

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
Klinik der Universität München

Kollegiale Leitung:  
Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker  
Prof. Dr. med. Boris Holzapfel

Einfluss der Versorgungsstrategie  
des posterioren Malleolus Fragmentes auf die Stabilität  
des distalen Tibiofibulargelenkes und die subjektive  
Patientenzufriedenheit

**Dissertation**  
**zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin**  
**an der Medizinischen Fakultät der**  
**Ludwig-Maximilians-Universität zu München**

vorgelegt von  
Alice Eléonore Damblemont  
aus  
Paris

2022



Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter:

PD Dr. med. Sebastian Baumbach

Mitberichterstatter:

PD Dr. med. Volker Braunstein

apl. Prof. Dr. med. Marcus Schmitt-Sody

Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter: Prof. Dr. Hans Polzer

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung:

10.11.2022



Einfluss der Versorgungsstrategie des posterioren  
Malleolus Fragmentes auf die Stabilität des distalen  
Tibiofibulargelenkes und die subjektive  
Patientenzufriedenheit



# Inhaltsverzeichnis

<b>EIDESSTÄTTLICHE VERSICHERUNG</b>	<b>9</b>
<b>DANKSAGUNG</b>	<b>11</b>
<b>PUBLIKATIONEN</b>	<b>12</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>13</b>
1.1 EPIDEMIOLOGIE	13
1.2 ANATOMIE	13
1.2.1 KNÖCHERNE ANATOMIE	13
1.2.2 LIGAMENTÄRE ANATOMIE – LATERALE AUßENBÄNDER	13
1.2.3 LIGAMENTÄRE ANATOMIE – MEDIALE AUßENBÄNDER	13
1.2.4 LIGAMENTÄRE ANATOMIE – SYNDESMOSE	14
1.3 DIAGNOSTIK	15
1.3.1 ANAMNESE UND KLINISCHE UNTERSUCHUNG	15
1.3.2 RADIOLOGISCHE DIAGNOSTIK	16
1.4 FRAKTURKLASSIFIKATION	18
1.4.1 KLASSIFIKATION SPRUNGGELENKSFRAKTUREN	18
1.4.2 PATHOANATOMIE PM FRAKTUREN	22
1.4.3 KLASSIFIKATION PM	22
1.5 OPERATIVE BEHANDLUNG – ETABLIERTE STRATEGIE	25
1.5.1 BEHANDLUNGSERGEBNISSE	26
1.6 OPERATIVE BEHANDLUNG – NEUE ENTWICKLUNGEN PM FRAKTUR	27
1.6.1 RATIONALE	27
1.6.2 OPERATIONSTECHNIK ORIF DES POSTERIOR MALLEOLUS	28
1.6.3 BEHANDLUNGSERGEBNISSE	30
<b>2 ZIELE DER ARBEIT</b>	<b>32</b>
2.1 EINFLUSS DER VERSORGUNG DES POSTERIOREN MALLEOLUS FRAGMENTES AUF DIE STABILITÄT DES DISTALEN TIBIOFIBULARGELENKS (STUDIE 1: <i>STABILITÄT DTFG</i> )	32
2.2 EINFLUSS DER VERSORGUNG DES POSTERIOREN MALLEOLUS FRAGMENTES AUF DAS SUBJEKTIVE BEHANDLUNGSERGEBNIS (STUDIE 2: <i>KLINISCHES BEHANDLUNGSERGEBNIS</i> )	32
<b>3 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>33</b>
3.1 AUFBAU DER FRAKTURDATENBANK „OSG-FRAKTURREGISTER <sup>LMU</sup> “	33
3.1.1 IDENTIFIKATION DER PATIENTEN	33
3.1.2 DATENERHEBUNG – ALLGEMEIN	34
3.1.3 DATENERHEBUNG - RADIOLOGISCH	34
3.1.4 DATENERHEBUNG – PATIENT*INNENZUFRIEDENHEIT	35
3.2 BEHANDLUNGSSTRATEGIEN	41
3.3 DATENERHEBUNG – STUDIE 1: <i>STABILITÄT DTFG</i>	42
3.3.1 STUDIENPOPULATION	42
3.3.2 RADIOLOGISCHE DATENERHEBUNG	42
3.3.3 OPERATIVE VERSORGUNG	43
3.3.4 ZIELPARAMETER	43
3.3.5 STATISTIK	44
3.4 DATENERHEBUNG – STUDIE 2: <i>KLINISCHES BEHANDLUNGSERGEBNIS</i>	44
3.4.1 STUDIENPOPULATION	44
3.4.2 ALLGEMEINE DATEN	45

3.4.3	ZIELPARAMETER	45
3.4.4	STATISTIK	45
<b>4</b>	<b><u>ERGEBNISSE</u></b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>ERGEBNISSE – STUDIE 1: <i>STABILITÄT DTFG</i></b>	<b>46</b>
4.1.1	STUDIENPOPULATION	46
4.1.2	FRAKTURCHARAKTERISTIKA	46
4.1.3	OPERATIVE VERSORGUNG	48
4.1.4	RADIOLOGISCHES ERGEBNIS NACH OPERATIVER VERSORGUNG	48
4.1.5	ANALYSE DER PM FRAKTURMORPHOLOGIE ZWISCHEN DEN BEHANDLUNGSGRUPPEN	49
4.1.6	ANALYSE DER VERSORGUNGSSTRATEGIE ZWISCHEN DEN BEHANDLUNGSGRUPPEN	50
4.1.7	PRIMÄRER ZIELPARAMETER: EINFLUSS DER PM-VERSORGUNG AUF DIE STABILITÄT DES DTFG	51
4.1.8	SEKUNDÄRE ZIELPARAMETER: EINFLUSS DER GRÖÖE DES POSTERIOREN MALLEOLUS SOWIE GRAD DER REPOSITION IN ABHÄNGIGKEIT DER PM-VERSORGUNG	52
4.1.9	SEKUNDÄRE ZIELPARAMETER: WEITERE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ADDITIVE STABILISIERUNG DES DTFG	53
<b>4.2</b>	<b>ERGEBNISSE – STUDIE 2: <i>KLINISCHES BEHANDLUNGSERGEBNIS</i></b>	<b>55</b>
4.2.1	STUDIENPOPULATION	55
4.2.2	KOMPLIKATIONEN UND METALLENTFERNUNG	57
4.2.3	SUBJEKTIVES BEHANDLUNGSERGEBNIS	57
4.2.4	EINFLUSSFAKTOREN AUF DAS SUBJEKTIVE BEHANDLUNGSERGEBNIS	59
<b>5</b>	<b><u>DISKUSSION</u></b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>STUDIE 1: <i>STABILITÄT DTFG</i></b>	<b>61</b>
<b>5.2</b>	<b>STUDIE 2: <i>KLINISCHES BEHANDLUNGSERGEBNIS</i></b>	<b>66</b>
5.2.1	KOMPLIKATIONEN	68
5.2.2	SUBJEKTIVE BEHANDLUNGSERGEBNISSE	70
5.2.3	EINFLUSS DER VERSORGUNG DER POSTERIOREN MALLEOLUS FRAKTUR AUF DAS BEHANDLUNGSERGEBNIS	70
5.2.4	EINFLUSS DER FRAGMENTGRÖÖE (</>25%) AUF DAS SUBJEKTIVE BEHANDLUNGSERGEBNIS	73
5.2.5	EINFLUSS ANDERER FAKTOREN AUF DIE SUBJEKTIVEN BEHANDLUNGSERGEBNISSE	76
5.2.6	LIMITATIONEN UND STÄRKEN DER STUDIE	76
<b>6</b>	<b><u>SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK</u></b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG</u></b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b><u>ANHÄNGE</u></b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b><u>REFERENZEN</u></b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u></b>	<b>92</b>
<b>9</b>	<b><u>TABELLENVERZEICHNIS</u></b>	<b>93</b>
<b>10</b>	<b><u>VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND AKRONYME</u></b>	<b>94</b>
<b>11</b>	<b><u>VERZEICHNIS DER ANHÄNGE</u></b>	<b>95</b>
<b>12</b>	<b><u>LEBENS LAUF</u></b>	<b>96</b>

# **Eidesstattliche Versicherung**

Alice Damblemont

Ich erkläre hiermit  
an Eides statt,  
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema:

„Einfluss der Versorgungsstrategie des posterioren Malleolus Fragmentes auf die Stabilität des distalen Tibiofibulargelenkes und die subjektive Patientenzufriedenheit“

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe. Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 16.11.2022

Alice Eléonore Damblemont



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mir in der Vollendung dieser Arbeit unterstützt und begleitet haben.

Zu aller erst danke ich PD. Dr. med. Sebastian Baumbach für die Themastellung, für die hervorragende Unterstützung und die unkomplizierte, angenehme Zusammenarbeit. Auch für die fachliche und technische Hilfe möchte ich mich bedanken.

Ebenfalls danke ich die Abteilung für Fuß- und Sprunggelenkchirurgie der Muskuloskelettalen Universitätszentrum München, besonders Herrn PD. Dr. med. Hans Polzer, für die Möglichkeit, in der Arbeitsgruppe zu promovieren.

Bei meinen Eltern, meiner Tante und gesamter Familie möchte ich mich auch ganz herzlich bedanken, die am Erfolg dieser Arbeit und meines Studiums sehr beigetragen haben. Danke für die stetige und liebevolle Unterstützung, die Geduld und für die Begleitung im Studium und während der Promotion. Dies war ein unglaublich wichtiger Rückhalt für mich. Für die Korrekturarbeit danke ich ganz besonders Eveline Lançon.

Darüber hinaus gilt auch mein Dank allen Freunden für die großartige moralische Unterstützung und Motivation über die Jahre, die zahlreichen Tipps und das aktive Zuhören. Hier möchte ich besonders Sonja, Sophie, Julien, Johannes und Leander erwähnen.

## **Publikationen**

**Baumbach SF et al.**, Open reduction and internal fixation of the posterior malleolus fragment frequently restores syndesmotic stability; *Injury*. 2019 Feb;50(2):564-570. doi: 10.1016/j.injury.2018.12.025

# **1 Einleitung**

## **1.1 Epidemiologie**

Sprunggelenksfrakturen gehören mit einer Inzidenz von ca. 179/100.000 zu den häufigen Verletzungen der Unfallchirurgie [2]. Die am häufigsten von Patient\*innen benannten Unfallmechanismen sind Pronation- und Supinationstraumen sowie Hyperplantarflexion und Hyperdorsiflexion, zumeist im Rahmen von Sportunfällen oder beim Ausrutschen auf unebenem Grund [3].

## **1.2 Anatomie**

### **1.2.1 Knöcherne Anatomie**

Das obere Sprunggelenk ist die Verbindung zwischen dem Unterschenkel und dem Rückfuß. Es setzt sich aus der distalen Tibia mit dem medialen Malleolus, der distalen Fibula mit dem lateralen Malleolus und dem Talus zusammen. Dabei bilden die Tibia und Fibula die knöcherne Führung für den Talus.

### **1.2.2 Ligamentäre Anatomie – Laterale Außenbänder**

Lateral bilden drei Bänder die Verbindung zwischen Fibula und Fußwurzelknochen. Das Ligamentum talofibulare anterius, das Ligamentum calcaneofibulare und das Ligamentum talofibulare posterius ziehen vom medialen Malleolus zum Talus bzw. Calcaneus. Sie stabilisieren das Sprunggelenk, indem sie die Inversion verhindern. [4]

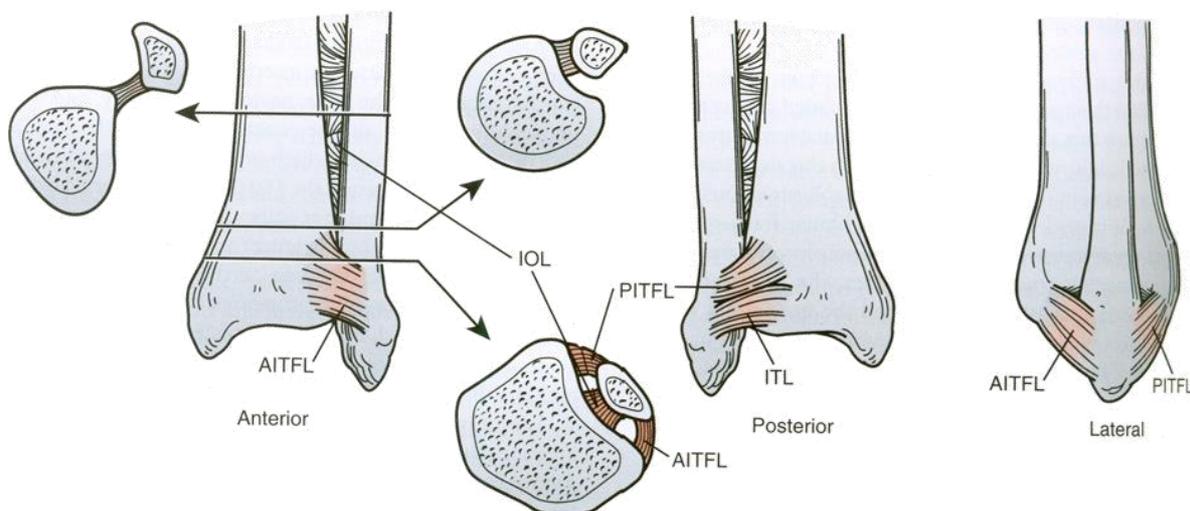
### **1.2.3 Ligamentäre Anatomie – Mediale Außenbänder**

Die medialen Außenbänder des Sprunggelenks werden als Deltaband (Ligamentum deltoideum) zusammengefasst. Sie verbinden die distale Tibia mit den Fußwurzelknochen. Das Deltaband wird in Pars tibiotalaris anterior, Pars tibionavicularis, Pars tibio calcanea und Pars tibiotalaris posterior unterteilt. Es dient der Hemmung der Eversion im Sprunggelenk [4].

### **1.2.4 Ligamentäre Anatomie – Syndesmose**

Das distale Tibiofibulargelenk ist ein unechtes Gelenk welches durch einen straffen Bandkomplex, den Syndesmosenkomplex, stabilisiert wird (Abbildung 1) [5]. Der Syndesmosenkomplex ist der dynamische Stabilisator des distalen Tibiofibulargelenkes und gewährleistet damit die Stabilität des oberen Sprunggelenkes bei Dorsi- und Plantarflexion. Dies entspricht einer axialen, rotationalen und translationalen Belastung [6]. Der syndesmale Bandkomplex besteht aus vier Bändern (Abbildung 1): das Ligamentum tibiofibulare anterius (anterior inferior tibiofibular ligament, AITFL), das Ligamentum tibiofibulare posterius (posterior inferior tibiofibular ligament, PITFL), das Ligamentum tibiofibulare transversum (inferior transverse ligament, ITL) und die distalen Anteile der Membrana interossea (interosseous ligament, IOL) [7].

**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des Syndesmosen-Komplexes



AITFL=anterior inferior tibiofibular ligament, IOL=interosseous ligament, PITFL=posterior inferior tibiofibular ligament, and ITL=inferior transverse ligament.

Übernommen, mit freundlicher Genehmigung des Verlags von Van Heest TJ (2014) [7]

Axial bilden die distale Tibia und die Fibula ein konkaves bzw. konvexes Dreieck. Das AITFL zieht von der ventralen Tibia nach distal-lateral bis zur ventralen Fibula. Dorsal ziehen das PITFL und das ITL von der dorsalen Tibiakante (posteriorer Malleolus) zur Fibula.

## **1.3 Diagnostik**

### **1.3.1 Anamnese und klinische Untersuchung**

Neben der allgemeinen Anamnese sollte im Rahmen von Sprunggelenksverletzungen ein besonderes Augenmerk auf den Unfallmechanismus gelegt werden [7]. Dieser kann, basierend auf der Lauge-Hansen-Klassifikation, bereits einen Hinweis auf eine mögliche Syndesmosenverletzung liefern [8]. Diese Klassifikation ist allerdings aufgrund geringer Interobserver Übereinstimmung und komplexer Handhabung umstritten [9-11]. Es sollten auch vorausgegangene Verletzungen, Eingriffe am Sprunggelenk sowie bekannte Syndesmoseninstabilitäten erfragt werden [12].

Die klinische Untersuchung sollte strukturiert erfolgen, dazu gehören, neben der Inspektion und Kontrolle der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität, auch die Palpation und funktionelle Tests. Bezüglich der Palpation hat sich die „*Ottawa Foot and Ankle Rule*“ bewährt: bei Schmerzen im Bereich der Malleolen und zusätzlich a) knöchernem Druckschmerz über den distalen 6cm der Hinterkante von Tibia/Fibula oder am medialen/lateralen Malleolus, b) Patient\*innenalter über 55 Jahren oder c) Unfähigkeit, das eigene Gewicht zu tragen (<4 Schritte möglich), ist eine Fraktur möglich und somit sollte eine Röntgenaufnahme des Sprunggelenks erfolgen [13, 14]. Diese Regel erlaubt mit einer Sensitivität von fast 100% den Ausschluss einer Fraktur und verhindert somit unnötige Röntgendiagnostik, allerdings ist sie wenig spezifisch. Funktionelle Untersuchungen können einen weiteren Hinweis auf eine Verletzung der Syndesmose liefern. Hierzu zählen der Squeeze Test, der Außenrotationstest, der Palpationstest, die Kompression unter Dorsiflexion, und der Crossed-Leg-Test [12, 15, 16]. Allerdings ist die funktionelle Untersuchung, aufgrund der akuten Schwellung und der möglicherweise starken Schmerzen initial häufig nur eingeschränkt möglich. Eine erneute Untersuchung nach drei bis fünf Tagen mit abschwellenden Maßnahmen nach dem PRICE- Schema (PRICE: protection, rest, ice, compression and elevation) hat sich in diesen Fällen bewährt [12, 17].

Auch wenn diese Untersuchungen zu einem hohen Anteil knöcherne Verletzungen ausschließen können, ist der sichere Ausschluss einer Syndesmosenverletzung klinisch nicht möglich [18]. Entsprechend werden hier weitere apparative Untersuchungen empfohlen.

## **1.3.2 Radiologische Diagnostik**

### **1.3.2.1 Konventionelles Röntgen**

Die Indikation für ein konventionelles Röntgen bei Sprunggelenksverletzungen wird klinisch anhand der oben beschriebenen „*Ottawa Foot and Ankle Rule*“ gestellt [13, 14]. Für Frakturen des Volkmann Dreiecks wurden seitliche Röntgenaufnahme empfohlen [19]. Allerdings werden Frakturen in den Röntgenaufnahmen häufig in Ihrer Größe und Anatomie falsch eingeschätzt [20, 21]. Meijer et al. [20] untersuchten die Genauigkeit der Röntgen-Diagnostik für Frakturen des posterioren Malleolus. Für große Fragmente (>25% der tibialen Gelenkfläche) zeigte sich eine Sensitivität von 86% und eine Spezifität von 60%. Für kleine Fragmente (15-25%) liegt die Sensitivität nur bei 3% und die Spezifität bei 48%. Auch postoperativ werden Fehlrepositionen der Syndesmose häufig übersehen [22].

### **1.3.2.2 Computertomographie**

Eine Vielzahl von Arbeiten konnten zeigen, dass die alleinige konventionelle Röntgenbildgebung unzureichend für die Diagnostik von komplexeren Sprunggelenksfrakturen ist. Meijer et al. [20] publizierten eine Studie mit dem Titel „*Guesstimation of posterior malleolar fractures on lateral plain radiographs*“. In dieser verglichen sie u.a. die laterale Größe des posterioren Malleolus Fragmentes, gemessen an konventionellen Röntgenbildern und Computertomographie (CT). Dabei zeigte sich, dass im konventionellen Röntgen das posteriore Malleolus Fragment um den Faktor 1.8 größer eingeschätzt wurde und die inter-observer ICC nur 0.61 betrug. Somit ist die diagnostische Genauigkeit des Röntgens bei Frakturen des posterioren Malleolus nicht gegeben.

Dies hat nicht nur einen Einfluss auf die Klassifikation, sondern auch auf die eigentliche Behandlungsstrategie. Black et al. [23] ließen sechs Unfallchirurgen die präoperativen Röntgenaufnahmen von 100 Patienten mit uni-, bi- oder trimalleolaren Frakturen (AO-Typ 44) analysieren. Basierend auf diesen Bildern sollte die Versorgung der Frakturen geplant werden. Anschließend wurden den Studienteilnehmer\*innen die entsprechenden CT-Schnitte vorgelegt und es sollte neuerlich ein Behandlungsplan erstellt werden. Dabei zeigte sich, dass die additive CT-Bildgebung in 24% der Fälle zu einer Änderung der operativen Strategie resultierte. Dieser Unterschied war umso größer, je komplexer die Fraktur war. Bei unimalleolaren Frakturen wurde die operative

Strategie in 10%, bei trimalleolaren Frakturen in 29% der Fälle geändert. Auch die Lokalisation der Fibulafraktur (Weber A / B / C) hatte einen Einfluss. Zu einem Wechsel des Therapieplans kam es bei 4% bei infrasyndesmalen, bei 20% bei syndesmalem und bei 40% bei suprasyndesmalem Verletzungen. Bei 14% der Patient\*innen wurde auf den Röntgenbildern eine Fraktur übersehen.

