-4.
- 81 Pagenstert, G. I.; Hintermann, B.; Barg, A.; Leumann, A.; Valderrabano, V. (2007): Realignment surgery as alternative treatment of varus and valgus ankle osteoarthritis. In: *Clinical orthopaedics and related research* 462, S. 156–168. DOI: 10.1097/BLO.0b013e318124a462.
- 82 Paul, J.; Sagstetter, M.; Lämmle, L.; Spang, J.; El-Azab, H.; Imhoff, A. B.; Hinterwimmer, S. (2012): Sports activity after osteochondral transplantation of the talus. In: *The American journal of sports medicine* 40 (4), S. 870–874. DOI: 10.1177/0363546511435084.

- 83 Pearce, C. J.; Tourné, Y.; Zellers, J.; Terrier, R.; Toschi, P.; Silbernagel, K. G. (2016): Rehabilitation after anatomical ankle ligament repair or reconstruction. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 24 (4), S. 1130–1139. DOI: 10.1007/s00167-016-4051-z.
- 84 Petersen, W.; Rembitzki, I. V.; Koppenburg, A. G.; Ellermann, A.; Liebau, C.; Brüggemann, G. P.; Best, R. (2013): Treatment of acute ankle ligament injuries: a systematic review. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 133 (8), S. 1129–1141. DOI: 10.1007/s00402-013-1742-5.
- 85 Petrisor, B. A.; Ekrol, I.; Court-Brown, C. (2006): The epidemiology of metatarsal fractures. In: *Foot & ankle international* 27 (3), S. 172–174. DOI: 10.1177/107110070602700303.
- 86 Pituckanotai, K.; Arirachakaran, A.; Piyapittayanun, P.; Tuchinda, H.; Peradhammanon, E.; Kongtharvonskul, J. (2018): Comparative Outcomes of Cast and Removable Support in Fracture Fifth Metatarsal Bone: Systematic Review and Meta-Analysis. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 57 (5), S. 982–986. DOI: 10.1053/j.jfas.2018.03.018.
- 87 Polzer, H.; Kanz, K. G.; Prall, W. C.; Haasters, F.; Ockert, B.; Mutschler, W.; Grote, S. (2012a): Diagnosis and treatment of acute ankle injuries: development of an evidence-based algorithm. In: *Orthopedic reviews* 4 (1), S. e5. DOI: 10.4081/or.2012.e5.
- 88 Polzer, H.; Polzer, S.; Mutschler, W.; Prall, W. C. (2012b): Acute fractures to the proximal fifth metatarsal bone: development of classification and treatment recommendations based on the current evidence. In: *Injury* 43 (10), S. 1626–1632. DOI: 10.1016/j.injury.2012.03.010.
- 89 Porter, D. A.; Jagers, R. R.; Barnes, A. F.; Rund, A. M. (2014): Optimal management of ankle syndesmosis injuries. In: *Open access journal of sports medicine* 5, S. 173–182. DOI: 10.2147/OAJSM.S41564.
- 90 Rammelt, S.; Heineck, J.; Zwipp, H. (2004): Metatarsal fractures. In: *Injury* 35 Suppl 2, S. 86. DOI: 10.1016/j.injury.2004.07.016.