Entsprechend stellt die Computertomographie das Diagnostikum der Wahl bei komplexen Sprunggelenksfrakturen dar [24].

#### 1.3.2.3 Magnetresonanztomographie

Die Diagnose ligamentärer Verletzungen, v.a. syndesmaler Verletzungen, ist präoperativ deutlich erschwert. Die Magnetresonanztomographie (MRT) erlaubt eine sichere Diagnostik ligamentärer Verletzungen (AITFL, PITFL) [25]. Allerdings kann eine Differenzierung zwischen Läsion und Ruptur nicht immer sicher getroffen werden. Daher kann eine funktionelle Instabilität des distalen Tibiofibulargelenks nicht sicher festgestellt werden [26]. Park et al. [27] haben den Stellenwert des MRT als präoperative diagnostische Methode für Syndesmoseninstabilität analysiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass das MRT lediglich eine Sensitivität von 74% und eine Spezifität von 78% für einen kompletten Riss des PITFL hatte. Weiterhin sind sowohl die Kosten als auch die Verfügbarkeit des MRT in der akuten Situation limitiert. Zusammenfassend ist das präoperative MRT keine ausreichende Methode zur sicheren Diagnostik syndesmaler Verletzungen.

#### 1.3.2.4 Funktionsaufnahmen

Viele Autoren empfehlen aus diesem Grund einen intraoperativen Stresstest der Syndesmose [18, 28], um die Stabilität der Syndesmose zu beurteilen. Es haben sich zwei Tests bewährt, der Hook-Test und der Außenrotationstest nach Frick [29]. Im Hook-Test wird bei fixierter Tibia der Fuß seitlich bewegt. Der Test ist positiv, wenn eine Verschiebung der Fibula um 2mm oder mehr beobachtet wird. Im Außenrotationstest nach Frick wird unter Durchleuchtung eine Mortis-Aufnahme vom Sprunggelenk durchgeführt (ohne Stress) und bei fixierter Tibia und außenrotiertem Fuß wiederholt (mit Stress) (Abbildung 2). Dabei wird der Abstand zwischen medialem Talus und Innenknöchel („Medial Clear Space) sowie zwischen Tibia und Fibula auf Höhe der Syndesmose (Lateral Clear Space) beurteilt und zwischen beiden Aufnahmen verglichen (Abbildung 2). Ist eine Erweiterung dieser Abstände zu

beobachten, spricht dies diagnostisch für eine Instabilität des DTFG. Der Außenrotationstest nach Frick, kann auch präoperativ durchgeführt werden.

**Abbildung 2:** Außenrotationstest nach Frick mit Syndesmoseninstabilität

**Ohne Stress**



**Mit Stress**



1) Medial Clear Space: Abstand zw. medialem Malleolus und Talus; 2) Lateral Clear Space: Abstand zwischen der Tibia und der Fibula auf Höhe der Syndesmose

Mit freundlicher Genehmigung von S.F. Baumbach

## **1.4 Frakturklassifikation**

Es gibt eine Vielzahl an Klassifikationen sowohl für Frakturen des Sprunggelenks als auch separat für Frakturen des lateralen oder posterioren Malleolus. Die am häufigsten angewandte Klassifikation für Sprunggelenksfrakturen ist die AO Klassifikation [30]. Frakturen des lateralen Malleolus werden nach Weber [31], und Frakturen des posterioren Malleolus nach Haraguchi [32] oder Bartonicek [33] klassifiziert.

### **1.4.1 Klassifikation Sprunggelenksfrakturen**

Die AO-Foundation hat ein Fraktursystem entwickelt, welches auf der Anatomie der Fraktur basiert [30]. Jeder Körperregion wird eine Nummer zugeteilt, Malleolen haben

die Nummer 44. Danach kommt ein Buchstabe, der die Frakturmorphologie beschreibt: A für einfache Frakturen, B für Keilfrakturen und C für multifragmentäre Frakturen. Diese Einteilung weicht bei metaphysären Frakturen etwas aus, da wird die Gelenkbeteiligung mitbeurteilt: A bei extraartikulären Frakturen, B bei partieller Gelenkbeteiligung, C bei vollständiger Gelenkbeteiligung. Gegebenenfalls kommen noch weitere Bezeichnungen dazu, die unter anderem eine Dislokation, ligamentäre Verletzungen oder Knorpelschäden beschreiben.

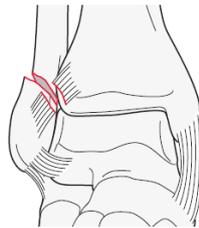
Analog werden die Frakturen des Sprunggelenks nach AO klassifiziert [30]. Dabei orientiert sich die Subklassifikation „Gelenkbeteiligung“ an der Weber Klassifikation [31]. Die Weber Klassifikation unterteilt Frakturen des lateralen Malleolus in Abhängigkeit von ihrer Lokalisation zur Syndesmose. Weber A-Frakturen sind distal, Weber B-Frakturen auf Höhe und Weber C-Frakturen proximal des DTFG lokalisiert. Analog klassifiziert die AO-Klassifikation 44A Frakturen als distal, 44B auf Höhe und 44C proximal der Syndesmose.

AO-44A Frakturen werden weiter unterteilt in isolierten Fibulafrakturen (lateraler Malleolus) (44A1), zusätzliche Fraktur des medialen Malleolus (44A2) und zusätzliches dorsales Tibiafragment (44A3). Bei Frakturen vom AO-Typ 44B und 44C liegt die Fraktur auf Höhe bzw. proximal der Syndesmose, die Unterteilung erfolgt analog zu der, der Frakturtypen 44A (Abbildung 3)(Abbildung 4) [30].

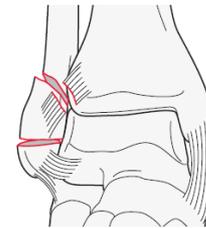
**Abbildung 3:** Schematische Darstellung der AO Klassifikation, Frakturtyp 44B / 44C [30]



44B1.1



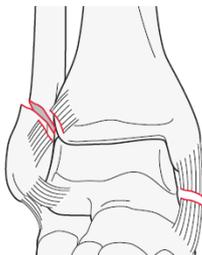
44B1.2



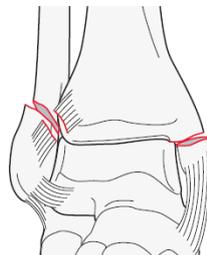
44B1.3

AO-Typ 44B1: isolierte Außenknöchelfraktur

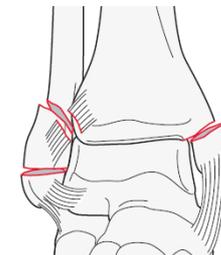
44B1.1 einfache Fibulafraktur; 44B1.2 mit Ruptur der vorderen Syndesmose; 44B1.3 mit Keil- oder mehrfragmentärer Fibulafraktur



44B2.1



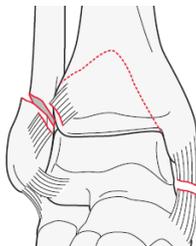
44B2.2



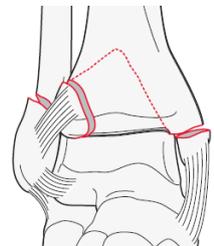
44B2.3

AO-Typ 44B2: mit begleitender Innenknöchelverletzung

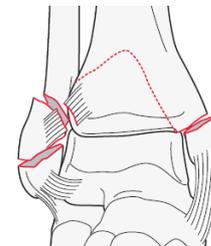
44B2.1 mit Ruptur des Delta-Bands; 44B2.2 mit Fraktur des medialen Malleolus; 44B2.3 Keil- oder mehrfragmentärer Fibulafraktur mit Innenknöchelverletzung



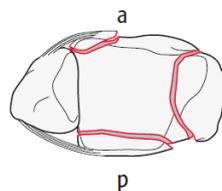
44B3.1



44B3.2



44B3.3

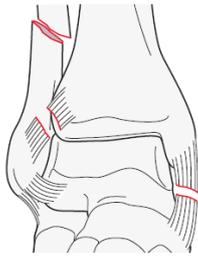


AO-Typ 44B3: mit Verletzung des medialen Malleolus und Fraktur des dorsalen Tibiafragments (Volkman Dreieck)

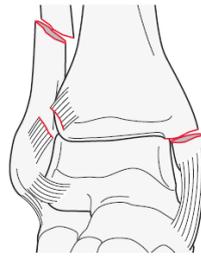
44B3.1 mit Ruptur des Deltabandes; 44B3.2 mit Fraktur des medialen Malleolus; 44B3.3 Keil- oder mehrfragmentäre Fibulafraktur

Übernommen, mit freundlicher Genehmigung des Verlags [30]

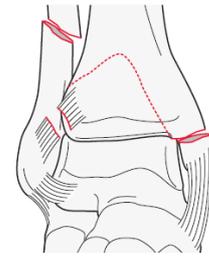
**Abbildung 4:** Schematische Darstellung der AO Klassifikation, Frakturtyp 44C [30]



44C1.1



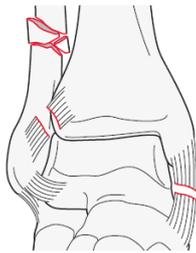
44C1.2



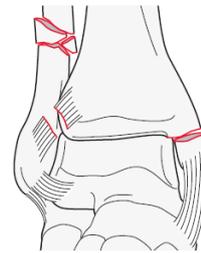
44C1.3

AO-Typ 44C1: einfache diaphysäre Fibulafraktur

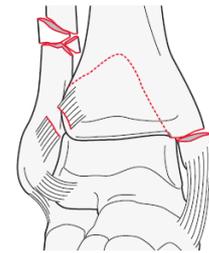
44C1.1 mit Ruptur des Delta-Bands 44C1.2 mit Fraktur des medialen Malleolus; 44C1.3 mit Fraktur des medialen und posterioren Malleolus



44C2.1



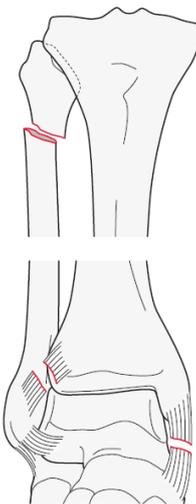
44C2.2



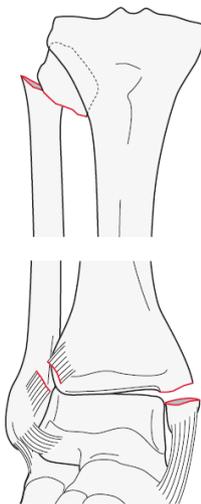
44C2.3

AO-Typ 44C2: Keil- oder mehrfragmentäre, diaphysäre Fibulafraktur

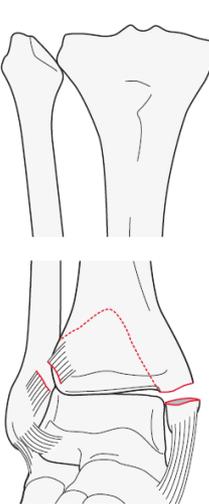
44C2.1 mit Ruptur des Delta-Bands; 44C2.2 mit Fraktur des medialen Malleolus; 44C2.3 mit Fraktur des medialen und posterioren Malleolus



44C3.1



44C3.2



44C3.3

AO-Typ 44C3: Proximale Fibulafraktur

44C3.1 mit Innenknöchelverletzung; 44C3.2 mit Verkürzung der Fibula und Innenknöchelverletzung; 44C3.3 mit Innenknöchelverletzung und Fraktur des posterioren Malleolus

Übernommen, mit freundlicher Genehmigung des Verlags [30]

### **1.4.2 Pathoanatomie PM Frakturen**

Bis heute orientieren sich viele Chirurg\*innen an der sogenannten Drittel-Regel [34]. Sie basiert auf der Größe des Fragmentes im Vergleich zur Größe der tibialen Gelenkfläche und stammt aus einer Publikation aus dem Jahre 1940. Nelson und Jensen berichteten über die Behandlungsergebnisse von 77 trimalleolaren Frakturen mit Frakturen des posterioren Malleolus kleiner 33%, die konservativ und 8 trimalleolaren Frakturen mit Frakturen des posterioren Malleolus über 33%, die teils konservativ, teils offen chirurgisch behandelt wurden. Aus den Behandlungsergebnissen schlussfolgerten die Autoren, dass Fragmente, die über 33% der tibialen Gelenkfläche betreffen operativ, Frakturen kleiner als 33% konservativ behandelt werden sollten. Über die nächsten Jahre hat sich diese „Drittel-Regel“ etabliert und wurde im Laufe der Zeit auf die Größe des Fragments 25% reduziert. Bis heute wird dieses Vorgehen, u.a. auch von der AO-Foundation, empfohlen (Abbildung 7). Allerdings fehlt für diese Behandlungsempfehlung valide wissenschaftliche Evidenz.

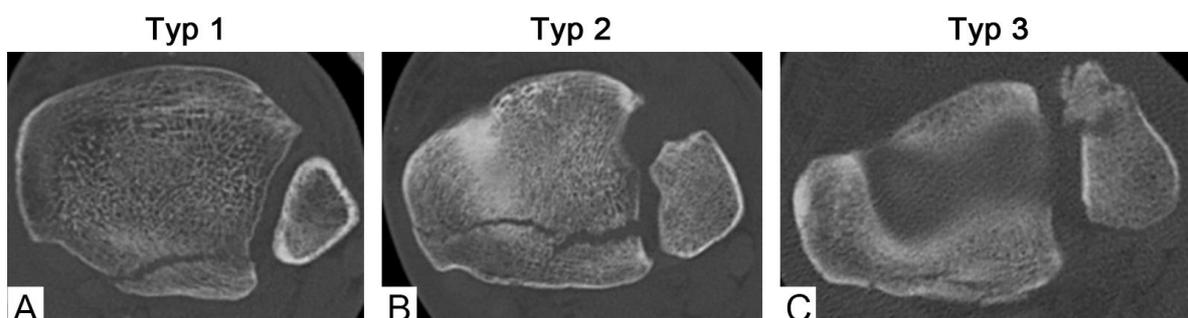
Die Rationale hinter dieser 25-33% Regel ist die knöcherne Rekonstruktion der tibialen Gelenkfläche. Allerdings wird diese Regel zunehmend in Frage gestellt [33, 35-37], da Frakturen des lateralen posterioren Malleolus nicht als „Ausschlagfragmente“ sondern als knöcherne Avulsionen des PITFL interpretiert werden. Die anatomische Reposition des posterioren Malleolus Fragmentes führt daher nicht nur zu einer knöchernen Rekonstruktion der tibialen Gelenkfläche, sondern zu einer Stabilisierung der tibiofibularen Gelenkgabel und zu einer Reposition der distalen Fibula in der tibialen Inzisur.

### **1.4.3 Klassifikation PM**

Entsprechend den oben genannten Kriterien hat die Literatur zu PM-Frakturen in dem letzten Jahrzehnt dramatisch zugenommen. Auch wenn die AO-Klassifikation Frakturen des PM berücksichtigt, haben mehrere Arbeiten versucht, die Frakturmorphologie des PM-Fragmentes genauer zu analysieren. Aktuell werden führend zwei Klassifikation verwendet, die Haraguchi- [32] und die Bartonicek Klassifikation [35].

Basierend auf axiale CT-Bilder von 57 Patienten hat die Arbeit von Haraguchi et al. [32] 2006 eine Klassifikation der Frakturen des posterioren Malleolus vorgeschlagen. Die konventionellen Röntgenbilder wurden erstmal nach Lauge-Hausen klassifiziert und anschließend wurde ein axiales CT bei Patienten mit PM Frakturen durchgeführt. Es wurden drei Frakturtypen entsprechend ihrer Morphologie / Lokalisation unterschieden (Abbildung 5). Beim Typ 1 ist die Fraktur posterolateral lokalisiert und einfragmentär. Beim Typ 2 reicht die Frakturlinie bis zum medialen Malleolus. Typ 3-Frakturen sind schalenförmige Absprengungen.

**Abbildung 5:** Schematische Darstellung der Haraguchi et al. Klassifikation



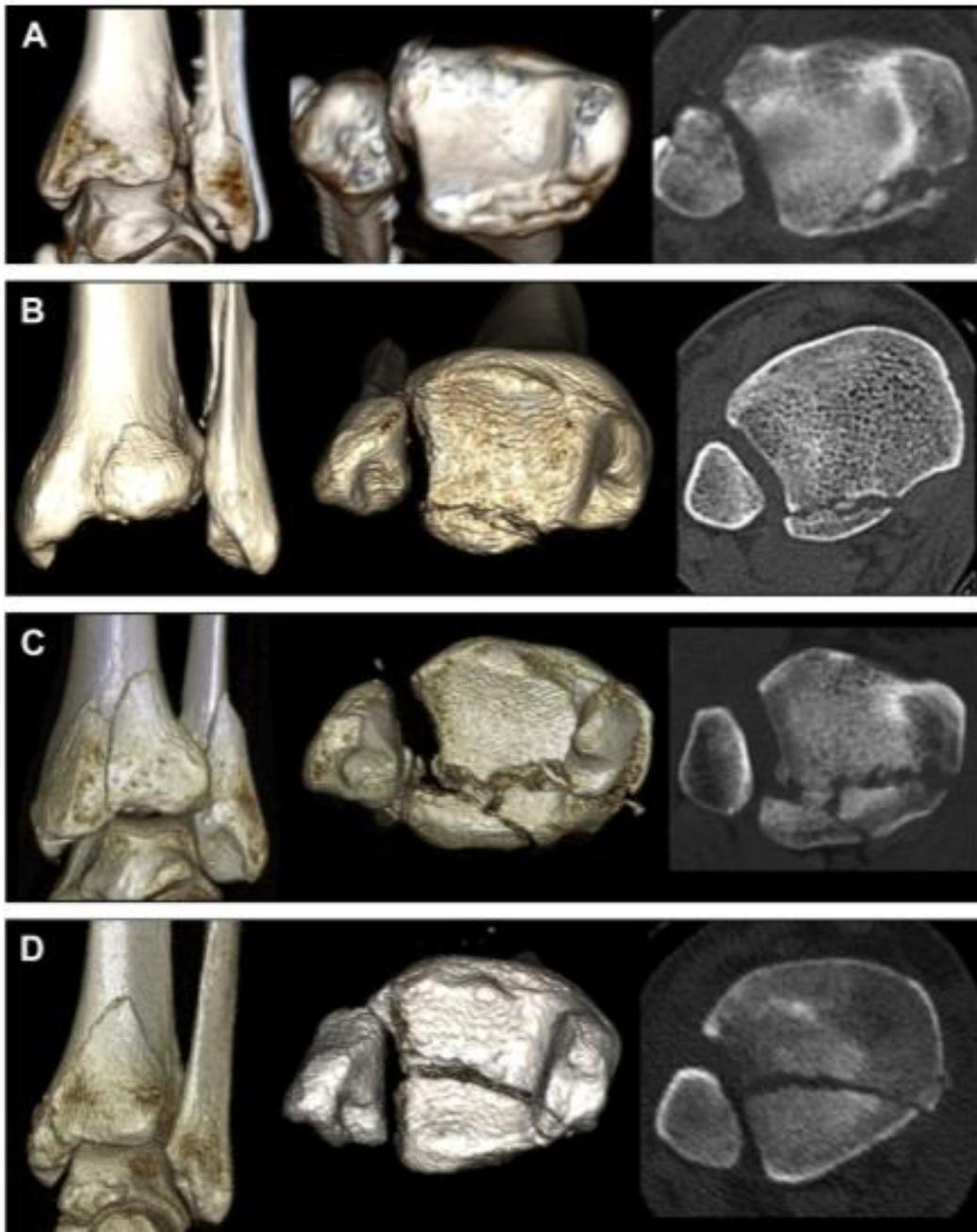
A) Typ 1 Frakturen mit posterolateral schräg verlaufender Frakturlinie; B) Typ 2 Frakturen mit einem axialen horizontalen Frakturverlauf; C) Typ 3 Frakturen, die sich als schalige Absprengungen der posterioren Tibiakante darstellen ohne dass Sie den Ansatz der posterioren Syndesmose betreffen.

Übernommen, mit freundlicher Genehmigung des Verlags von Haraguchi N [32]

Ein Problem dieser Fraktureinteilung stellt die Ungenauigkeit der 2D-Bilder dar. Ohne 3D-Rekonstruktion ist es unmöglich, den exakten Verlauf der Fraktur nachzuvollziehen. Darüber hinaus resultieren aus der Haraguchi Klassifikation [32] keine therapeutischen Empfehlungen, was allerdings ein Gütekriterium für eine Klassifikation darstellt.

2015 haben Bartoníček und Rammelt [33] eine weitere Klassifikation entwickelt. Dafür wurden axiale, sagittale und frontale CT-Schnitte von 141 Patient\*innen analysiert und von 91 Patienten 3D-Bilder rekonstruiert. Basierend darauf schlugen die Autor\*innen eine 4-teilige Klassifikation vor (Abbildung 6). Dabei konnten 137 der 141 Frakturen einer der postulierten Frakturtypen zugeordnet werden. Lediglich 4 Frakturen konnten nicht kategorisiert werden und wurden als Typ 5 Frakturen (irreguläre, osteoporotische Frakturen) klassifiziert.