- 91 Rammelt, S.; Schneiders, W.; Grass, R.; Rein, S.; Zwipp, H. (2011): Bandverletzungen am oberen Sprunggelenk. In: *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 149 (5), e45-67. DOI: 10.1055/s-0031-1280258.
- 92 Richli, W. R.; Rosenthal, D. I. (1984): Avulsion fracture of the fifth metatarsal: experimental study of pathomechanics. In: *AJR. American journal of roentgenology* 143 (4), S. 889–891. DOI: 10.2214/ajr.143.4.889.
- 93 Robertson, W.; Kelly, B. T.; Green, D. W. (2003): Osteochondritis dissecans of the knee in children. In: *Current opinion in pediatrics* 15 (1), S. 38–44. DOI: 10.1097/00008480-200302000-00007.
- 94 Rosenberger, R. E.; Fink, C.; Bale, R. J.; El Attal, R.; Mühlbacher, R.; Hoser, C. (2006): Computer-assisted minimally invasive treatment of osteochondrosis dissecans of the talus. In: *Operative Orthopädie und Traumatologie* 18 (4), S. 300–316. DOI: 10.1007/s00064-006-1179-x.
- 95 Saltzman, C. L.; Salamon, M. L.; Blanchard, G. M.; Huff, T.; Hayes, A.; Buckwalter, J. A.; Amendola, A. (2005): Epidemiology of ankle arthritis: report of a consecutive series of 639 patients from a tertiary orthopaedic center. In: *The Iowa orthopaedic journal* 25, S. 44–46.
- 96 Sammarco, G. J. (1993): The Jones fracture. In: *Instructional course lectures* 42, S. 201–205.
- 97 Sanders, R. (1999): Fractures of the midfoot and forefoot. In: Mann RA, Coughlin MJ. *Surgery of the foot and ankle*. St Louis: Mosby: 1574-1605.
- 98 Santrock, R. D.; Buchanan, M. M.; Lee, T. H.; Berlet, G. C. (2003): Osteochondral lesions of the talus. In: *Foot and ankle clinics* 8 (1), S. 73–90. DOI: 10.1016/S1083-7515(03)00007-X.
- 99 Schaap, E. J.; Huy, J.; Tonino, A. J. (1990): Long-term results of arthrodesis of the ankle. In: *International orthopaedics* 14 (1), S. 9–12. DOI: 10.1007/BF00183355.
- 100 Schmid, T.; Krause, F. G. (2013): Conservative treatment of asymmetric ankle osteoarthritis. In: *Foot and ankle clinics* 18 (3), S. 437–448. DOI: 10.1016/j.fcl.2013.06.003.

- 101 Schöttle, P. B.; Oettl, G. M.; Agneskirchner, J. D.; Imhoff, A. B. (2001): Operative Therapie von osteochondralen Läsionen am Talus mit autologer Knorpel-Knochen-Transplantation. In: *Der Orthopäde* 30 (1), S. 53–58.
- 102 Scranton, P. E. (1985): Use of internal compression in arthrodesis of the ankle. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 67 (4), S. 550–555.
- 103 Scranton, P. E. (1991): An overview of ankle arthrodesis. In: *Clinical orthopaedics and related research* (268), S. 96–101.
- 104 Scranton, P. E.; Frey, C. C.; Feder, K. S. (2006): Outcome of osteochondral autograft transplantation for type-V cystic osteochondral lesions of the talus. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 88 (5), S. 614–619. DOI: 10.1302/0301-620X.88B5.17306.
- 105 Scranton, P. E.; Fu, F. H.; Brown, T. D. (1980): Ankle arthrodesis: a comparative clinical and biomechanical evaluation. In: *Clinical orthopaedics and related research* (151), S. 234–243.
- 106 Smith, T. O.; Davies, L. (2008): When Should Open Reduction and Internal Fixation Ankle Fractures Begin Weight Bearing? A Systematic Review. In: *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society* 34 (1), S. 69–76. DOI: 10.1007/s00068-007-6111-z.
- 107 Taranow, W. S.; Bisignani, G. A.; Towers, J. D.; Conti, S. F. (1999): Retrograde drilling of osteochondral lesions of the medial talar dome. In: *Foot & ankle international* 20 (8), S. 474–480. DOI: 10.1177/107110079902000802.
- 108 Thermann, H.; Hübner, T.; Roehler, A.; Tscherne, H. (1996): Schraubenarthrodese des oberen Sprunggelenks. In: *Orthopäde* (25), S. 166–176.
- 109 Thomas, R. H.; Daniels, T. R. (2003): Ankle arthritis. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 85-A (5), S. 923–936.
- 110 Tiling, T.; Bonk, A.; Höher, J.; Klein, J. (1994): Die akute Aussenbandverletzung des Sprunggelenks beim Sportler. In: *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 65 (11), S. 920–933.