**Abbildung 6:** Schematische Darstellung der Bartoníček et al. Klassifikation



Typ 1 (A): extrainsurales Fragment ohne Beteiligung der tibialen Inzisur; Typ 2 (B): Posterolaterales Fragment mit Beteiligung der tibialen Inzisur um 25-33%; Typ 3 (C): Posterolaterales zweiteiliges Fragment mit lateraler Beteiligung des dorsalen Teils der tibialen Inzisur und medialer Beteiligung des posterioren Colliculus des medialen Malleolus; Typ 4 (D): Posterolaterales großes dreieckiges Fragment, trägt die hintere Hälfte der Inzisur  
Übernommen, mit freundlicher Genehmigung des Verlags von Bartoníček J [33]

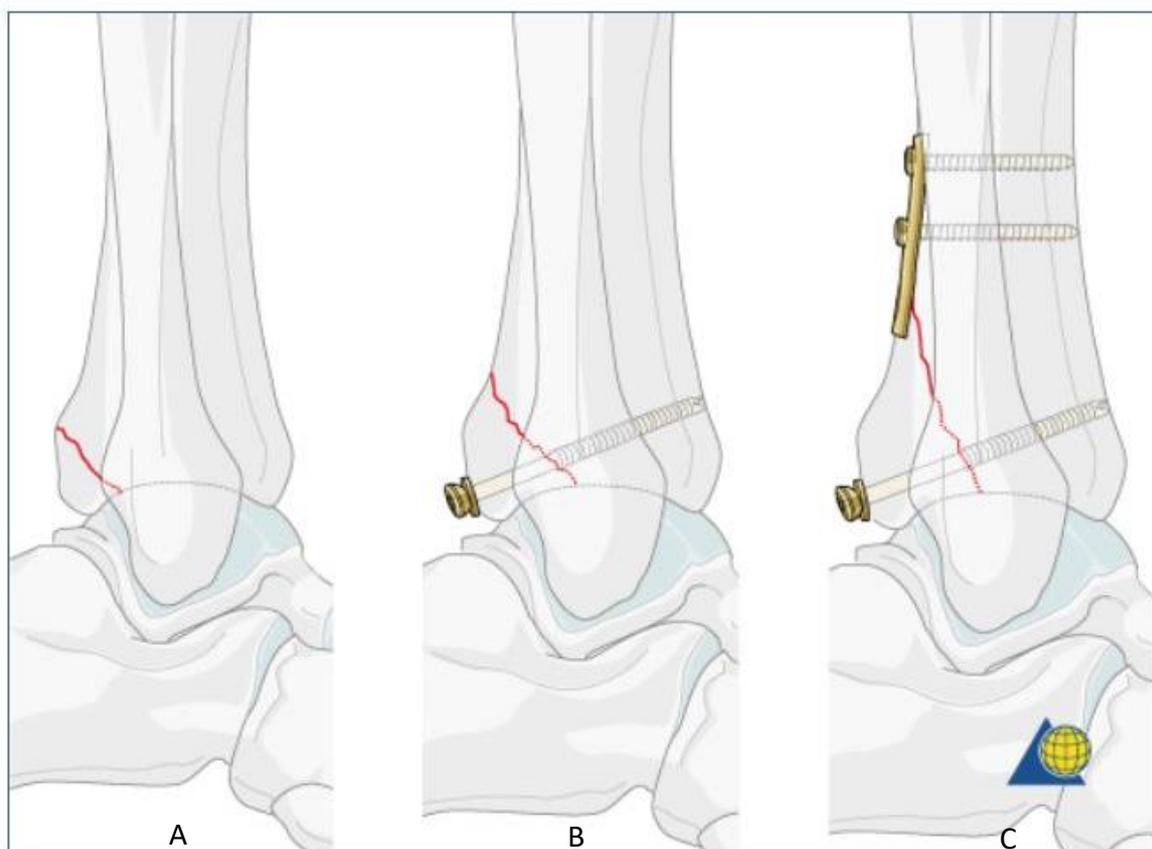
Der Vorteil dieser Klassifikation, im Vergleich zu der Haraguchi-Klassifikation [32] beruht in der klinischen Relevanz der Klassifikation. In einer weiteren Publikation

empfehlen die Autor\*innen eine Behandlungsstrategie in Abhängigkeit vom Frakturtyp [35].

## **1.5 Operative Behandlung – Etablierte Strategie**

Die Versorgung von Frakturen des medialen und lateralen Malleolus richtet sich nach den Empfehlungen der AO-Foundation (Abbildung 7). Ob der posteriore Malleolus konservativ oder operativ behandelt wird, wird nach der Drittel-Regel entschieden. Wenn das posteriore Malleolus Fragment weniger als 25-33% der Gelenkfläche in der seitlichen Ausdehnung betrifft, wird ein konservatives Vorgehen empfohlen. Wenn es mehr als 25-33% der Gelenkfläche betrifft, ist eine operative Versorgung indiziert. Diese erfolgt entweder durch geschlossene Reposition und interne Fixierung mit AP-Schraube (CRIF) oder durch offene Reposition und interne Fixierung mittels Zugschraube und/oder Antigleitplatte (ORIF).

**Abbildung 7:** Empfehlungen der AO-Foundation zur Versorgung von Frakturen des PM



A: kleines Fragment (<25% der Gelenkfläche): keine Fixierung notwendig.

B: mittelgroßes Fragment (>25% der Gelenkfläche): Fixierung mit Zugschraube.

C: großes Fragment (>25% der Gelenkfläche, Ausdehnung nach proximal): Fixierung mit Zugschraube und ggf. Antgleitplatte.

Übernommen, mit freundlicher Genehmigung des Verlags [30]

Nach Fixierung des posterioren Malleolus werden die weiteren Malleoli-Frakturen, entsprechend der AO-Empfehlungen versorgt. Anschließend erfolgt die Stabilitätstestung der Syndesmose unter Durchleuchtung. Dafür wird entweder der Hook-Test oder der Außenrotationstest nach Frick angewendet (1.3.2.4). Bei Instabilität des distalen Tibiofibulargelenkes wird die Syndesmose mit einer Stellschraube oder mit dem neueren Fadenzugsystem (z.B. TightRope®, Fa. Arthrex) stabilisiert. Die aktuelle Studienlage stellt den Vorteil des Fadenzugsystems im Vergleich zur Stellschraube in den Vordergrund. Sowohl die Metaanalyse von Shimonozo et al. [38] als auch die systematische Übersichtsarbeit von Zhang et al. [39] und die Metaanalyse von Gan et al. [40] zeigen eine niedrigere Anzahl an erneuten Eingriffen und an Implantatentfernungen beim Fadenzugsystem als bei der Stellschraube. Darüber hinaus zeigten Shimonozo et al. [38] auch signifikant bessere funktionelle Ergebnisse für das Fadenzugsystem. Auch die Rate an Fehlrepositionen war im Vergleich zur konventionellen Stellschraube signifikant niedriger: 1,0% vs. 12,0% bei Zhang et al. [39], 0,8% vs. 11% bei Shimonozo et al [38].

### **1.5.1 Behandlungsergebnisse**

Es wurden viele Faktoren nachgewiesen, die das Ergebnis der Behandlung von Sprunggelenksfrakturen beeinflussen. Dazu zählen Patient\*innenfaktoren wie das Alter [41-44], der BMI [41, 42], Diabetes Mellitus [45] aber auch Frakturfaktoren, die im Folgenden erläutert werden.

Sprunggelenksfrakturen, die den posterioren Malleolus miteinbeziehen sind mit schlechteren Ergebnissen verbunden als Frakturen ohne PM-Beteiligung [46-48]. Die Komplexität der Fraktur ist prognostisch entscheidend. Komplexe Verletzungsmuster wie Weber-C und dislozierte Frakturen zeigen schlechtere Ergebnisse [41] und eine höhere Rate an postoperativen Komplikationen [45, 49]. Auch das Vorliegen von Syndesmosenverletzungen geht häufig mit unbefriedigenden funktionellen Ergebnissen einher [47, 50].

Intraoperativ ist eine adäquate Reposition der Syndesmose notwendig. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die Wiederherstellung der Syndesmosenstabilität zu signifikant besseren funktionellen Ergebnissen führt [44, 51-53] und zu niedrigeren Raten an posttraumatischer Arthrose [51]. Ebenso wichtig für ein gutes klinisches Ergebnis ist die anatomische Reposition der Fibula in der tibialen Inzisur [44, 54]. Intraartikuläre Begleitverletzungen sind ein weiteres negatives prognostisches Zeichen für das funktionelle Ergebnis [55, 56].

Eine Studie von Van Vlijmen et al. [57] aus 2015 hat subjektive, klinische und radiologische Behandlungsergebnisse von Patient\*innen mit Syndesmosenverletzung im Rahmen einer Sprunggelenksfraktur untersucht. Die 43 Patient\*innen wurden mit Stellschraube versorgt, diese wurde nach 6 Wochen bis 3 Monaten entfernt. Nach 5 Jahren berichten 60% der Patienten über Schmerzen. In der Bildgebung wurde eine Erweiterung des Tibiofibular Clear Space bei 51% und des Medial Clear Space bei 33% der Patient\*innen festgestellt. Bei 26% konnten radiologisch Arthrosezeichen nachgewiesen werden. Eine sekundäre Diastase des distalen Tibiofibulargelenkes ist mit einem schlechten Behandlungsergebnis verbunden [57].

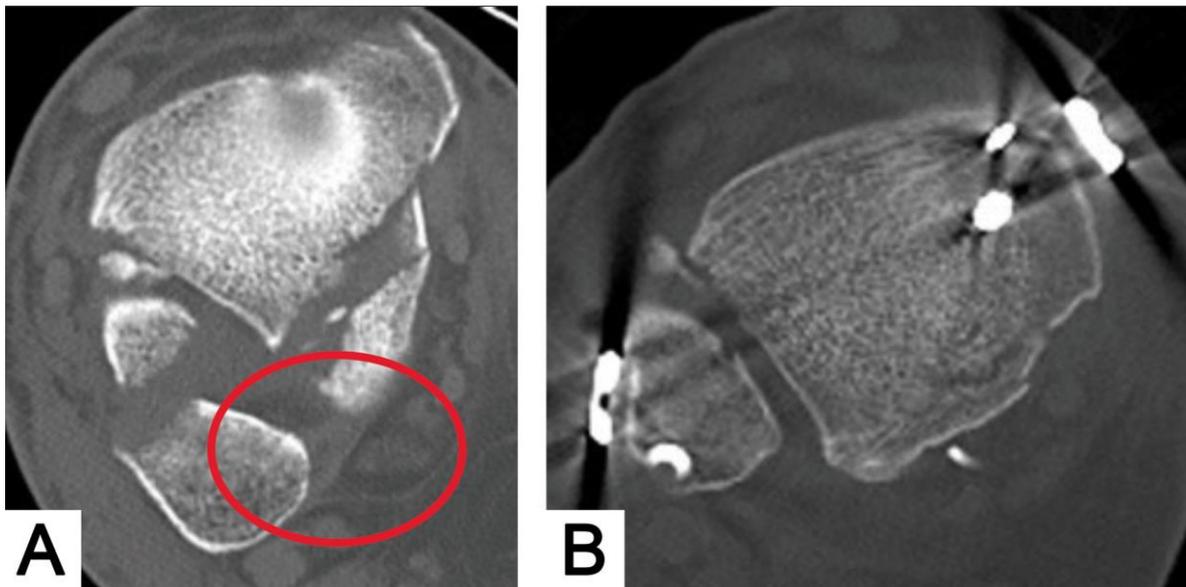
## **1.6 Operative Behandlung – Neue Entwicklungen PM Fraktur**

### **1.6.1 Rationale**

Gardner et al. haben 15 Patienten mit Fraktur des posterioren Malleolus mit MRT auf Verletzungen des PITFL untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die hintere Syndesmose bei allen Patient\*innen intakt war [58] (Abbildung 8.A). So wird die Fraktur des posterioren Malleolus heutzutage als knöcherner Ausriss der hinteren Syndesmose gewertet. In derselben Arbeit wurden 10 Kadaverbeine mit Frakturen des posterioren Malleolus entweder durch Stellschraube oder durch Osteosynthese des posterioren Malleolus versorgt. Nach Osteosynthese zeigte sich die Stabilität der Syndesmose zu 70% wiederhergestellt, nach Stellschraube allerdings nur zu 40% [58]. Die ORIF des posterioren Malleolus resultiert also nicht nur in einer Rekonstruktion der knöchernen Anatomie, sondern auch in einer knöchernen Refixierung der hinteren Syndesmose. Über Ligamentotaxis wird die distale Fibula darüber hinaus anatomisch in die tibiale

Inzisur eingestellt (Abbildung 8.B). Ob die ORIF des posterioren Malleolus Fragmentes allerdings auch zu einer höheren Rate an stabilen distalen Tibiofibulargelenken (und damit einer Reduktion der additiven Syndesmosenstabilisierungen) und besseren klinischen Ergebnissen führt, ist aktuell noch nicht abschließend bewiesen.

**Abbildung 8:** Axiales CT-Bild eines Sprunggelenks auf Höhe der Syndesmose



A) Dislozierte Frakturen des posterioren Malleolus mit gut sichtbarer und intakter hinterer Syndesmose (roter Kreis); B) Zustand nach ORIF des posterioren Malleolus und nun anatomisch reponierter distaler Fibula in der tibialen Inzisur.

Mit freundlicher Genehmigung von S.F. Baumbach

### **1.6.2 Operationstechnik ORIF des posterior Malleolus**

Basierend auf der hier vorgestellten Doktorarbeit wurde die operative Therapie von Bartonicek [33] Typ II-IV Frakturen des posterioren Malleolus für das Muskuloskelettale Universitätszentrum München standardisiert. Im Folgenden wird diese standardisierte Operationstechnik beschrieben. Die operative Versorgung von trimalleolaren Frakturen mit Bartonicek [33] Typ II-IV Frakturen des posterioren Malleolus erfolgt in instabiler Seitenlage (Abbildung 9). Über einen dorsolateralen Zugang wird zuerst der posteriore Malleolus mittels ORIF versorgt. Dafür erfolgt die Inzision dorsal der Fibula auf die Peronealsehne. Der posteriore Malleolus wird zuerst versorgt, da dieser sonst durch das Osteosynthesematerial an der distalen Fibula und ggf. dem medialen Malleolus im Röntgenbild überlagert werden würde. Nach sorgfältiger Präparierung des Situs wird die Fraktur reponiert und temporär mit einem

oder mehreren Kirschner-Drähten fixiert (Abbildung 10). Nach Durchleuchtungskontrolle wird der posteriore Malleolus endgültig mit einer Antgleitplatte oder mit Zugschrauben fixiert.

Anschließend erfolgt die operative Versorgung des lateralen Malleolus über denselben dorsolateralen Zugang. Dafür wird ein starker Hautlappen auf der oberflächlichen Unterschenkelfaszie nach ventral präpariert. Die eigentliche Osteosynthese erfolgt dann wieder nach den AO-Empfehlungen. Aktuell rekonstruieren wir nur die Faszie des peronealen Kompartimentes, um weitere Verletzungen am M. flexor hallucis longus zu vermeiden. Für die Versorgung des medialen Malleolus wird der\*die Patient\*in in die Rückenlage umgelagert, ohne dass ein neuerliches steriles Abdecken notwendig ist. Dann erfolgt die operative Versorgung der Fraktur des medialen Malleolus, wiederum entsprechend der AO-Empfehlungen. Am häufigsten führen wir hier die Zugschraubenosteosynthese mit zwei parallelen Hohlschrauben durch.

**Abbildung 9:** Darstellung des Setups im OP mit Patienten/-in in instabiler Seitenlage



Mit freundlicher Genehmigung von S.F. Baumbach

**Abbildung 10:** Illustration des dorsolateralen Zugangs mit Versorgung des PM Fragmentes

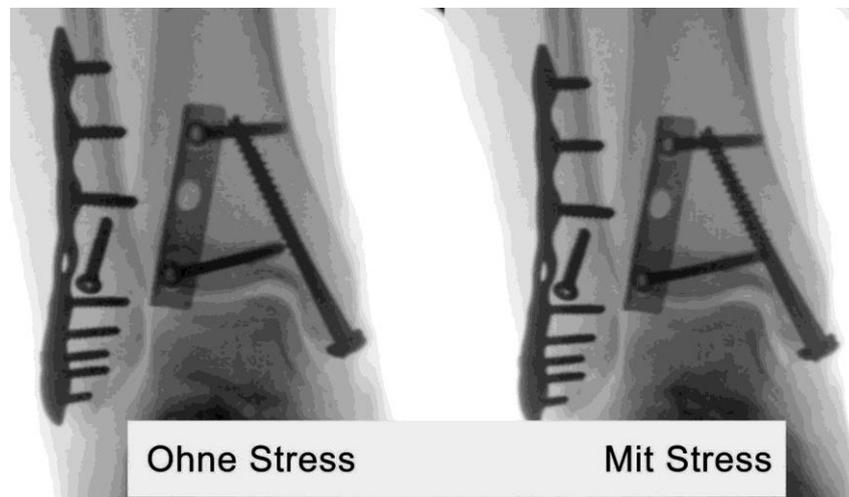


A) Intraoperativer Situs nach Eröffnung des Peronealen- und tiefen Flexoren Kompartimentes über einen dorsolateralen Zugang. \*M. peroneus und Peroneusehne; #M. flexor hallucis longus; B) Anatomisch reponierte Fraktur und Einbringen eines K-Drahtes; C) Intraoperative Ansicht nach Fixierung des posterioren Malleolus mit einer Drittelrohrtitanplatte.

Mit freundlicher Genehmigung von S.F. Baumbach

Die Stabilität der Syndesmose wird mit dem Außenrotationstresstest nach Frick geprüft (Abbildung 11), und das distale Tibiofibulargelenk gegebenenfalls mittels Stellschraube oder TightRope® (Fa. Arthrex) stabilisiert.

**Abbildung 11:** Außenrotationstest nach Frick nach ORIF sämtlicher knöcherner Verletzungen



Mit freundlicher Genehmigung von S.F. Baumbach

### **1.6.3 Behandlungsergebnisse**

Der dorsolaterale Zugang für die Versorgung des posterioren Malleolus hat sich als sicher und komplikationsarm gezeigt [59, 60]. In der Studie von Verhage [59] wurden 52 Patient\*innen mit trimalleolarer Fraktur behandelt. Als Komplikationen wurden eine oberflächliche Wundrandnekrose, eine Lungenembolie und zwei temporäre Irritationen des N. suralis berichtet; ein\*e Patient\*in musste bei sekundärer Dislokation reoperiert werden. Auch die Studie von Choi et al. [60] zeigt eine geringere Komplikationsrate für den posterolateralen Zugang: von 50 behandelten Patient\*innen mit Fraktur des posterioren Malleolus kam es zu zwei oberflächlichen Wundrandnekrosen und einer

Läsion des N. suralis. Für das funktionelle Ergebnis wurden der AOFAS ankle-hindfoot und der Olerud und Molander Ankle Score (OMAS) erhoben. Die Patient\*innen erzielten beim AOFAS durchschnittlich  $91 \pm 5$  Punkte, beim OMAS  $90 \pm 5$ . Von 52 Patient\*innen in der Arbeit von Verhage et al. [59] war eine Stabilisierung der Syndesmose in 96% der Fälle durch die PM-Fixierung zu erreichen, nur zwei Patient\*innen benötigten zusätzlich eine Stellschraube.

Verschiedene Faktoren wurden untersucht, die das subjektive Behandlungsergebnis beeinflussen können. Verglichen mit AP-Schrauben ergibt die Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes mit Platte bessere funktionelle Ergebnisse [61]. Eine intraartikuläre Stufenbildung, also eine Fehlreposition der tibialen Gelenkfläche ist mit einem höheren Arthroserisiko verbunden, und somit mit einem schlechteren funktionellen Ergebnis [42]. Tosun et al. [62] verglichen die Ergebnisse von 29 Patient\*innen mit konservativ versorgtem posteriorem Malleolus mit 20 Patient\*innen mit operativ versorgtem posteriorem Malleolus. Letztere zeigten trotz größerer Fragmente (28% vs. 21% der tibialen Gelenkfläche) weniger Arthrose und ein besseres klinisches Ergebnis. Somit empfehlen die Autor\*innen die Fixierung des posterioren Malleolus unabhängig von seiner Größe. Auch Karaca et al. teilen diese Meinung [63].

## **2 Ziele der Arbeit**

Im Rahmen dieser Dissertation wurde eine retrospektive Datenbank zu Sprunggelenksfrakturen an der LMU aufgebaut. Basierend auf dieser Datenbank sollen nun die folgenden zwei Fragestellungen beantwortet werden.

### **2.1 Einfluss der Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes auf die Stabilität des distalen Tibiofibulargelenks (Studie 1: Stabilität DTFG)**

In einer retrospektiven Studie wurde die Notwendigkeit untersucht, eine Stellschraube bei Patient\*innen mit trimalleolarer Fraktur einzubauen, in Abhängigkeit von der Versorgung des posterioren Malleolus. Das posteriore Malleolus Fragment wurde entweder nicht operativ versorgt (Gruppe 1), mittels CRIF mit AP-Schrauben (Gruppe 2) oder mittels ORIF fixiert. Zusätzlich wollten wir die Qualität der Reposition in den drei Gruppen vergleichen. Wir erwarten eine niedrigere Rate an Stellschrauben sowie eine bessere Reposition bei Patient\*innen, die mittels ORIF behandelt wurden.

### **2.2 Einfluss der Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes auf das subjektive Behandlungsergebnis (Studie 2: Klinisches Behandlungsergebnis)**

Ziel der prospektiven Studie war die Beurteilung des klinischen und funktionellen Ergebnisses nach einem mehrjährigen Follow-up bei den gleichen Patient\*innen in Abhängigkeit von der Versorgung des posterioren Malleolus Fragments. Wir erwarten ein besseres klinisches Ergebnis bei Patient\*innen, die mittels ORIF behandelt wurden.

### **3 Material und Methoden**

Die hier präsentierte Studie wurde von der Ethikkommission des Klinikums der Universität München, LMU München bewilligt (Ethik-Votum #500-15; #19-177). Alle Patient\*innen wurden ausführlich über das Studienvorhaben aufgeklärt und gaben ihre schriftliche Einwilligungserklärung entsprechend der Vorgabe der Ethikkommission. Die Doktorarbeit besteht aus zwei Studienteilen (Studie 1: Stabilität DTFG; Studie 2: Klinisches Behandlungsergebnis). Beide Studienteile beruhen auf dem im Rahmen dieser Doktorarbeit etablierten *OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>*. Die weiteren Abschnitte sind entsprechend der beiden Studienteile gegliedert.

#### **3.1 Aufbau der Frakturdatenbank „OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>“**

##### **3.1.1 Identifikation der Patienten**

Zur Erstellung des *OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>* wurden in einem ersten Schritt sämtliche Sprunggelenksfrakturen identifiziert, die in einem Zeitraum von 01/2010 bis 12/2015 an der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Klinikums der Universität München, inzwischen Muskuloskelettales Universitätszentrum München, operativ versorgt wurden. Dafür wurde die klinische Datenbank des Klinikums der Universität München, LMU München, nach den folgenden stationären ICD-10 Scores durchsucht: S82.5, S82.6, S82.7, S82.81, S82.82, S82.88, M84.07, M90.77. Die Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Ein- und Ausschlusskriterien für das *OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>*

<b>Einschlusskriterien</b>	<b>Ausschlusskriterien</b>
Patient*innen > 18 Jahre Alle operationspflichtige OSG-Frakturen Patient*inneneinwilligung	Patient*innen < 18 Jahren Akute Infektion Maligne Grunderkrankung Demenz Hohes perioperatives Risiko (ASA > 3) Pilon Frakturen Offene Frakturen

Zusammengefasst resultierte die bereinigte Suche in 771 Patient\*innen (Abbildung 12). Davon mussten 123 Patient\*innen, wie in Abbildung 12 aufgeschlüsselt, ausgeschlossen werden. Schlussendlich konnten 648 Patient\*innen in das OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup> aufgenommen werden.

### **3.1.2 Datenerhebung – allgemein**

Für alle, in das OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup> aufgenommen Patient\*innen, wurden retrospektiv die folgenden Parameter aus dem klinischen Dokumentationssystem erhoben:

- Demographische Daten: Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI
- Vorerkrankungen inklusive des Scores der American Society of Anesthesiologists (ASA Score)
- Unfall-Daten: Unfalltag, Unfallmechanismus, Seite
- Operations-Daten: Datum, Art der Versorgung (ORIF, CRIF, Arthroskopie, Syndesmose), Implantate, OP-Dauer
- Dauer des Krankenhausaufenthalts
- Wiedervorstellungs-Daten:
  - o Weitere Bildgebung (Röntgen, CT, MRT)
  - o Zeit bis zur Vollbelastung, Arbeitsfähigkeit und Sportfähigkeit
  - o Komplikationen (Minor / Major)

### **3.1.3 Datenerhebung - radiologisch**

Darüber hinaus wurden die folgenden radiologischen Parameter erhoben. Die Auswertung der radiologischen Bilder erfolgte durch zwei unabhängige Mitarbeiter\*innen (PD Dr. S. F. Baumbach, A. Damblemont) mittels Syngo Studio (Vs. VB36E, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany). Wann immer möglich, erfolgte die Analyse an den CT-Aufnahmen. Präoperativ wurden alle Frakturen nach Denis-Weber [31], der AO-Klassifikation [30] und Anzahl der frakturierten Malleoli klassifiziert. Postoperativ wurde die im Operationsbericht beschriebene Versorgung verifiziert.

### **3.1.4 Datenerhebung – Patient\*innenzufriedenheit**

Zusätzlich sollte, im Rahmen eines Follow-ups, die aktuelle Patient\*innenzufriedenheit erhoben werden. Dafür wurden alle Patient\*innen zweimalig postalisch kontaktiert mit der Bitte um Studienteilnahme. Zugesandt wurden ein durch die Doktorandin entwickelter allgemeiner Fragenbogen (Anhang 1) sowie zwei Funktionsscores (Anhang 2 und

Anhang 4) und ein allgemeiner Lebensqualitätsfragebogen (

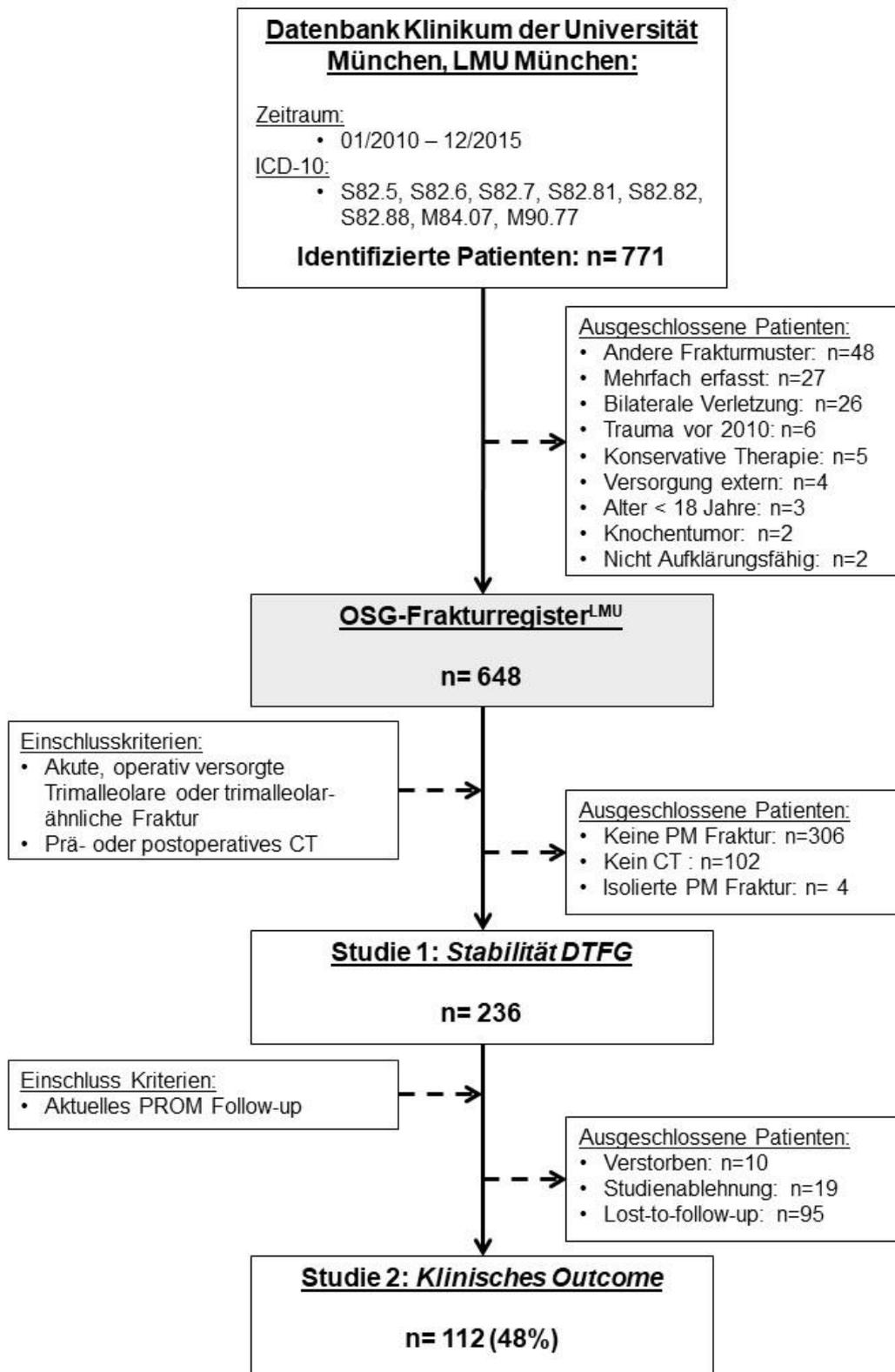
Anhang 3).

Der allgemeine Fragebogen (Anhang 1) erhob die folgenden Parameter: regelmäßige Einnahme von Schmerzmitteln, Zufriedenheit mit der Behandlung, Schmerzen in Ruhe und unter Belastung (VAS: visuell-analoge Skala), und Dauer bis zur Arbeitsfähigkeit. Zur Objektivierung der Ergebnisse wurden drei validierte und etablierte Fragebögen verwendet. Zur Ermittlung des allgemeinen Gesundheitszustandes wurde der SF-12 verwendet (

Anhang 3). Erhoben werden die Stimmung über die letzten vier Wochen und die Fähigkeit, Alltagsaktivitäten aufgrund des körperlichen und seelischen Zustands zu meistern. Bei der Auswertung werden zwei Werte berechnet: der PCS-Score (Physical Component Summary) gibt Auskunft über den körperlichen Allgemeinzustand, der MCS-Score (Mental Component Summary) über den seelischen Zustand des Patienten. Das PCS und das MCS nehmen Werte zwischen 0 und 100 an und sind auf die Allgemeinbevölkerung normiert (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung) Für die spezifische Beurteilung des Funktionszustandes des Sprunggelenks wurden die folgenden zwei Fragebögen verwendet: Olerud und Molander Ankle Score (OMAS) [64] (Anhang 2) und der Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) [65] (

Anhang 4). Bei dem Olerud und Molander Ankle Score (OMAS) [64] handelt es sich um einen Fragebogen für die Funktion des Sprunggelenks. Über neun Items werden Einschränkungen (Schmerzen, Steifheit, Schwellung, Mobilitätseinschränkungen, Arbeit/Alltagsaktivitäten) beurteilt. Es können 0 bis 100 Punkte erreicht werden, wobei 100 Punkte dem Normalzustand entsprechen. Bei dem Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) [65] wird die Leistungsfähigkeit von Fuß und Sprunggelenk gemessen. Schwierigkeiten in alltäglichen und sportlichen Aktivitäten, die durch die Verletzung des Sprunggelenks bedingt sind, werden auf einer Ordinalskala erfasst. Es werden zwei Scores mit Werten von 0 bis 100 berechnet, die die Leistungsfähigkeit von Fuß und Sprunggelenk im Alltag beziehungsweise bei Sport spiegeln.

**Abbildung 12:** Flow-chart der Patient\*innenselektion für das *OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>* sowie beiden Studienteile



## 3.2 Behandlungsstrategien

Frakturen des oberen Sprunggelenks wurden durch alle Ärzt\*innen des Muskuloskeletalen Universitätszentrums München behandelt. Vor dem 01.03.2019 fehlte ein klinikweiter, standardisierter Behandlungsalgorithmus. Entsprechend erfolgte in dem hier untersuchten Zeitraum (01/2010 bis 12/2015) die Versorgung entsprechend dem Standard des\*der behandelnden Operators\*in. Die operative Versorgung der Frakturen des lateralen und medialen Malleolus erfolgte entsprechend den Empfehlungen der AO-Foundation [30]. Frakturen des posterioren Malleolus Typ I nach Bartonicek et al. [33] wurden in der Regel nicht osteosynthetisch versorgt. Die operativen Therapiestrategien für Frakturen des posterioren Malleolus ließen sich, wie weiter oben ausgeführt, in die folgenden drei Gruppen untergliedern (Abbildung 13):

1. Gruppe 1: Keine osteosynthetische Versorgung des PM (Unversorgt)
2. Gruppe 2: Geschlossene Reposition und interne Fixierung mittels perkutan eingebrachter anterior nach posteriorer Schraube(n) (CRIF)
3. Gruppe 3: Offene Reposition und interne Fixierung mittels Schraube(n)- oder Plattenosteosynthese (ORIF)

**Abbildung 13: Behandlungsgruppen nach LMU-Standard**



Gruppe 1: Unversorgte posteriore Malleolus Fraktur; Gruppe 2 Geschlossene Reposition und interne Fixierung (CRIF) des posterioren Malleolus mittels perkutan eingebrachter anterior nach posteriorer Schraube; Gruppe 3: Offene Reposition und interne Fixierung(ORIF) des posterioren Malleolus mittels Drittelrohr Platte

Mit freundlicher Genehmigung von S.F. Baumbach

Im Anschluss an die Versorgung des PM wurde die Stabilität der Syndesmose mit Stresstest (Hook-Test, Außenrotationstest nach Frick) unter Durchleuchtung geprüft und gegebenenfalls eine Reposition der Syndesmose mit einem stabilisierenden

Verfahren durchgeführt. Zusammengefasst wurden in dem hier untersuchten Zeitraum Frakturen des lateralen und medialen Malleolus identisch behandelt. Ebenso die Stabilitätstestung der Syndesmose war standardisiert. Lediglich die Versorgung des posterioren Malleolus variierte entsprechend dem\*der behandelnden Operateur\*in.

### **3.3 Datenerhebung – Studie 1: Stabilität DTFG**

#### **3.3.1 Studienpopulation**

Die aus dem *OSG-Frakturegister<sup>LMU</sup>* zu identifizierende Zielgruppe waren alle Patient\*innen mit einer akuten (<14 Tagen), operativ versorgten trimalleolaren – oder trimalleolar-ähnlichen Sprunggelenksfraktur (AO 44-A2.3, A3.3, B1.3, B2.3, B3.1-3, C1.3, C2.3, C3.3) mit prä- oder postoperativer CT-Bildgebung. Patient\*innen ohne PM-Fraktur, mit isolierter PM-Fraktur, ohne präoperative CT-Bildgebung, oder unter 18 Jahren wurden ausgeschlossen. Die Patient\*innenselektion wird in Abbildung 12 in einem Flow-Chart dargestellt. Schlussendlich konnten 236 Patient\*innen in diesen ersten Studienteil eingeschlossen werden. Neben den im *OSG-Frakturegister<sup>LMU</sup>* vorhandenen Daten wurden die folgenden weiteren Datenpunkte erhoben.

#### **3.3.2 Radiologische Datenerhebung**

Neben den o.g. radiologischen Basisparametern für das *OSG-Frakturegister<sup>LMU</sup>* wurden, für das hier untersuchte Kollektiv, weitere spezifische Auswertungen der vorhandenen Bildgebung (konventionelles Röntgen oder CT) durchgeführt. Wiederum erfolgte die Auswertung durch zwei unabhängige Mitarbeiter\*innen (PD Dr. S. F. Baumbach, A. Damblemont) auf Syngo Studio (Vs. VB36E, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany) und, wann immer möglich, anhand der Schnittbildgebung (CT). Bei Unstimmigkeiten wurden die Fälle besprochen bis eine Einigung erzielt werden konnte. Basierend auf den präoperativen Datensätzen wurden die Frakturen des posterioren Malleolus nach Haraguchi et al. [32] klassifiziert. Darüber hinaus erfolgte eine weitere Charakterisierung entsprechend der Frakturlokalisierung (lateral / zentral / medial / gesamt), der Anzahl an Fragmenten (unifragmentär / mehrfragmentär), der Größe des posterioren Malleolus Fragmentes (mm), dessen prozentualen Anteils an der tibialen Gelenkfläche (</>25%) und der initialen

Dislokation (mm) des posterioren Malleolus Fragmentes. Basierend auf den postoperativen Datensätzen wurde die Reposition [mm] des posterioren Malleolus Fragmentes, sowie der „Medial Clear Space“ und der „Tibiofibular Clear Space“ vermessen.

### **3.3.3 Operative Versorgung**

Entsprechend der vorhandenen Operationsberichte und radiologischer Bildgebung wurde die Frakturversorgung erhoben. Die Häufigkeit einer initialen Versorgung mit Fixateur externe wurde berechnet. Die Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes wurde, entsprechend der oben beschriebenen Behandlungsstrategien (3.2), in die folgenden drei Gruppen kategorisiert (Abbildung 13):

- Gruppe 1: Keine osteosynthetische Versorgung des PM (keine)
- Gruppe 2: CRIF mittels AP Schrauben (CRIF)
- Gruppe 3: ORIF mittels Platten oder Schraube(n) Osteosynthese (ORIF)

Die verschiedenen osteosynthetischen Verfahren für die Versorgung des lateralen und medialen Malleolus wurden erfasst. Für den lateralen Malleolus waren dies: Drittelrohrplatte, winkelstabile Platte oder intramedullärer Nagel. Die Versorgung des medialen Malleolus erfolgte mittels kannülierter Hohlschrauben, Platten- oder Zuggurtungsosteosynthese. Des Weiteren wurde die Häufigkeit einer Deltaband-Rekonstruktion erfasst, sowie die additive Stabilisierung des distalen Tibiofibulargelenks (Stellschraube, Tight-Rope (Fa. Arthrex)).

### **3.3.4 Zielparameter**

Das Ziel dieser retrospektiven radiologischen Arbeit war die Untersuchung des Einflusses der Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes auf die Stabilität des distalen Tibiofibulargelenks. Entsprechend wurden die hier eingeschlossenen Patient\*innen basierend auf der Versorgung des PM-Fragmentes in die folgenden drei Gruppe eingeteilt (Abbildung 13)

- Gruppe 1: Keine osteosynthetische Versorgung des PM (keine)
- Gruppe 2: CRIF mittels AP Schrauben (CRIF)
- Gruppe 3: ORIF mittels Platten oder Schraube(n) Osteosynthese (ORIF)

Der primäre Zielparameter war der Einfluss der PM Versorgung auf die Stabilität des DTFG. Als Surrogatparameter für die Stabilität des DTFG wurde die Häufigkeit eines entsprechenden stabilisierenden Verfahrens, i.e. Stellschraube oder Tight-Rope® (Fa. Arthrex), herangezogen.

Sekundäre Zielparameter dieser Arbeit waren, wiederum in Abhängigkeit der Versorgung des PM, der Grad der Reposition und der Einfluss der PM-Fragmentgröße zu untersuchen. Auch wurde nach anderen Faktoren gesucht, die eine Stabilisierung des DTFG bedingen.

### **3.3.5 Statistik**

Die Datenauswertung erfolgte anonymisiert. Eine Normalverteilung der Werte wurde angenommen. Falls nicht anders angegeben, werden die Werte für diesen ersten Studienanteil als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung angegeben. Um Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen zu berechnen, wurde für kontinuierliche Variablen der t-Test bei verbundenen Stichproben verwendet. Zur Testung signifikanter Unterschiede beim Vergleich von Häufigkeiten wurde der Chi-Quadrat-Test angewendet. Multivarianzanalysen wurde mittels ANOVA mit Bonferroni-post-hoc-Test durchgeführt. Aufgrund der multiplen Testung wurde die Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus aktiviert und dieses wurde auf  $p < 0,005$  reduziert. Die Ergebnisse werden im Folgenden als Mittelwert  $\pm$  Standarddeviation (Bereich) angegeben.

## **3.4 Datenerhebung – Studie 2: Klinisches Behandlungsergebnis**

### **3.4.1 Studienpopulation**

Basierend auf dem Patientenkollektiv des ersten Studienteils (3.3.1), wurden alle Patient\*innen identifiziert, die ein aktuelles Follow-up (3.1.4) hatten. Darüber hinaus wurden alle einschussfähigen Patient\*innen, von denen ein aktuelles Follow-up fehlte, telefonisch kontaktiert. Dabei ergab sich, dass 10 Patient\*innen verstorben waren, 19 die Studienteilnahme verweigerten und 95 trotz multipler Versuche nicht erreicht

wurden. Somit konnten 112 Patient\*innen in den zweiten Studienteil eingeschlossen werden.

### **3.4.2 Allgemeine Daten**

Daten zur Demographie, zu den Frakturcharakteristika, zur operativen Versorgung und zum radiologischen Behandlungsergebnis wurden aus dem ersten Studienteil adaptiert. Die intra- und postoperativen Komplikationen sowie erneute Eingriffe zur Metallentfernung wurden aus dem *OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>* gewonnen. Zusätzlich wurden die Daten des allgemeinen Fragebogens, der PCS und MCS des SF-12 sowie die Ergebnisse des OMAS und FAAM ADL und Sport integriert.