- 111 Valderrabano, V.; Hintermann, B.; Horisberger, M.; Fung, T. S. (2006): Ligamentous posttraumatic ankle osteoarthritis. In: *The American journal of sports medicine* 34 (4), S. 612–620. DOI: 10.1177/0363546505281813.
- 112 Valderrabano, V.; Horisberger, M.; Russell, I.; Dougall, H.; Hintermann, B. (2009a): Etiology of ankle osteoarthritis. In: *Clinical orthopaedics and related research* 467 (7), S. 1800–1806. DOI: 10.1007/s11999-008-0543-6.
- 113 Valderrabano, V.; Leumann, A. (2009): What is the best treatment for ankle osteochondral lesions? In: J. G. Wright (Hg.): *Evidence-based orthopaedics. The best answers to clinical questions*. Philadelphia, PA: Saunders/Elsevier.
- 114 Valderrabano, V.; Leumann, A.; Rasch, H.; Egelhof, T.; Hintermann, B.; Pagenstert, G. (2009b): Knee-to-ankle mosaicplasty for the treatment of osteochondral lesions of the ankle joint. In: *The American journal of sports medicine* 37 Suppl 1, S. 105–111. DOI: 10.1177/0363546509351481.
- 115 van den Bekerom, M. P. J.; Kerkhoffs, G. M. M. J.; McCollum, G. A.; Calder, J. D. F.; van Dijk, C. N. (2013): Management of acute lateral ankle ligament injury in the athlete. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 21 (6), S. 1390–1395. DOI: 10.1007/s00167-012-2252-7.
- 116 van Dijk, C. N. (2002): Management of the sprained ankle. In: *British journal of sports medicine* 36 (2), S. 83–84.
- 117 Verhagen, R. A. W.; Maas, M.; Dijkgraaf, M. G. W.; Tol, J. L.; Krips, R.; van Dijk, C. Niek (2005): Prospective study on diagnostic strategies in osteochondral lesions of the talus. Is MRI superior to helical CT? In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 87 (1), S. 41–46.
- 118 Vulcano, E.; Ellington, J. K.; Myerson, M. S. (2015): The spectrum of indications for subtalar joint arthrodesis. In: *Foot and ankle clinics* 20 (2), S. 293–310. DOI: 10.1016/j.fcl.2015.02.002.
- 119 Wagner, H.; Pock, H. G. (1982): Die Verschraubungsarthrodese der Sprunggelenke. In: *Unfallheilkunde* (85), S. 280–300.
- 120 Walther, M.; Kriegelstein, S.; Altenberger, S.; Volkering, C.; Röser, A.; Wölfel, R. (2013): Die Verletzung des lateralen Kapsel-Band-Apparats des Sprunggelenks. In: *Der Unfallchirurg* 116 (9), S. 776–780. DOI: 10.1007/s00113-013-2383-4.