### **3.4.3 Zielparameter**

Das Ziel dieser zweiten Studie war die Evaluation des klinischen und funktionellen Behandlungsergebnisses. Der primäre Zielparameter war der Olerud und Molander Ankle Score. Sekundäre Zielparameter waren der FAAM und der SF-12. Die demographischen Daten, Frakturcharakteristika, operative Versorgung und radiologisches Ergebnis wurden auf einen möglichen Einfluss auf das subjektive Behandlungsergebnis untersucht.

### **3.4.4 Statistik**

Der OMAS wurde als primärer Zielparameter ausgewertet. Der Shapiro-Wilk-Test wurde durchgeführt und ergab keine Normalverteilung ( $p < 0,001$ ). Somit werden die Ergebnisse als Häufigkeiten oder Median (Interquartilen Abstand) angegeben. Es wurden Korrelationen nach Spearman berechnet, den Kruskal-Wallis Test und den Man-Whitney U-Test für die Auswertung der Daten angewendet. Aufgrund der multiplen Testung wurde die Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus aktiviert und dieses wurde auf  $p < 0,005$  reduziert.

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Ergebnisse – Studie 1: Stabilität DTFG**

#### **4.1.1 Studienpopulation**

Die Patient\*innenselektion ist in Abbildung 12 dargestellt. Schlussendlich konnten 236 Patient\*innen mit einem durchschnittlichen Alter von  $53,0 \pm 18,3$  Jahren (18 - 100) eingeschlossen werden. 58,1% der Patient\*innen waren weiblich. Die Fraktur war in 54,7% der Fälle rechtseitig lokalisiert.

#### **4.1.2 Frakturcharakteristika**

##### **4.1.2.1 Allgemeine Klassifikation der Sprunggelenksfrakturen**

In Kombination mit einer PM Fraktur erlitten 4,3% der Patient\*innen eine Fraktur des medialen Malleolus, 28% eine Fraktur des lateralen Malleolus und 67,8% Frakturen des medialen und lateralen Malleolus. Eine initiale Luxation der Fraktur wurde in 39,4% der Fälle beobachtet. Entsprechend der Weber-Klassifikation [31] waren 1,7% Weber A, 77,5% Weber B, und 11,9% Weber C Frakturen. In Tabelle 2 sind die Frakturen entsprechend der AO-Klassifikation aufgeführt. 8,9% der Frakturen konnten nach der AO-Klassifikation nicht klassifiziert werden, 2,5% mit Fraktur des medialen und posterioren Malleolus und 6,4% mit Weber C- und posteriorer Malleolus-Fraktur.

**Tabelle 2: Eingeschlossene Frakturen nach AO-Klassifikation**

	<b>.1</b>	<b>.2</b>	<b>.3</b>	<b>Gesamt</b>	
A1	0%	0%	0%	0%	1,7%
A2	0%	0%	0,4%	0,4%	
A3	0%	0%	1,3%	1,3%	
B1	0,4%	0%	0,4%	0,8%	77,5%
B2	0%	0%	0,4%	0,4%	
B3	20,3%	19,5%	36,4%	75,8%	
C1	0%	0%	1,3%	1,3%	11,9%
C2	0%	0%	6,8%	6,8%	
C3	0,4%	0%	3,4%	3,8%	
Nicht klassifizierbar					8,9%
Gesamt					100%

#### 4.1.2.2 Klassifikation des posterioren Malleolus

Entsprechend der Haraguchi-Klassifikation [32] wurden 47,9% der Frakturen als Typ 1, 33,9% als Typ 2 und 18,2% als Typ 3 klassifiziert. Das PM-Fragment war im Mittel um  $6,6 \pm 6,1$ mm (0 - 30mm) disloziert und hatte eine durchschnittliche Größe von  $21,4 \pm 10,4$ % (2,7-55.9) der tibialen Gelenkfläche. Die Frakturcharakteristika des posterioren Malleolus Fragmentes in Abhängigkeit der Haraguchi-Klassifikation ist in Tabelle 3 aufgeführt.

**Tabelle 3: Charakteristika der PM-Frakturen in Abhängigkeit der Haraguchi-Klassifikation**

		<b>Typ 1</b>	<b>Typ 2</b>	<b>Typ 3</b>
Gesamt		112 (47,9%)	81 (33,9%)	43 (18,2%)
Lokalisation	Lateral	100%	0%	30,2%
	Zentral	0%	0%	46,5%
	Medial	0%	0%	9,3%
	Gesamt PM	0%	100%	14,0%
Fragments	Einfragmentär	59,8%	3,7%	23,3%
	Mehrfragmentär	40,2%	96,3%	76,7%
Größe des PM-Fragmentes im Vergleich zur tibialen Gelenkfläche		21,0±8,8% (6,7-55,9%)	27,2±10,9% (8,3-51,3%)	11,7±4,3 (2,7-21,0%)
PM Fragment ≤ 25%		79%	47%	100%
Initiale Luxation [mm]		5,9±5,2 (0-30)	10,0±7,0 (1-27)	2,2±1,7 (0-7)

#### **4.1.3 Operative Versorgung**

27,1% der Frakturen wurden initial mit einem Fixateur externe temporär reponiert und stabilisiert. Die Gruppen, entsprechend der finalen Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes, verteilten sich wie folgt: 48,3% Gruppe 1 (keine Versorgung des PM), 18,6% Gruppe 2 (CRIF) und 33,1% Gruppe 3 (ORIF). Eine additive Stabilisierung des distalen Tibiofibulargelenks war insgesamt in 50,0% der Fälle notwendig. Die Stabilisierung erfolgte in 56,8% der Fälle mit einer Stellschraube, in 36,4% mit einem Fadenzugsystem (TightRope®) und in 6,8% mit anderen Methoden. Der laterale Malleolus wurde in 43,6% der Fälle mittels einer Drittelrohrplatte, in 45,8% mittels einer winkelstabilen Platte und in 3,1% mittels einem intramedullären Nagel versorgt. Die restlichen 7,6% benötigten keine operative Versorgung. In 65,3% der Patient\*innen musste eine Fraktur des medialen Malleolus osteosynthetisch versorgt werden, davon 65,7% mittels kannülierter Hohlschraube(n), 17,5% mittels Plattenosteosynthese und 14,9% mittels einer Zuggurtungsosteosynthese. Insgesamt wurde bei 8,1% der Patient\*innen das Deltaband rekonstruiert.

#### **4.1.4 Radiologisches Ergebnis nach operativer Versorgung**

Das Repositionsergebnis des PM und DTFG wurde anhand der postoperativen Bildgebung erhoben. Die Dislokation des PM wurde signifikant im Durchschnitt von 6,6

$\pm 6,1$  mm (0 – 30 mm) präoperativ auf  $2,0 \pm 2,1$  mm (0 – 20 mm,  $p < 0,001$ ) postoperativ korrigiert. Zielparameter für die Reposition des DTFG waren die Größe des „Medial Clear Space“ und des „Tibio-fibular Clear Space“. Dabei betrug der „Medial Clear Space“ durchschnittlich  $3,2 \pm 1,0$  mm (2 – 8 mm) und der „Tibio-fibular Clear Space“  $4,3 \pm 1,5$  mm (2-9 mm).

#### **4.1.5 Analyse der PM Frakturmorphologie zwischen den Behandlungsgruppen**

Anschließend wurde die Frakturmorphologie des posterioren Malleolus Fragmentes zwischen den drei Behandlungsgruppen der posterioren Malleolus Fraktur verglichen (Tabelle 4). Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen bezüglich der Haraguchi-Klassifikation [32] ( $p < 0,001$ ), der Lokalisation ( $p < 0,001$ ), der Anzahl an Fragmenten ( $p < 0,001$ ) und der Fragmentgröße ( $p < 0,001$ ). Die Häufigkeit einer initialen Dislokation unterscheidet sich hingegen nicht signifikant zwischen den Gruppen 2 und 3 ( $p = 1,0$ ), allerdings zeigte sich eine signifikant größere Dislokation in Gruppen 2 und 3 als in Gruppe 1 (jeweils  $p < 0,001$ ).

**Tabelle 4: Charakteristika der PM-Frakturen in Abhängigkeit der drei Behandlungsgruppen**

		<b>Gruppe 1 (Keine)</b>	<b>Gruppe 2 (CRIF)</b>	<b>Gruppe 3 (ORIF)</b>
Gesamt		114 (48,3%)	44 (18,6%)	78 (33,1%)
Haraguchi Klassifikation [32]	Typ 1	53 (46,5%)	15 (34,1%)	44 (56,4%)
	Typ 2	19 (16,7%)	28 (63,6%)	34 (43,6%)
	Typ 3	42 (36,8%)	1 (2,3%)	0 (0%)
Lokalisation PM-Fragment	Lateral	66 (57,9%)	15 (34,1%)	44 (56,4%)
	Zentral	20 (17,5%)	0 (0%)	0 (0%)
	Medial	3 (2,6%)	1 (2,3%)	0 (0%)
	Gesamt PM	25 (21,9%)	28 (63,6%)	34 (43,6%)
Anzahl der Fragmente	Einfragmentär	49 (43,0%)	10 (22,7%)	21 (26,9%)
	Mehr- fragmentär	65 (57,0%)	34 (77,3%)	57 (73,1%)
Größe PM in Prozent der tibialen Gelenkfläche		15,6 ± 6,2%	30,3 ± 11,9%	24,7 ± 9,4%
PM-Fragmente ≤ 25%		107 (94 %)	14 (32 %)	48 (62 %)
PM-Fragmente > 25%		7 (6 %)	30 (68 %)	30 (38 %)
Initiale Dislokation des PM [mm]		4,6 ± 5,0 (0-26)	9,0 ± 5,6 (1-26)	8,3 ± 6,9 (1-30)

#### **4.1.6 Analyse der Versorgungsstrategie zwischen den Behandlungsgruppen**

In Tabelle 5 wird die operative Versorgung zwischen den drei Behandlungsgruppen verglichen. Zusammengefasst zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen, weder für die initiale Stabilisierung mittels eines Fixateurs externe ( $p=0,024$ ), noch für die Versorgung des medialen ( $p=0,090$ ) oder lateralen Malleolus ( $p=0,016$ ). Auch für die Rekonstruktion des Deltabands ergaben sich keine signifikanten Gruppenunterschiede ( $p=0,918$ ).

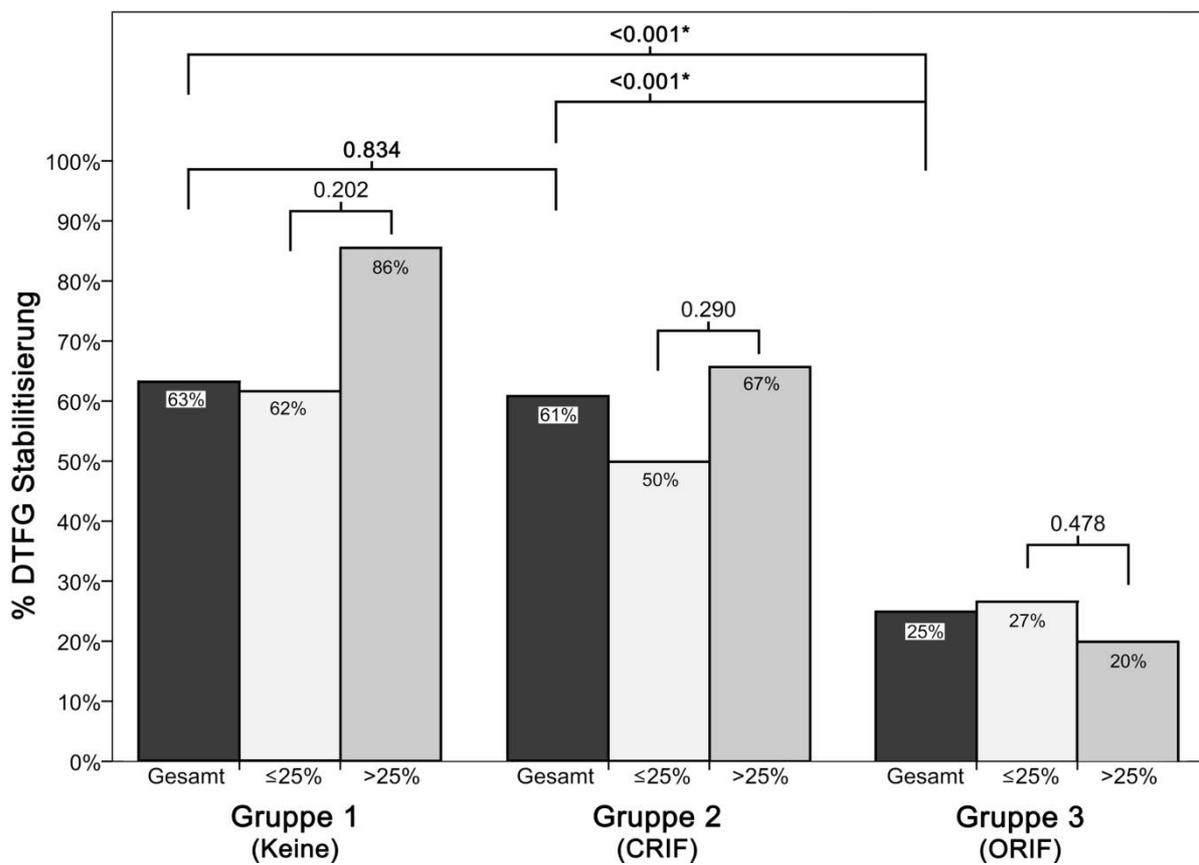
**Tabelle 5: Analyse der Versorgungsstrategie zwischen den einzelnen Gruppen**

		<b>Gruppe 1 (Keine)</b>	<b>Gruppe 2 (CRIF)</b>	<b>Gruppe 3 (ORIF)</b>
Gesamt		114 (48,3%)	44 (18,6%)	78 (33,1%)
Fixateur externe		22 (19,3%)	17 (38,6%)	25 (32,1%)
Lateraler Malleolus	Drittelrohrplatte	57 (50,0%)	21 (47,7%)	25 (32,1%)
	winkelstabile Platte	48 (42,1%)	14 (31,8%)	46 (59,0%)
	intramedullärer Nagel	4 (3,5%)	2 (4,5%)	1 (1,3%)
Medialer Malleolus	Kanülierte Hohlschrauben	44 (38,6%)	21 (47,7%)	39 (50,0%)
	Platte	9 (7,9%)	4 (9,1%)	14 (17,9%)
	Zuggurtung	13 (11,4%)	5 (11,3%)	5 (6,4%)
Deltabandnaht		10 (8,8%)	3 (6,8%)	6 (7,7%)

#### **4.1.7 Primärer Zielparameter: Einfluss der PM-Versorgung auf die Stabilität des DTFG**

Die Häufigkeit der Stabilisierung des DTFG in Abhängigkeit von der Versorgung des PM war der primäre Zielparameter dieser ersten Studie. Die ORIF des posterioren Malleolus Fragmentes resultierte in einer signifikanten Reduktion der additiven Stabilisierungen des distalen Tibiofibulargelenks (Gruppe 3: 25%) im Vergleich zu den Gruppen mit unversorgtem (Gruppe 1: 63%;  $p < 0,001$ ) oder mittels CRIF versorgtem posterioren Malleolus Fragment (Gruppe 2: 62%;  $p < 0,001$ ). Wie in Abbildung 14 dargestellt, hatte dabei die Größe des PM Fragmentes keinen signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit der additiven DTFG Stabilisierung. Ebenfalls konnte kein signifikanter Einfluss von Geschlecht ( $p = 0,383$ ), Alter ( $p = 0,581$ ), Frakturseite ( $p = 0,186$ ), Dislokation ( $p = 0,107$ ) oder der AO-Klassifikation ( $p = 0,358$ ) festgestellt werden.

**Abbildung 14: Einfluss der PM-Versorgung auf die Stabilität des DTFG**



#### **4.1.8 Sekundäre Zielparameter: Einfluss der Größe des posterioren Malleolus sowie Grad der Reposition in Abhängigkeit der PM-Versorgung**

Als sekundäre Zielparameter interessiert ob die Behandlungsgruppe des posterioren Malleolus einen Einfluss auf die Reposition des PM-Fragmentes hatte. Dies wurde wiederum in Abhängigkeit der Größe des PM Fragmentes untersucht (Tabelle 6). Dabei resultierte die ORIF des PM Fragmentes in einer signifikant besseren Reposition im Vergleich zu den unversorgten (Gruppe 1;  $p < 0,001$ ) und mittels CRIF (Gruppe 2;  $p = 0,002$ ) versorgten PM Frakturen. Wiederrum hatte die Größe des PM Fragmentes ( $\leq 25\%/ > 25\%$ ) innerhalb der drei Behandlungsgruppen keinen signifikanten Einfluss auf das Repositionsergebnis.

**Tabelle 6: Grad der Reposition in Abhängigkeit der Versorgungsgruppe und PM-Größe**

	Gruppe 1 (Keine)			Gruppe 2 (CRIF)			Gruppe 3 (ORIF)		
	Gesamt	≤25%	>25%	Gesamt	≤25%	>25%	Gesamt	≤25%	>25%
PM- Reposition [mm]	2,5±2,3 (0-20)	2,5±2,4 (0-20)	2,3±0,8 (1-3)	2,5±2,1 (0-8)	2,4±1,8 (0-7)	2,5±2,3 (0-8)	1,2±1,1 (0-5)	1,4±1,3 (0-5)	0,9±0,8 (0-3)
p-Wert		0,852			0,837			0,042	
% anatomisch reponierte Frakturen (≤1mm)	38%	38%	14%	36%	29%	40%	73%	65%	87%
p-Wert		0,187			0,463			0,032	

#### **4.1.9 Sekundäre Zielparameter: Weitere Einflussfaktoren auf die additive Stabilisierung des DTFG**

Trotz der signifikanten Reduktion der Notwendigkeit einer additiven DTFG-Stabilisierung nach ORIF des PM Fragmentes, musste eine entsprechende Stabilisierung dennoch in fast 25% der Fälle durchgeführt werden. Entsprechend wurde versucht, mögliche andere Faktoren zu identifizieren, die eine additive Stabilisierung des DTFG in dieser Gruppe (Gruppe 3: ORIF) bedingen. Wie in Tabelle 7 dargestellt, konnte bei keinem der untersuchten Parameter ein statistisch signifikanter Einfluss nachgewiesen werden.

**Tabelle 7: Parameter, die die Notwendigkeit einer Syndesmosenfixierung beeinflussen könnten**

	<b>Gruppe 3 (ORIF)</b>	
	Keine Syndesmosenversorgung	Fixierung der Syndesmose
Gesamt	58 (75%)	20 (25%)
Alter	p=0,645	
Geschlecht	p=0,011	
Seite	p=0,012	
Dislokation	p=0,349	
AO Klassifikation	p=0,179	
Haraguchi-Klassifikation	p=0,225	
PM-Lokalisation	p=0,225	
Mehrfragmentäres PM-Fragment	p=0,262	
PM-Dislokation	p=0,306	
PM-Größe	p=0,227	
PM-Reposition	p=0,335	
Medial clear space	p=0,112	
Tibio-fibular clear space	p=0,467	
Initiale Versorgung mit Fixateur externe	p=0,960	
Versorgung des lateralen Malleolus	p=0,017	
Versorgung des medialen Malleolus	p=0,117	
Versorgung des Deltabandes	p=0,141	

## 4.2 Ergebnisse – Studie 2: Klinisches

### Behandlungsergebnis

#### 4.2.1 Studienpopulation

Von den 236 Patient\*innen der Studie 1, konnte von 112 (48%) Patient\*innen ein aktuelles Follow-up erhoben werden (Abbildung 12). Die demographischen Daten, Frakturcharakteristika und operative Versorgung im Vergleich zu dem Gesamtkollektiv (Studie 1) sind in Tabelle 8 dargestellt. Zusammengefasst zeigt sich für keinen der Untersuchten Parameter ein signifikanter Unterschied zwischen den Patient\*innengruppen der beiden Studien.