- 121 Wamelink, K. E.; Marcoux, J. T.; Walrath, S. M. (2016): Rare Proximal Diaphyseal Stress Fractures of the Fifth Metatarsal Associated With Metatarsus Adductus. In: *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons* 55 (4), S. 788–793. DOI: 10.1053/j.jfas.2016.03.005.
- 122 Weiss, J. M.; Shea, K. G.; Jacobs, J. C.; Cannamela, P. C.; Becker, I.; Portman, M.; Kessler, J. I. (2018): Incidence of Osteochondritis Dissecans in Adults. In: *The American journal of sports medicine* 46 (7), S. 1592–1595. DOI: 10.1177/0363546518764676.
- 123 Wiener, B. D.; Linder, J. F.; Giattini, J. F. (1997): Treatment of fractures of the fifth metatarsal: a prospective study. In: *Foot & ankle international* 18 (5), S. 267–269. DOI: 10.1177/107110079701800504.
- 124 Wirth, C. J.; Mutschler, W.-E.; Kohn, D.; Pohlemann, T. (2014): Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. Unter Mitarbeit von Farshid Abdolvahab, Wolf-Eberhard Mutschler, Dieter Kohn und Tim Pohlemann. 3., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart, New York, NY: THIEME.
- 125 Witteveen, A. G. H.; Giannini, S.; Guido, G.; Jerosch, J.; Lohrer, H.; Vannini, F. et al. (2008): A prospective multi-centre, open study of the safety and efficacy of hylan G-F 20 (Synvisc) in patients with symptomatic ankle (talo-crural) osteoarthritis. In: *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons* 14 (3), S. 145–152. DOI: 10.1016/j.fas.2008.01.001.
- 126 Woolf, A. D.; Pfleger, B. (2003): Burden of major musculoskeletal conditions. In: *Bulletin of the World Health Organization* 81 (9), S. 646–656.
- 127 Yoon, H. S.; Park, Y. J.; Lee, M.; Choi, W. J.; Lee, J. W. (2014): Osteochondral Autologous Transplantation Is Superior to Repeat Arthroscopy for the Treatment of Osteochondral Lesions of the Talus After Failed Primary Arthroscopic Treatment. In: *The American journal of sports medicine* 42 (8), S. 1896–1903. DOI: 10.1177/0363546514535186.
- 128 Zwipp, H. (1994): Chirurgie des Fußes. Vienna: Springer Vienna; Imprint; Springer.

129 Zwipp, H.; Rammelt, S. (2002): Frakturen und Luxationen. In: Wirth CJ. Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Fuß. 1. Auflage. s.l.: THIEME. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1055/b-002-15440>.

130 Zwitter, E. W.; Breederveld, R. S. (2010): Fractures of the fifth metatarsal; diagnosis and treatment. In: *Injury* 41 (6), S. 555–562. DOI: 10.1016/j.injury.2009.05.035.

## **7 Danksagung**

Zunächst möchte ich Prof. Dr. med. Werner Krutsch und Prof. Dr. med. Christian Pfeifer für die hervorragende persönliche und fachliche Betreuung danken.

Desweiteren richte ich meinen Dank an meine Frau und meine Eltern, die mir mit viel Geduld und Verständnis die Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit ermöglicht haben. Ihnen möchte diese Arbeit auch widmen.

## 8 Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Matthias Plinke

Geburtsdatum, Ort: 27.07.1990, Krefeld

Anschrift: Anna-von-Schaden-Straße 12, 93055 Regensburg

### *Schule*

08/1996-06/1998 Katholische Grundschule an der Burg, Krefeld

09/1998-07/2000 Volksschule Höchberg

09/2000-06/2009 Europäischer Zweig des Wirsberg-Gymnasiums  
Würzburg mit Abitur

### *Zivildienst*

09/2009-08/2010 Freiwilliges Soziales Jahr im Sport in der Einsatzstelle  
Blindeninstitut Würzburg/ Vital-Sportverein Würzburg/  
TG Höchberg: Sportunterricht und Mobilisierung  
behinderter sowie gesunder Kinder, Jugendlicher und  
Erwachsener auf Leistungssport- und  
Breitensportniveau sowie als Therapie-/  
Rehamaßnahme

### *Studium*

2010-2016 Studium der Humanmedizin an der Universität  
Regensburg mit Approbation 12/2016

### *Arbeit*

Seit 2017 Assistenzarzt in Weiterbildung im Fachbereich  
Unfallchirurgie, Orthopädie am Krankenhaus der  
Barmherzigen Brüder in Regensburg

## **9 Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Ich versichere außerdem, dass ich die beigefügte Dissertation nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe und, dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.

---

Matthias Plinke, Regensburg, 12.01.2021