**Tabelle 8: Gegenüberstellung der demographischen Daten, Frakturcharakteristika und operativer Versorgung zwischen Studie 1 und Studie 2.**

			<b>Studienteil 1 (n=236)</b>	<b>Studienteil 2 (n=112)</b>
Alter	[Jahre]		53,0±18,3	53,4±15,4
Geschlecht	[% weiblich]		58,1%	64,3%
Seite	[% links]		45,3%	42,9%
BMI	[kg/m <sup>2</sup> ]		-	27(7)
<b>Luxationsfraktur</b>				
	[%]		39,4%	38,4%
<b>AO-Klassifikation</b>	A1		0%	0%
	A2		0,4%	0%
	A3		1,3%	0,9%
	B1		0,8%	0%
	B2		0,4%	0,9%
	B3		75,8%	78,6%
	C1		1,3%	0%
	C2		6,8%	6,3%
C3		3,8	5,4	
<b>Haraguchi-Klassifikation</b>	Typ 1		47,9%	44,6%
	Typ 2		33,9%	36,6%
	Typ 3		18,2%	18,8%

**Fortsetzung Tabelle 8: Gegenüberstellung der demographischen Daten, Frakturcharakteristika und operativer Versorgung zwischen Studie 1 und Studie 2.**

			<b>Studienteil 1 (n=236)</b>	<b>Studienteil 2 (n=112)</b>
PM	Lokalisation	Lateral	53,0%	50,0%
		Zentral	8,5%	8,9%
		Medial	1,7%	1,8%
		Gesamt	36,9%	39,3%
	% Mehrfragmentär		66,1%	71,4%
	Dislokation [mm]		6,6±6,1mm	6,5±6,2mm
	Größe des PM Fragmentes im Vergleich zur tibialen Gelenkfläche		21,4±10,4%	22,3±10,8%
Repositionsergebnis [mm]		2,0±2,1mm	1,7±1,6mm	
Medial clear space	[mm]		3,2±1,0mm	3,1±0,8mm
Tibio-fibular clear space	[mm]		4,3±1,5mm	4,3±1,5mm
Fixateur externe	[%] ja		27,1%	22,3%
Versorgung PM	Keine		48,3%	43,8%
	CRIF		18,6%	18,8%
	ORIF		33,1%	37,5%
Versorgung lateraler Malleolus	Drittelrohr Platte		47,2%	48,5%
	Winkelstabile Platte		49,5%	50,5%
	Nagel		3,2%	1,0%
Versorgung medialer Malleolus	Kannülierte Hohlschrauben		65,3%	68,1%
	Platte		17,5%	18,1%
	Zuggurtung		14,9%	13,9%
Versorgung Deltaband			8,1%	7,1%
Syndesmose	[%] Stabilisierung		50,0%	44,6%
Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Daten aus Studie 2 auch als Median ± Standarddeviation, wo notwendig, angegeben.				

### **4.2.2 Komplikationen und Metallentfernung**

Bei 4,5% der Patient\*innen kam es zu einer Minor-, bei 13,4% zu einer Major Komplikation. Die Minor Komplikationen waren drei Wundheilungsstörungen, die konservativ behandelt werden konnten, eine periphere Nervenläsion und eine Lungenembolie. Als Major Komplikationen zählten drei Fehlrepositionen, die revidiert werden mussten, eine Pseudarthrose, vier freie Gelenkkörper und sieben operationspflichtige postoperative Wundheilungsstörungen.

In Deutschland wird im Allgemeinen die Stellschraubenentfernung nach sechs Wochen empfohlen. Von 23 eingebrachten Stellschrauben, wurden 57% nach im Median 6,7(1,4) Wochen entfernt. Bei 46% der Patient\*innen erfolgte im Median nach 13(9) Monaten die Entfernung des Osteosynthesematerials, bei 20% mit begleitender Arthroskopie des oberen Sprunggelenks bei Arthrofibrose.

### **4.2.3 Subjektives Behandlungsergebnis**

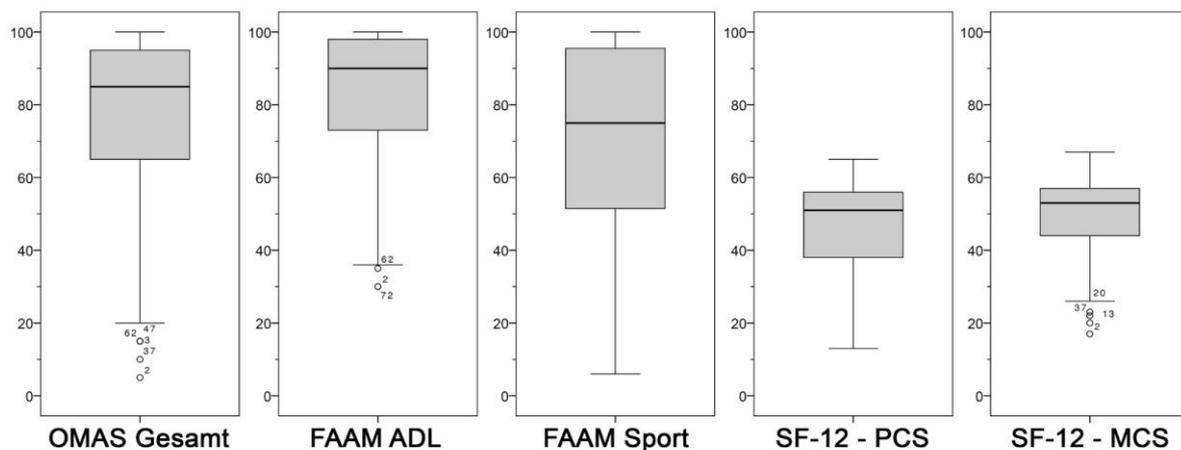
Von den 79% berufstätigen Patient\*innen konnten alle, im Median nach 10 (11) Wochen, ihre Arbeit wieder aufnehmen. Vierundsiebzig Patient\*innen (66%) machten eine Angabe zu ihrer Sportfähigkeit. Diese war im Median nach 16 (15) Wochen gegeben.

Das aktuelle Follow-up erfolgte im Median 2,7 (2,1; 1-7,2) Jahre nach der finalen osteosynthetischen Versorgung. 12,5% der Patient\*innen gaben an, noch regelmäßig Schmerzmittel einzunehmen. 83,9% der Patient\*innen waren zufrieden oder sehr zufrieden mit der Behandlung und 89,3% würden die Operation weiterempfehlen. Auf einer VAS [0-100] wurden die Schmerzen in Ruhe bei 0(15) und unter Belastung 15(40) angegeben.

Die subjektiven Behandlungsergebnisse entsprechend der standardisierten Fragebögen (OMAS, FAAM und SF-12) sind in Abbildung 15 dargestellt. Im Median erzielten die Patienten beim Olerud und Molander Score 85(31) Punkte. In der Kategorie der Alltagsaktivitäten des FAAM-Tests (FAAM-ADL) wurden 90(26) Punkte erreicht. Die Selbsteinschätzung der Patient\*innen lag bei 90(27) Punkten. Dies entspricht einer Spearman-Korrelation von  $r=0,914$  ( $p<0,001$ ) zwischen PROM und Selbsteinschätzung der Patient\*innen. 77,7% der Patienten füllten den Fragebogen zu

den sportlichen Aktivitäten des FAAM (FAAM-Sport) aus und erreichten eine mediane Punktzahl von 75(47). In der Selbsteinschätzung erzielten sie 80 (36) Punkte. Die Korrelation zwischen PROM und Selbsteinschätzung betrug  $r=0,925$  ( $p<0,001$ ). Für den SF-12 ergab sich ein körperlicher Score (PCS) von 51(29) Punkte und ein psychischer Score (MCS) von 53(14) Punkte.

**Abbildung 15: Auswertung der subjektiven Behandlungszufriedenheit basierend auf den standardisierten Fragebögen OMAS, FAAM und SF-12**



OMAS: Olerud and Molander Ankle Score; FAAM: Foot and Ankle Ability Measure; ADL: Activity of daily living; SF-12: Short Form (12) Health Survey; PCS: Physical Component Summary; MCS: Mental Component Summary

Die subjektive Behandlungsergebnisse wurden auch entsprechend der Versorgungsstrategie des posterioren Malleolus und der Fragmentgröße ( $</>25\%$ ) ausgewertet. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 9 dargestellt. Zusammengefasst zeigten sich signifikant weniger Schmerzen in Ruhe bei Patienten mit operativ versorgtem PM Fragment ( $p=0,031$ ). Patient\*innen der Gruppe 2 (CRIF) zeigen unter Belastung signifikant weniger Schmerzen als Patient\*innen der Gruppen 1 und 3. Innerhalb der Gruppe 3 (ORIF) zeigten Patient\*innen mit größerem PM Fragment ( $>25\%$ ) signifikant schlechtere Ergebnisse im OMAS ( $p=0,024$ ) und FAAM-Sport ( $p=0,023$ ).

**Tabelle 9: Auswertung der PROM entsprechend der drei Behandlungsgruppen**

	Gruppe 1 (Keine)*	Gruppe 2 (CRIF)		Gruppe 3 (ORIF)			p-Wert	
		Gesamt (n=49)	Gesamt (n=21)	≤25% (n=6)	>25% (n=15)	Gesamt (n=42)		≤25% (n=25)
<b>VAS Ruhe</b>	5(20)	0(0)	0(1)	0(3)	0(16)	0(10)	0(20)	<b>0,031</b>
p-Wert			0,779			0,402		
<b>VAS Belastung</b>	20(35)	2(10)	10(14)	0(13)	20(40)	10(35)	25(35)	<b>0,012</b>
p-Wert			0,274			0,157		
<b>OMAS</b>	83(40)	90(30)	88(31)	90(30)	80(28)	90(25)	70(36)	0,295
p-Wert			0,970			<b>0,024</b>		
<b>FAAM ADL</b>	89(38)	94(21)	91(12)	96(22)	89(22)	93(20)	78(28)	0,341
p-Wert			0,622			0,054		
<b>FAAM Sport</b>	79(46)	81(47)	72(35)	91(53)	72(40)	81(35)	50(48)	0,301
p-Wert			0,442			<b>0,023</b>		
<b>SF-12: PCS</b>	51(25)	51(12)	48(12)	53(12)	52(15)	53(13)	44(21)	0,730
p-Wert			0,381			0,111		
<b>SF-12: MCS</b>	53(20)	51(10)	50(6)	53(11)	53(10)	54(9)	53(14)	0,878
p-Wert			0,424			0,411		

\* Eine vergleichende Analyse war aufgrund der kleinen Fallzahl in der Gruppe >25% (n=2) nicht möglich; OMAS: Olerud and Molander Ankle Score; FAAM: Foot and Ankle Ability Measure; ADL: Activity of daily living; SF-12: Short Form (12) Health Survey; PCS: Physical Component Summary; MCS: Mental Component Summary

#### **4.2.4 Einflussfaktoren auf das subjektive Behandlungsergebnis**

Anschließend wurde geprüft, ob die erhobenen Faktoren einen Einfluss auf das subjektive Behandlungsergebnis hatten. Für die allgemeinen Patient\*innen-, Fraktur- und Behandlungsdaten wurden Korrelationen nach Spearman berechnet. Zusammenfassend zeigte sich ein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf den OMAS ( $p=0,001$ ), des BMIs auf den FAAM-Sport sowie des Tibio-Fibular-Clear-Spaces auf die Schmerzen in Ruhe und den FAAM-Sport. Der BMI und die ASA-Klassifikation hatten einen signifikanten Einfluss auf den allgemeinen Gesundheitszustand, gemessen am SF-12 PCS ( $p<0,001$ ).

**Tabelle 10: Mögliche Einflussfaktoren auf das subjektive Behandlungsergebnis**

	VAS Ruhe	VAS Belastung	OMAS	FAAM ADL	FAAM Sport	SF-12 PCS	SF-12 MCS
Alter [Jahre]	r=0,089 p=0,351	r=-0,056 p=0,563	r=-0,230 p=0,016	r=-0,232 p=0,014	r=-0,118 p=0,276	r=-0,288 <b>p=0,002</b>	r=-0,019 p=0,841
Geschlecht (p-Wert)	0,114	0,037	<b>0,001</b>	0,006	0,017	0,008	0,015
Seite (p-Wert)	0,816	0,763	0,708	0,465	0,774	0,185	0,460
BMI	r=0,109 p=0,258	r=0,214 p=0,026	r=-0,287 <b>p=0,002</b>	r=-0,291 <b>p=0,002</b>	r=-0,372 <b>p&lt;0,001</b>	r=-0,306 <b>p=0,001</b>	r=0,063 p=0,511
ASA (p-Wert)	0,399	0,381	0,006	<b>0,002</b>	0,093	<b>&lt;0,001</b>	0,623
Luxationsfraktur	0,408	0,581	0,151	0,065	0,286	0,122	0,549
AO Klassifikation	0,329	0,543	0,361	0,216	0,286	0,052	0,219
Haraguchi Klassifikation	0,062	0,073	0,277	0,471	0,564	0,526	0,310
PM Lokalisation	0,033	0,147	0,873	0,724	0,810	0,481	0,559
PM Mehrfragmentär	0,489	0,578	0,542	0,466	0,219	0,467	0,124
PM Dislokation	r=-0,131 p=0,169	r=-0,105 p=0,273	r=0,004 p=0,963	r=0,007 p=0,942	r=-0,040 p=0,715	r=-0,005 p=0,958	r=0,046 p=0,632
PM Größe im Vergleich zur tibialen Gelenkfläche	r=-0,128 p=0,182	r=-0,100 p=0,300	r=-0,077 p=0,424	r=-0,068 p=0,477	r=-0,194 p=0,072	r=-0,051 p=0,593	r=0,033 p=0,734
PM </>25%	0,289	0,324	0,872	0,885	0,282	0,939	0,668
PM Repositionsergebnis	r=0,007 p=0,943	r=-0,008 p=0,934	r=0,049 p=0,613	r=0,074 p=0,441	r=0,073 p=0,500	r=0,062 p=0,519	r=0,046 p=0,630
Medial clear space	r=-0,101 p=0,294	r=-0,091 p=0,347	r=0,178 p=0,065	r=0,178 p=0,064	r=0,141 p=0,198	r=0,188 p=0,050	r=0,090 p=0,351
Tibio-fibular clear space	r=-0,341 <b>p&lt;0,001</b>	r=-0,221 p=0,021	r=0,251 p=0,010	r=0,236 p=0,016	r=0,314 <b>p=0,004</b>	r=0,157 p=0,113	r=0,280 p=0,04
Fixateur externe	0,994	0,264	0,037	0,035	0,066	0,033	0,095
Versorgung PM	0,031	0,012	0,295	0,341	0,301	0,730	0,878
Versorgung lateraler Malleolus	0,313	0,051	0,011	0,017	0,021	0,001	0,807
Versorgung medialer Malleolus	0,679	0,686	0,100	0,576	0,668	0,185	0,887
Versorgung Deltaband	0,097	0,267	0,077	0,169	0,198	0,120	0,972
Versorgung Syndesmose	0,128	0,155	0,242	0,288	0,616	0,549	0,025
Komplikationen	0,533	0,351	0,028	0,043	0,119	0,081	0,132
Metallentfernung	0,416	0,185	0,048	0,138	0,263	0,026	0,481
Finales Follow-up	r=-0,162 p=0,090	r=-0,203 p=0,033	r=0,168 p=0,079	r=0,197 p=0,039	r=0,243 p=0,023	r=0,196 p=0,039	r=0,120 p=0,211

## 5 Diskussion

### 5.1 Studie 1: Stabilität DTFG

Im Rahmen des ersten Studienteils wurde untersucht, ob die Versorgungsstrategie des PM Fragmentes einen Einfluss auf die Stabilität des DTFG hatte. Dafür wurden 236 Patient\*innen aus dem *OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>* identifiziert. Dabei zeigte sich, dass die mittels ORIF versorgten Patient\*innen (Gruppe 3) signifikant seltener als die Patient\*innen der Gruppen 1 und 2 eine zusätzliche Syndesmosenstabilisierung benötigten, und dies unabhängig von der Fragmentgröße.

Wie in der Einleitung schon erwähnt, ist die Wiederherstellung der Syndesmosenstabilität essenziell für ein gutes funktionelles Behandlungsergebnis [44, 53]. Es konnte gezeigt werden, dass die indirekte Reposition (CRIF) oder die Fixierung mittels Stellschraube in bis zu 50% in einer Fehlreposition des DTFG resultiert [22]. Gardner et al. [58] schließen in einer Kadaverstudie, dass das PM Fragment als knöcherner Ausriss der hinteren Syndesmose zu werten ist. Somit könnte die ORIF des PM Fragmentes zu einer höheren Rate an stabilen distalen Tibiofibulargelenken und somit zu weniger zusätzlich benötigten Syndesmosenstabilisierungen führen. Eine Bestätigung dieser Hypothese würde dafürsprechen, dass alle PM Fragmente unabhängig von ihrer Größe mittels ORIF fixiert werden sollten.

Zahlreiche Studien haben die funktionellen Ergebnisse oder das Repositionsergebnis zwischen ORIF und CRIF verglichen [47, 66-69]. Auch wenn die Ergebnisse teilweise heterogen sind, scheint die ORIF des PM bezüglich Komplikationen, radiologische und funktionelle Ergebnisse zu besseren Ergebnissen zu führen als die CRIF. Allerdings haben bisher nur drei Studien die Häufigkeit einer Syndesmosenfixierung in Abhängigkeit der PM-Behandlung untersucht [61, 70, 71]. O'Connor et al. [61] verglichen retrospektiv die Versorgung des PM mittels CRIF gegen dessen Versorgung mittels ORIF. Wohingegen bei 5 der 11 Patient\*innen in der CRIF Gruppe eine additive Syndesmosenstabilisierung notwendig war, war diese nur bei 2 von 16 Patient\*innen, die mittels ORIF des PM versorgt wurden, notwendig. Allerdings war dieser Unterschied (46% vs. 13%), am ehesten aufgrund der kleinen Fallzahl, nicht statistisch signifikant. Eine weitere Limitation dieser Studie ist die fehlende

Kontrollgruppe, in der das PM Fragment nicht fixiert wurde. Ein deutlich größeres Patient\*innenkollektiv (198 Patienten) wurde von Miller und Kollegen [70] untersucht. In diesem wurde der PM bei 151 Patient\*innen nicht fixiert (unversorgt) und 47 Patient\*innen mittels ORIF versorgt. Bei 27% (41 Patient\*innen) der Patient\*innen mit unversorgtem PM war eine additive die Syndesmosenstabilisierung notwendig. In der ORIF-Gruppe war dies lediglich bei 2% (1 Patient\*in) indiziert. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist statistisch signifikant ( $p < 0.001$ ). Allerdings sollten auch bei dieser Studie mehrere Schwächen diskutiert werden. Nur Fragmente größer 25% der tibialen Gelenkfläche wurden operativ versorgt (ORIF-Gruppe), sodass die Ergebnisse keine Aussagekraft für kleine Fragmente erlauben. Die Auswertung erfolgte ausschließlich anhand von Röntgenbildern, deren Aussagekraft, im Vergleich zu CT-Bildern, deutlich eingeschränkt ist [20]. Entsprechend war zum einen die Klassifikation der PM nur eingeschränkt möglich, zum anderen konnte der Einfluss anderer Frakturparameter auf die Ergebnisse nicht analysiert werden. Zuletzt wurden in beiden Gruppen relativ wenige Stabilisierungen des DTFG notwendig (27% bzw. 2%). Die dritte Studie von Li et al. [71] verglich als einzige die drei möglichen Versorgungsgruppen (keine Versorgung, CRIF, ORIF) für Frakturen des PM. Insgesamt wurden 97 Patient\*innen retrospektiv nachuntersucht. In der ersten Gruppe (keine Fixierung) war bei 57% der Patient\*innen (36 von 63), in Gruppe 2 (CRIF) bei 47% (7 von 15) und in Gruppe 3 (ORIF) bei keinem Patient\*innen (0 von 19) eine additive Stabilisierung der Syndesmose notwendig. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,001$ ) zwischen Gruppe 3 (ORIF) und den beiden anderen Gruppen. Allerdings wurden auch in dieser Studie wiederum nur Röntgenbilder ausgewertet, mit den daraus resultierenden und oben genannten Limitationen. Weitere Limitationen dieser Studie sind die fehlende numerische Vermessung der PM-Fragmenten sowie die unterschiedlichen Gruppengrößen. Die PM Fragmente wurden nur binär in „klein/flockig“ und „ziemlich groß“ klassifiziert. Die Größe der Gruppen 2 und 3 war relativ klein im Vergleich zur Gruppe 1.

Zusammengefasst handelt es sich bei der hier präsentierten Studie um die erste Arbeit, die die Häufigkeit der Notwendigkeit einer additiven Syndesmosenfixierung in Abhängigkeit der drei möglichen Versorgungsmethoden der PM Fraktur, sowohl an einer großen Studienpopulation untersucht hat als auch eine CT-basierte Analyse der Frakturmorphologie durchgeführt hat. Analog zu den oben vorgestellten Arbeiten von

O'Connor et al. [61], Miller et al. [70] und Li et al. [71] resultierte auch in der hier vorgestellten Studie die ORIF des PM-Fragmentes in einer 60%igen Reduktion der additiven Syndesmosenstabilisierungen. Erstmals konnte gezeigt werden, dass dieser Effekt unabhängig von der Größe des PM Fragmentes war. Auch die Qualität der Reposition des PM Fragmentes war nach ORIF signifikant besser als in den anderen beiden Gruppen. Interessanterweise zeigte sich kein Unterschied zwischen Gruppe 1 (keine Versorgung) und Gruppe 2 (CRIF) bezüglich der Häufigkeit der additiven Syndesmosenstabilisierung und des Repositionsergebnisses.

Wie eingangs beschrieben, ist das Ziel der ORIF des PM Fragmentes, neben der knöchernen Rekonstruktion der distalen Tibia und der Reposition der distalen Fibula in der tibialen Inzisur, die Stabilität der Syndesmose wiederherstellt. Trotz der signifikant geringeren Häufigkeit benötigten noch 25% der Patient\*innen eine additive Stabilisierung der Syndesmose nach ORIF. Die wahrscheinlichste Erklärung dafür ist, dass es bei diesen 25% der Patient\*innen zu einer multi-ligamentären Verletzung des Syndesmosenkomplexes gekommen war. Auch wenn die anatomische Reposition des posterioren Malleolus die Stabilität des PITFL wiederherstellt, führen weitere Verletzungen des syndesmalen Komplexes zu einer persistierenden Instabilität. Neben dem PITFL, AITFL und IOL wird dem Syndesmosenkomplex auch der Deltabandkomplex zugeschrieben. Die eingesetzten intraoperativen Stresstests (Außenrotationstest nach Frick und Hook-Test) erlauben allerdings lediglich die Feststellung einer Instabilität, nicht aber die Differenzierung ob zwei oder mehr Bänder rupturiert sind [72]. Auch wenn in diesen Fällen die ORIF des PM Fragmentes in keiner Stabilität des DTFG resultierte, wurde dennoch die distale Fibula in die tibiale Inzisur reponiert. Obgleich dies in der hier vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurde, kann hypothetisiert werden, dass dies auch zu einer Reduktion der malreponierten DTFG im Falle einer Syndesmoseninstabilität führt. Dies sollte in weiteren Studien untersucht werden.

Neben der syndesmalen Stabilität und Reposition konnte bereits in früheren Studien gezeigt werden, dass die ORIF des posterioren Malleolus zu einer signifikant besseren Qualität der Reposition des PM Fragmentes führte, als unversorgte oder mittels CRIF stabilisierte PM Fragmente [61, 67, 73, 74]. Allerdings basierte der größte Teil dieser Studie auf der Analyse von konventionellen Röntgenbildern. Einschränkend

muss allerdings beachtet werden, dass deren Aussagekraft, wie schon erwähnt, limitiert ist [20]. Lediglich in der Studie von Shi et al. [74] wurden CT-Bilder für die Beurteilung des postoperativen Repositionsergebnisses verwendet. Es wurden 116 Patient\*innen mit PM-Fragment größer als 25% der tibialen Gelenkfläche randomisiert: 64 Patient\*innen wurden mittels CRIF, die restlichen 52 Patient\*innen mittels ORIF versorgt. Analog zu den hier berichteten Ergebnissen, zeigte sich auch bei Shi et al. ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Versorgungsgruppen [74]. Allerdings war die Studie auf PM-Fragmenten größer 25% limitiert, so dass keine Aussage über das Repositionsergebnis von Fragmenten kleiner 25% getroffen werden konnte. Eine weitere Limitation der Studie von Shi et al. [74] war die fehlende Klassifikation der PM-Frakturen nach Haraguchi et al. [32] oder Bartonicek et al. [33]. Darüber hinaus wurde auch die Häufigkeit einer zusätzlichen Syndesmosenstabilisierung nicht erhoben.

Trotz der oben genannten Innovationen der hier präsentierten Studien, müssen einige Limitationen diskutiert werden. Zum Ersten wurden die Daten retrospektiv erhoben. Auch wenn die retrospektive Datenerhebung am ehesten keinen Einfluss auf die erhobenen Parameter hatte, mussten einige Patient\*innen aufgrund einer fehlenden CT-Bildgebung ausgeschlossen werden. Die Datengrundlage bildete das im Rahmen dieser Doktorarbeit etablierte *OSG-Frakturegister<sup>LMU</sup>* mit 648 konsekutiven Patient\*innen eines Level-I-Traumazentrums. Basierend auf den hier definierten Ein- und Ausschlusskriterien wurden 310 Patient\*innen ausgeschlossen, da entweder keine oder eine isolierte Fraktur des PM vorlag. Allerdings mussten auch 102 einschussfähige Patient\*innen ausgeschlossen werden, da keine CT Bildgebung vorlag. Eine weitere Limitation ist die Indikationsstellung zur additiven Syndesmosenstabilisierung. Auch wenn prinzipiell nur zwei unterschiedliche Tests zur intraoperativen Beurteilung der Syndesmosenstabilität angewendet wurden, wurde die Entscheidung zur additiven Syndesmosenstabilisierung individuell von dem\*der behandelnden Unfallchirurgen\*in gestellt. Allerdings waren alle Operateur\*innen erfahrene Fachärzt\*innen für Unfallchirurgie und beide Tests sind in der Literatur validiert [29].

Neben diesen Limitationen sollten allerdings auch zwei relevante Stärken dieser Arbeit hervorgehoben werden. Die erste Stärke war die Analyse der radiologischen

Parameter anhand von CT-Bildern. Mehrere Studien konnten zeigen, dass eine suffiziente Frakturklassifikation, aber auch Vermessung von spezifischen Parametern (z.B. des PM Fragmentes), nur anhand von CT Bildern, nicht an konventionellen Röntgenbildern, möglich ist [33, 75, 76]. Die zweite Stärke dieser Studie ist die Patient\*innenzahl. Erstmals wurden die drei möglichen Versorgungsmethoden für PM Frakturen anhand einer ausreichend Gruppengröße analysiert. In den vorangegangenen Studien fehlte entweder eine der drei Versorgungsgruppen [61, 70], oder aber die Größe einer Gruppe war zu klein [71], was die Aussagekraft der Studien stark limitiert.

Besonders hervorzuheben ist auch, dass die Ergebnisse der hier vorgestellten Arbeit einen direkten Einfluss auf den Behandlungsstandard von Sprunggelenksfrakturen mit Fraktur des PM hatten. Zum 01.03.2019 wurde an der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie (inzwischen Muskuloskelettales Universitätszentrum München) ein einheitlicher Behandlungsalgorithmus zu Sprunggelenksfrakturen mit Beteiligung des PM eingeführt. Die definierte operative Versorgung ist unter Punkt 1.6.2 detailliert beschrieben. Zusammengefasst erfolgt bei Aufnahme des\*der Patient\*in zuerst die Reposition, dann die konventionelle Bildgebung. Eine erweiterte prä-operative CT-Bildgebung ist bei allen Patient\*innen mit einer Weber B oder C Fraktur sowie bei allen bi- und trimalleolaren Frakturen indiziert. Intraoperativ sollte jeder dislozierte posteriore Malleolus, wann immer es dessen Größe zulässt, mittels ORIF mittels Schrauben- oder Plattenosteosynthese über einen dorsolateralen Zugang versorgt werden. Bei Sprunggelenksfrakturen mit nicht-disloziertem posterioren Malleolus sollte, bei ausreichender Fragmentgröße, der PM mittels CRIF mittels perkutaner, anterior nach posteriorer Schraubenosteosynthese versorgt werden. Bei einer persistierenden Syndesmoseninstabilität nach Versorgung sämtlicher Frakturen führen wir die additive Stabilisierung des DTFG mittels einem Tight-Rope (Fa. Arthrex) durch. Postoperativ sollte immer eine bilaterale CT-Bildgebung erfolgen, wenn entweder das PM Fragment mittels CRIF oder ORIF adressiert wurde oder eine additive Syndesmosenstabilisierung durchgeführt wurde. Die Patient\*innen sind aktuell dazu angehalten, sechs Wochen 20kg Teilbelastung durchzuführen.

## **5.2 Studie 2: Klinisches Behandlungsergebnis**

Der zweite Teil der Studie untersuchte die klinisch-funktionellen Ergebnisse nach operativ-versorgten trimalleolaren Frakturen. Im Rahmen des ersten Studienteils konnte gezeigt werden, dass bei mittels ORIF versorgter posteriorer Malleolus Fraktur sowohl eine bessere Reposition erzielt werden konnte, als auch weniger additive, syndesmosenstabilisierende Verfahren benötigt wurden. Im Rahmen des zweiten Studienteils sollte nun untersucht werden, ob die Art der Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes auch einen Einfluss auf das subjektive Behandlungsergebnis hat.

Dafür wurden alle Patient\*innen aus dem ersten Studienteil (n=236), die ein aktuelles Follow-up mittels validierter, standardisierter Fragebögen (Anhang 1, Anhang 2,

Anhang 3,

Anhang 4) hatten, identifiziert (n=112; 48%). Dieser loss-to Follow-up, und der daraus gegebenenfalls resultierende Selektionsbias, ist einer der größten Limitationen von retrospektiven Arbeiten. Um Abzuschätzen, ob die beiden Kollektive, die Gesamtpopulation aus Studie 1 und die Studiengruppe aus dem zweiten Studienteil, offensichtliche Gruppenunterschiede aufzeigen, erfolgte ein Gruppenvergleich. Dazu wurden die demographischen Daten, Frakturcharakteristika und Details zur operativen Versorgung verglichen (Tabelle 8). Dabei zeigten sich für keinen der erhobenen Parameter signifikante Gruppenunterschiede. Auch wenn diese Validierung einen Selektionsbias nicht sicher ausschließt, so zeigt sie zumindest eine gewisse Vergleichbarkeit der Studienpopulationen.

### **5.2.1 Komplikationen**

Bei insgesamt 17,9% der Patient\*innen kam es zu einer Minor (4,5%) oder Major (13,4%) Komplikation. In früheren Studien zu bi- und trimalleolaren Sprunggelenksfrakturen sind Komplikationsraten von 7 bis 17% beschrieben [77]. Entsprechend erscheint die hier beobachtete Anzahl an Komplikationen im Rahmen der zu erwartenden Komplikationsrate zu sein.

Über die Hälfte der Komplikationen (56%) waren postoperative Wundheilungsstörungen. Allgemeine, nicht kurzfristig modulierbare Risikofaktoren für Komplikationen, insbesondere Wundheilungsstörungen sind unter anderem Diabetes mellitus [45], Patient\*innenalter [41, 42] und pAVK [45]. Ein häufig diskutierter und modulierbarer Risikofaktor für postoperative Wundheilungsstörungen ist der operative Zugang. Je nach Frakturmorphologie des posterioren Malleolus Fragmentes wurden verschiedene Zugänge beschrieben. Prinzipiell lassen sich diese Zugänge in mediale (Haraguchi Typ 2 Frakturen), (dorso)laterale (Haraguchi Typ 1-3 Frakturen), und posteriore (Haraguchi Typ 1-3 Frakturen) Zugänge untergliedern:

Für Haraguchi Typ 2 Frakturen des posterioren Malleolus wurde der posteriomediale Zugang beschrieben. Der Fuß wird in Pronationsstellung gelagert. Dann erfolgt die Inzision medial der Achillessehne. Der Zugang zum posterioren Malleolus erfolgt entweder zwischen M. flexor digitorum longus und M. tibialis posterior oder anterior des M. tibialis posterior [78]. In der Studie von Bali et al. [78] wurden 15 Patient\*innen retrospektiv untersucht. Dabei zeigten sich gute funktionelle Ergebnisse mit einem

OMAS von 72 (70-75). Als Komplikation wurde lediglich eine transiente Nervenschädigung beschrieben.

Der posterolaterale Zugang wurde von Hoogendoorn et al. beschrieben [79]. Hierfür erfolgt der Schnitt lateral der Achillessehne. Ebenso wie beim posteromedialen Zugang wird die Operation in Pronation durchgeführt. Der posterolaterale Zugang eignet sich für alle Frakturen des posterioren Malleolus unabhängig vom Haraguchi Typ. Einige Studien untersuchten die Komplikationen dieses Zugangs [59, 80-82]. In der Studie von Verhage et al. [59] mit 52 Patient\*innen wurden eine oberflächliche Wundheilungsstörung, eine Lungenembolie, zwei temporäre Nervenschädigungen und ein Verlust der Reposition beobachtet. Eine Studie von Forberger et al. [82] mit 45 Patient\*innen zeigte fünf Wundheilungsstörungen (11%) und zwei CRPS Grad I. Tornetta et al. [81] schließen 72 Patient\*innen mit PM Frakturen ein. Komplikationen traten bei 16 Patient\*innen (22%) ein, davon 13 Wundheilungsstörungen und drei Nervenläsionen. Die größte Studie zum posterolateralen Zugang ist bisher von Little et al. durchgeführt worden und schließt 112 Patient\*innen ein [80]. Die gesamte Komplikationsrate war 23%. Es kam bei 10% der Patient\*innen zu einer minoren Wundheilungsstörung, bei 3% zu einer majoren Wundheilungsstörung und bei 4% zu einer Wundinfektion. Zhong et al. [83] verglichen retrospektiv den posterolateralen und posteromedialen Zugang. Dabei zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich Komplikationen und funktionellem Ergebnis zwischen beiden Gruppen.

Mc Goldrick et al [84] beschreiben einen schrägen Zugang als Alternative zum posterolateralen Zugang. Die Operation wird in instabiler Seitenlage durchgeführt. Die Inzision erfolgt von proximal dorsal der Fibula über die Peronealsehne schräg nach anterior distal über den lateralen Malleolus. Durch diesen modifizierten Zugang erhoffen sich die Autor\*innen weniger Weichteilschäden und Nervenläsionen als beim posterolateralen Zugang. Aktuell beschreibt keine Studie die Komplikationen des schrägen Zugangs.

Letzlich wurde auch ein lateraler transmalleolärer Zugang beschrieben [85]. Der\*ie Patient\*in wird in Supinationsstellung positioniert und die Inzision über die Hinterkante der Fibula durchgeführt. Bei den 36 behandelten Patient\*innen wurden keine Komplikationen beobachtet.

### **5.2.2 Subjektive Behandlungsergebnisse**

Das Ziel dieses zweiten Studienteils war es, das klinisch-funktionelle Ergebnis nach komplexeren Sprunggelenksfrakturen zu untersuchen. Dabei betrug der mediane Nachuntersuchungszeitraum 2,7 (2,1; 1-7,2) Jahren. Die VAS in Ruhe betrug 0(15), unter Belastung 15(40) Punkte. Der mediane OMAS lag bei 85(13) Punkten, der FAAM-ADL bei 90(26) Punkten und der FAAM-Sport bei 75(47) Punkten.

Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit früheren Studien. Winters et al. [86] erhoben die Behandlungsergebnisse von 62 Patient\*innen mit Sprunggelenksfrakturen im Mittel nach 16 Monaten. Dabei zeigten sich, in Abhängigkeit von der Lokalisation der lateralen Malleolusfraktur, nur mäßige Ergebnisse für den OMAS (Weber A: 90 Punkte; Weber B: 81 Punkte; Weber C: 76 Punkte). Lediglich 59% der Patient\*innen bewerteten die Behandlungsergebnisse als gut oder sehr gut. Hong et al. [87] verglichen die Ergebnisse zwischen Patient\*innen mit bi- und trimalleolaren Frakturen nach 16 Monaten. In dieser Studie konnten keine signifikanten Unterschiede für die VAS (1,8 vs. 2,0) oder den OMAS (82 vs. 78) gezeigt werden. 55% der Patient\*innen beklagten residuale Schmerzen, 62% Steifheit und 45% Schwellung im Sprunggelenk. Day et al. [88] haben die Langzeitergebnisse von Patient\*innen mit bimalleolaren Frakturen untersucht. Nach 10-14 Jahren berichten 64% der Patient\*innen über gute oder sehr gute Ergebnisse, allerdings 24% über unzufriedenstellende Ergebnisse. Zusammengefasst resultiert die operative Versorgung von Sprunggelenksfrakturen in noch nicht zufriedenstellenden Ergebnissen. Da die meisten Studien eher kurzfristige Behandlungsergebnisse publiziert haben, ist eine Aussage über die Langzeitfolgen nur eingeschränkt möglich. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass sich die Behandlungsergebnisse im Laufe der Zeit aufgrund der posttraumatischen Arthrose, eher weiter verschlechtern. Die gesamten Behandlungsergebnisse unseres Patient\*innenkollektivs mit komplexeren Sprunggelenksfrakturen ist durchaus vergleichbar mit der oben diskutierten Literatur und können als moderat bis gut bezeichnet werden.

### **5.2.3 Einfluss der Versorgung der posterioren Malleolus Fraktur auf das Behandlungsergebnis**

Der primäre Zielparameter dieses zweiten Studienarms war zu analysieren, ob die Art der Versorgung der posterioren Malleolus Fraktur (Keine, CRIF, ORIF) einen Einfluss

auf das Behandlungsergebnis hat. In dem hier präsentierten Patientenkollektiv zeigten sich keine signifikanten Unterschiede für die VAS, den OMAS, FAAM oder SF-12 PCS zwischen den drei Versorgungsgruppen.

Eine der Stärken dieser Arbeit war, dass Patient\*innen aus allen drei Versorgungsgruppen eingeschlossen wurden. Bei den meisten andere Studien wurden nur zwei Versorgungsgruppen untereinander verglichen. Tabelle 11 stellt einen Überblick der Literatur dar, in der die verschiedenen Behandlungsgruppen verglichen werden.

**Tabelle 11: Vergleichende Studien über funktionelle Ergebnisse Behandlungsgruppen**

Studien	Parameter	Gruppeneinteilung und Ergebnisse		Zusammenfassung / Anmerkungen
Miller 2010 [89]	FAOS	ORIF n=9	ORIF + Stellschraube n=8	FU 15 Monate Kein signifikanter Unterschied
		FAOS: kein signifikanter Unterschied		
Xu 2012 [90]	AOFAS VAS Zufriedenheit	PM unfixiert n=60	PM fixiert n=42	FU 6,9 Monate Keine Unterteilung zwischen CRIF und ORIF Kein signifikanter Unterschied
		Kein signifikanter Unterschied für AOFAS (95 vs. 96), VAS (0,15), Zufriedenheit (9,6 vs. 9,7)		
O'Connor 2015 [61]	SMFA ROM	CRIF n=11 FU 32 Monaten SMFA: 9	ORIF n=16 FU 55 Monaten SMFA: 27	Signifikant besseres Ergebnis für ORIF
		ROM: kein signifikanter Unterschied		
<b>Fortsetzung Tabelle 11: Vergleichende Studien über funktionelle Ergebnisse Behandlungsgruppen</b>				
Studien	Parameter	Gruppeneinteilung und Ergebnisse		Zusammenfassung / Anmerkungen
Erdem 2014 [91]	AOFAS	CRIF n=20 AOFAS 91,9	ORIF n=20 AOFAS 93,5	FU 38 Monate Kein signifikanter Unterschied
Von Ruden 2015 [68]	AFSS	CRIF n=12 AFSS: 74	ORIF n=11 AFSS: 97	FU 12 Monate Signifikant besseres Ergebnis für ORIF
Shi 2017 [74]	AOFAS VAS	CRIF n=52 AOFAS: 80 VAS 2	ORIF n=64 AOFAS: 87 VAS 2	FU 12 Monate Nur Fragmente >25% Signifikant besseres AOFAS für ORIF

					Kein Unterschied für VAS
Kalem 2018 [92]	AOFAS VAS	AP-Schraube n=20 AOFAS 86,4 VAS 0,55	Schraube n=13 AOFAS 93,8 VAS 0,76	Dorsale Platte n=34 AOFAS 94,7 VAS 0,94	FU 14,4 Monate Signifikant schlechteres AOFAS bei AP-Schraube Kein signifikanter Unterschied für VAS
Tosun 2018 [62]	AOFAS	PM unfixiert n=29 AOFAS: 70	ORIF n=20 AOFAS: 90		FU 15 Monate Signifikant besseres Ergebnis für fixierte PM Fragmente
Verhage 2019 [42]	AOFAS AAOS	Keine n=130	CRIF n=16	ORIF n=23	FU 6,3 Jahren Stark unterschiedliche Gruppengröße
		Fixierung des PM Fragments hat keinen signifikanten Einfluss auf AOFAS oder AAOS			
Kang et al. [93]	AAOS AOFAS	Keine Versorgung n=30 Nach 12 Monaten: AAOS 76 AOFAS 82	Schraubenosteosynthese n=32 Nach 12 Monaten: AAOS 89 AOFAS 90		FU 6, 12, 24 Monate Nur PM Fragmente < 25% Signifikante Unterschiede für AAOS und AOFAS nach 6 und 12 Keine signifikante Unterschiede nach 24 Monaten
Eigene Daten [1]	OMAS FAAM	Keine n=49 OMAS: 83	CRIF n=21 OMAS: 90	ORIF n=42 OMAS: 80	FU 2,7 Jahren Keine signifikanten Unterschiede
Mertens et al. [94]	AOFAS, VAS	Andere / keine Versorgung n=85 FU: 38 Monate AOFAS 82	ORIF n=50 FU: 24 Monate AOFAS 73		Signifikant schlechteres AOFAS für ORIF Kein Unterschied für VAS
<b>Fortsetzung Tabelle 11: Vergleichende Studien über funktionelle Ergebnisse Behandlungsgruppen</b>					
Studien	Parameter	Gruppeneinteilung und Ergebnisse		Zusammenfassung / Anmerkungen	
Ribeiro 2020	AAOS AOFAS VAS	PM unfixiert FU 48,4 Monate AAOS 84,25 AOFAS 84,8 VAS 1,38	PM fixiert FU 31,3 Monate AAOS 93,9 AOFAS 91,5 VAS 0,8		FU Nur Patient*innen mit Fragmenten <25% Keine Unterteilung zwischen CRIF und ORIF Signifikant besseres Ergebnis für fixierte PM Fragmente

FU: Follow-up; FAOS: Foot and Ankle Outcome Score; AOFAS: Ankle-Hindfoot Scale of the American Orthopedic Foot and Ankle Society; VAS: Visuell-analogue Skala; SMFA: Short Musculoskeletal Function Assessment; ROM: range of motion; AFSS: Ankle Fracture Scoring System; AAOS: American Academy of Orthopedic Surgeons Foot and Ankle questionnaire; TTO: time-trade-off				

Es findet sich also kein Konsens in der aktuell vorhandenen Literatur über einen möglichen Unterschied in den klinischen Ergebnissen. Bisher hat eine einzelne Studie alle drei Behandlungsgruppen verglichen [42]. Einige Studien zeigen signifikante Unterschiede zwischen ORIF und CRIF [61, 68], doch andere zeigen das Gegenteil [89]. Nur zwei Studien vergleichen eine Fixierung des PM mit unversorgten PM [62, 90], und da findet sich auch keine Übereinstimmung. Mögliche Erklärungen dafür sind die relativ kleinen Patient\*innenkollektive in der Mehrzahl dieser Studien sowie die unterschiedlichen Zielparameter. Eine Studie von Kang et al. [93] vergleicht die funktionellen Ergebnisse für Frakturen mit PM Fragment <25%. Da besonders für kleine Fragmente kein Konsens herrscht, ist diese Studie von besonderer Bedeutung. Die Patient\*innen wurden nach 3, 6, 12 und 24 Monaten nachuntersucht. Dabei zeigen sich signifikant bessere Ergebnisse für die Patient\*innen mit operativ versorgten PM Fragmenten vor allem nach 6 und 12 Monaten.

Die Rationale hinter der offenen Reposition des posterioren Malleolus Fragmentes ist die anatomische Reposition der Gelenkfläche und der tibiofibularen Gelenkgabel. Auch wenn diese in früheren Studien gezeigt werden konnte, fehlen weiterhin überzeugende Daten, die eine Überlegenheit in der subjektiven Patient\*innenzufriedenheit zeigen konnten. Ein Grund hierfür könnten die relativ kurzen Nachuntersuchungszeiträume sein.

#### **5.2.4 Einfluss der Fragmentgröße (</>25%) auf das subjektive Behandlungsergebnis**

Wie schon eingangs aufgeführt, stellt für viele Orthopäd\*innen und Unfallchirurg\*innen die Größe des PM Fragmentes den wesentlichen Entscheidungsparameter dar, ob das PM adressiert wird, oder nicht. Diese 1/3-Regel, die besagt, dass Fragmente, die größer als 25-33% der Gelenkfläche sind, operativ fixiert werden sollten, beruht auf einer Studie aus dem Jahre 1940 [34]. In dieser Studie wurden 77 trimalleolare Frakturen mit einer PM Größe <33% konservativ und 8 Patient\*innen mit einer PM

Größe >33% operativ (n=5, davon drei mit K-Drähten und zwei mit ORIF) oder konservativ (n=3) behandelt. Die daraus resultierende 1/3-Regel hat sich über die Jahre gehalten, bzw. zur 25-33%-Regel umgewandelt. Im Rahmen des ersten Studienteils konnte bereits gezeigt werden, dass die Größe des PM Fragmentes keinen Einfluss auf die Stabilität des distalen Tibiofibulargelenks nach ORIF des PM Fragmentes hatte. Aber es muss auch die Frage beantwortet werden, ob die Größe des PM Fragmentes insgesamt, oder in Abhängigkeit der operativen Versorgung, einen Einfluss auf das subjektive Behandlungsergebnis hat.

Einige Studien haben den Einfluss der Größe des PM Fragmentes auf die klinischen Ergebnisse analysiert. Mingo-Robinet et al. [69] untersuchten 45 Patient\*innen mit trimalleolarer Fraktur nach mindestens 2 Jahren. Bei 20 Patient\*innen war das PM Fragment <25% der tibialen Gelenkfläche, bei 25 Patient\*innen >25%. Die Versorgung des PM Fragmentes erfolgte in 60% der Fälle durch Ligamentotaxis und in 40% der Fälle mittels Schraubenosteosynthese über einen anteromedialen Zugang (33,3%) oder posterolateralen Zugang (6,7%). Als Zielparameter wurden der OMAS und der AOFAS erhoben. Die Patient\*innen mit kleinen Fragmenten (<25%) erzielten beim OMAS in 67%, beim AOFAS in 89% der Fälle gute oder sehr gute Ergebnisse. Die Patient\*innen mit großen Fragmenten (>25%) erzielten für den OMAS in 43% und für den AOFAS in 62% der Fälle gute oder sehr gute Ergebnisse. Auch wenn diese Ergebnisse eine deutliche Tendenz zeigen, unterschieden sie sich nicht signifikant (OMAS:  $p=0,14$ ; AOFAS  $p=0,05$ ). Eine mögliche Ursache hierfür könnte die kleine Gruppengröße sein. Eine weitere Schwäche dieser Studie ist die fehlende einheitliche Versorgung innerhalb der Gruppen. Evers et al. [75] untersuchten die klinischen Ergebnisse von 42 Patienten mit trimalleolarer Fraktur mit Fragmenten <25% (n=23) und >25% (n=19). Der Nachuntersuchungszeitraum betrug 2,5 Jahre. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (AOFAS 75,4 vs. 74,7). Allerdings war die Versorgung des PM Fragmentes in den zwei Gruppen sehr unterschiedlich, was ein Bias darstellen kann: bei Patient\*innen mit Fragmenten <25% wurden 2 (8,7%), bei Patient\*innen mit Fragmenten >25% wurden 14 (73,7%) osteosynthetisch versorgt. Eine Studie von Drijfhout et al. untersuchte die klinischen Langzeitergebnissen von 131 Patient\*innen in Abhängigkeit von der Fragmentgröße [95]. Es wurden drei Gruppen mit PM Fragmenten <5% (n=20), 5-25% (n=86), >25% (n=25) gebildet. Der PM Fragment wurde bei 24% der Patient\*innen operativ mittels

CRIF fixiert, die anderen wurden konservativ versorgt. Nach 6,9 Jahren wurden AOFAS, VAS und AAOS erhoben. Wie in der Studie von Mingo-Robinet [69] zeigte sich eine Tendenz zu schlechteren Ergebnissen bei größeren Fragmenten, allerdings konnte das Signifikanzniveau nicht erreicht werden. Auch zwischen den fixierten und nicht fixierten PM Fragmenten wurden keine Unterschiede festgestellt. McHale et al. [96] verglichen anhand vom MOXFQ (Manchester-Oxford Foot and Ankle) die klinischen Ergebnisse von 31 Patient\*innen mit PM Fragment. Als Zielparameter wurde der MOXFQ erhoben. Die Versorgung des posterioren Malleolus erfolgte bei 19 Patient\*innen konservativ, bei 11 Patient\*innen mit Platte und bei einem\*einer Patient\*in mit PA-Schraube. Patient\*innen mit kleinen (10-20%, n=7) oder sehr kleinen (<10%, n=13) Fragmenten wurden vor allem konservativ versorgt. Dagegen wurden die meisten Patient\*innen mit Fragmenten >20% (n=11) operativ versorgt. Auch wenn diese Ergebnisse nicht signifikant sind, zeigen sie die schlechtesten Ergebnisse für Fragmente 10-20%. Die Autor\*innen schließen, dass Patient\*innen mit Fragmenten 10-20% auch mittels ORIF versorgt werden sollten.

Zusammenfassend konnte keine Studie einen signifikanten Einfluss der Fragmentgröße auf das funktionelle Ergebnis nachweisen, auch wenn sich oft eine Tendenz zeigt. Bis auf die Studie von Evers [75] wurden die Fragmentgröße anhand der konventionellen Röntgenbildgebung vermessen. Diese Messung ist umstritten und könnte zu einem Bias führen [21]. Auch die Frakturversorgung war in den untersuchten Gruppen sehr unterschiedlich. Analog zu Drittel-Regel wurden kleine Fragmente zumeist konservativ und größere Fragmente operativ versorgt.

Die hier präsentierte Studie ist unserer Erkenntnisse nach die Erste, die den Einfluss der Fragmentgröße in Abhängigkeit der Frakturversorgung auf das Behandlungsergebnis verglichen hat. Auch wenn sich innerhalb der drei Versorgungsgruppen Unterschiede in den Zielparametern in Abhängigkeit der Größe des PM-Fragments zeigten, erreichten auch diese nicht das Signifikanzniveau. Patient\*innen mit kleinen Fragmenten (<25%) hatten einen besseren OMAS (90 vs. 70, p=0,024) und einen besseren FAAM-Sport Score (81 vs. 50, p=0,023) als Patient\*innen mit größeren Fragmenten (>25%). Die fehlende Signifikanz könnte zum einen auf die Fallzahl zurück zu führen sein. Alternativ könnte auch der Nachuntersuchungszeitraum zu kurz gewesen sein.

### **5.2.5 Einfluss anderer Faktoren auf die subjektiven Behandlungsergebnisse**

In einem letzten Schritt wurde versucht, weitere Einflussfaktoren auf das subjektive Behandlungsergebnis zu identifizieren. Lediglich der BMI zeigte eine signifikante, aber nur mäßige Korrelation zu den erhobenen PROMs (OMAS, FAAM ADL, FAAM Sport und SF-12 PCS). Patient\*innen mit einem höheren BMI hatten signifikant schlechtere Ergebnisse für den FAAM Sport ( $p < 0.001$ ) und SF-12 PCS ( $p = 0.001$ ), aber nicht für den OMAS oder FAAM ADL.

Für das Geschlecht und den ASA Wert zeigten sich keine kohärenten Effekte. Frauen hatten einen signifikant schlechteren OMAS ( $p = 0.001$ ) als Männer, aber diese Unterschiede erreichten nicht das korrigiert Signifikanzniveau für den FAAM ADL ( $p = 0.006$ ), FAAM Sport ( $p = 0.017$ ) oder SF-12 PCS ( $p = 0.008$ ). Ein ähnlicher Trend zeigte sich für den Allgemeinzustand entsprechend dem ASA-Score. Ein schlechterer ASA Wert resultierte in einem signifikant schlechteren FAAM ADL ( $p = 0.002$ ) und SF-12-PCS ( $p < 0.001$ ) sowie einem tendenziell schlechterem OMAS ( $p = 0.006$ ) und FAAM Sport ( $p = 0.093$ ), allerdings ohne Erreichen des korrigierten Signifikanzniveaus. Dass es sich beim Geschlecht, BMI und ASA Score um unabhängige Risikofaktoren bei Sprunggelenksfrakturen handelt, konnten bereits zahlreiche frühere Studie zeigen [47, 97]. Allerdings wird auch das Alter in der Literatur als negativer Faktor genannt [41-43]. In den hier präsentierten Daten zeigte sich lediglich für den SF-12 PCS ( $p = 0.002$ ) eine signifikanten Ergebniss nach  $\alpha$ -Level Korrektur, sowie eine deutliche Tendenz für den OMAS ( $p = 0.016$ ) und FAAM ADL ( $p = 0.014$ ). Interessanterweise hatte weder die Frakturkomplexität, die Versorgungsart, die Zeit bis zum aktuellen Follow-up noch das Vorliegen einer Komplikation einen signifikanten Einfluss auf das subjektive Behandlungsergebnis. Auch hier könnten die Power der Studie oder der Nachuntersuchungszeitraum zu gering sein, um entsprechende signifikante Unterschiede aufzuzeigen.

### **5.2.6 Limitationen und Stärken der Studie**

Neben den bereits oben diskutierten Limitationen müssen einige allgemeine Limitationen erwähnt werden. In der Nachuntersuchungszeit sind einige Patient\*innen umgezogen, gestorben oder wollten an der Studie nicht mehr teilnehmen, sodass lediglich 47,5% der geeigneten Patient\*innen prospektiv befragt werden konnten. Auch

wenn ein Lost-to-follow-up von knapp 50% vielen retrospektiven Studien entspricht [42, 75, 95], könnte hier ein Selektionsbias vorliegen. Es kann angenommen werden, dass sowohl Patient\*innen mit sehr schlechtem als auch sehr gutem postoperativem Ergebnis an der Studie nicht teilgenommen haben. Auch wenn ein Follow-up Zeitraum von 2,7 (2,1; 1-7,2) Jahren ähnlich der meisten Studien ist [77] birgt dies Limitationen. Die Interquartilenrange ist mit 2.1 Jahren relativ groß. Somit liegt eine große Streuung des Follow-up Zeitraum vor (1-7,2) womit die Anzahl der Patient\*innen in den einzelnen Follow-up Jahren relativ gering ist. Dies reduziert die statistische Aussagekraft. Zum anderen ist die Hauptkomplikation der Sprunggelenksfraktur die posttraumatische Arthrose. Jedoch ist die Entwicklung einer symptomatischen Arthrose inter-individuell stark unterschiedlich, sowohl in der Intensität des Auftretens als auch dem Zeitraum bis diese auftritt. Auch wenn prospektive Studien wünschenswert wären, v.a. um das Lost-to-follow-up zu reduzieren, sollten diese größeren retrospektiven Kohorten konsequent nachuntersucht werden, um Daten über die Langzeitfolgen zu erfassen. Eine letzte allgemeine Limitation könnten die erhobenen Parameter sein.

Trotz dieser Limitationen handelt es sich bei der hier präsentierten Arbeit um eines der größten Patient\*innenkollektive zu operativ versorgten PM-Frakturen [77]. Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal ist die detaillierte Analyse der Frakturen anhand von CTs. Die die subjektive Patient\*innenzufriedenheit wurde mittels validierter und standardisierter Fragebögen erhoben. Hierbei wurden sowohl Fuß- und Sprunggelenkspezifische (OMAS, FAAM) als auch ein allgemeiner Lebensqualitätsfragebogen angewandt (SF-12). Die Validität der verwendeten Scores zeigt sich durch die vergleichbaren Ergebnisse der Fuß- und Sprunggelenksspezifischen Fragebögen als auch der guten Kohärenz innerhalb des FAAM-Scores, mit einer sehr guten Korrelation zwischen den objektivierten Scores und der Selbsteinschätzung ( $r=0,914$  für ADL;  $r=0,925$  für Sport).

## **6 Schlussfolgerung und Ausblick**

Im Rahmen dieser Doktorarbeit sollten umfassend die Behandlungsergebnisse nach operativ versorgten Sprunggelenksfrakturen mit einer Fraktur des posterioren Malleolus untersucht werden. Im Besonderen war von Interesse welchen Einfluss die Versorgungsstrategie des posterioren Malleolus dabei hatte. Im ersten Studienteil (Studie 1) konnte gezeigt werden, dass die ORIF des PM Fragmentes, unabhängig von dessen Größe, sowohl zu einem besseren Repositionsergebnis als auch signifikant häufiger zu einer Stabilität des DTFG führte. Da das malreponierte DTFG und die Stufenbildung im Pilon tibiale unabhängige Risikofaktoren für ein schlechteres Behandlungsergebnis sind, kann hypothetisiert werden, dass die ORIF des PM Fragmentes entsprechend auch in besseren subjektiven Behandlungsergebnissen resultieren sollte. Diese Frage wurde im zweiten Studienteil adressiert (Studie 2). Allerdings konnte hier, nach einem medianen Follow-up von 2,7 (2,1; 1-7,2) Jahren, keine Überlegenheit der ORIF im Vergleich zur CRIF oder dem unversorgten PM Fragment gezeigt werden. Diese Ergebnisse waren wiederum unabhängig von der Fragmentgröße. Zusammengefasst konnte also gezeigt werden, dass die ORIF des PM Fragmentes zwar bildmorphologisch zu besseren Behandlungsergebnissen führt, allerdings hatte dies in dem hier untersuchten Follow-up Zeitraum keinen Einfluss auf die untersuchten PROMs.

Ursächlich hierfür könnten sowohl das lost-to-follow-up (52%), ein Selektionsbias und/oder der noch relativ kurze Nachuntersuchungszeitraum sein. Die hohe Rate an lost-to-follow-up und der Selektionsbias sind dem retrospektiven Studiendesign geschuldet. Da die Malreposition im DTFG und im Pilon tibiale v.a. Risikofaktoren für Arthrosen sind, könnte der relativ kurze Nachuntersuchungszeitraum zu falsch positiven Ergebnissen geführt haben. Diese Überlegungen unterstreichen einmal mehr die Notwendigkeit von prospektiven, randomisierten Studien, sowie von lokalen und nationalen Register. Zentral geführte, ggf. vom Gesetzgeber verpflichtende, Register haben den Vorteil, dass sie die Untersucher-unabhängige longitudinalen Nachuntersuchung von Patient\*innen ermöglichen. Dies ist von entscheidender Bedeutung um v.a. Spätfolgen, in unserem Fall die posttraumatische Arthrose, systematisch und vollständig zu erfassen. Aktuell fehlen entsprechende Register. Basierend auf der hier präsentierten Doktorarbeit haben wir am Muskuloskelettalen

Universitätszentrum München angefangen, ein klinik-internes Register aufzubauen. Basierend auf der open-source Software REDCap (Research Electronic Data Capture, Vanderbilt University) werden alle Patient\*innen des Muskuloskelettalen Universitätszentrums München systematisch prospektiv eingeschlossen. Erfasst werden neben allgemeinen demographischen Faktoren Vorerkrankungen, Verletzungs- und Versorgungsdetails, Komplikationen sowie die subjektive Behandlungszufriedenheit.

Vielleicht stellen wir aber auch einfach die falschen Fragen. Wir wissen zum Beispiel aus einer Vielzahl von Studien, dass die radiologischen Zeichen einer Arthrose nur schwach mit den subjektiven Beschwerden korrelieren. Selbes gilt für die Entwicklung einer posttraumatischen Arthrofibrose. Es muss also inter-individuelle Faktoren geben, die die Entwicklung einer schmerzhaften Arthrose oder Arthrofibrose beeinflussen. Diese Faktoren werden wir mittels der aktuell erhobenen Parameter (Alter, BMI, Geschlecht, Vorerkrankungen, Frakturdetails, etc.) nicht identifizieren können. Entsprechende Prädispositionen sind am ehesten biologisch oder genetisch zu identifizieren. Daher muss diskutiert werden, ob die o.g. klinischen Datenbanken nicht auch um „Liquid Biopsis“ und Gewebeproben erweitert werden können. Diese Kombination aus klinischer- und biologischer Datenbank bildet die Grundlage, um mögliche relevante Faktoren zu identifizieren. Möglicherweise erlauben diese dann irgendwann eine Risikostratifizierung, die über die aktuelle Versorgungsforschung weit hinaus geht. In einer idealen Welt könnte präoperativ z.B. basierend auf einer Blutabnahme, das individuelle Risiko für eine Wundheilungsstörung und eine symptomatische posttraumatische Arthrose bestimmt werden. Zeigt sich bei einer Patientin die Kombination aus einer hohen Prädisposition für Wundheilungsstörungen bei einem niedrigen Risiko für eine symptomatische posttraumatische Arthrose, könnte die Behandlungsstrategie entsprechend adaptiert werden. In diesem Fall würde man sich bei einer Trimalleolarfraktur ggf. für ein minimal-invasives Verfahren entscheiden. Die geringere Wundfläche reduziert das Risiko für eine postoperative Wundheilungsstörung und das ggf. schlechtere Repositionsergebnis spielt, aufgrund der geringen Prädisposition für eine symptomatische Arthrose, eine untergeordnete Rolle.

## **7 Zusammenfassung**

### **Hintergrund**

Sprunggelenksfrakturen gehören zu den häufigsten Frakturen in der Unfallchirurgie. Im Rahmen von komplexeren Frakturen kommt es häufig zu Frakturen des posterioren Malleolus. Diese werden nach der sogenannten Drittel-Regel versorgt: eine operative Versorgung wird empfohlen, wenn das posteriore Malleolus Fragment mehr als 25-33% der tibialen Gelenkfläche betrifft. Aktuell findet Paradigmenwechsel von der Drittel-Regel hin zur Interpretation der Fraktur als knöcherner Ausriss der posterioren Syndesmose statt. Ob die Osteosynthese des posterioren Malleolus Fragmentes zu einer höheren Rate an stabilen distalen Tibiofibulargelenke und besseren klinischen Ergebnisse führt, ist bisher nicht bewiesen.

### **Ziele der Arbeit**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Register erstellt, in dem alle an der LMU zwischen 01/2010 und 12/2015 operativ versorgten Sprunggelenksfrakturen erfasst wurden. Diese Datenbank dient als Datengrundlage für beide in dieser Arbeit vorgestellten Studien. Sie soll zudem weitere Studien unterstützen.

In einer ersten Studie (Studie 1: Stabilität DTFG) wurde der Einfluss der Versorgungsstrategie des posterioren Malleolus Fragmentes auf die Stabilität des distalen Tibiofibulargelenks untersucht.

In der zweiten Studie (Studie 2: Klinisches Behandlungsergebnis) wurden die Patienten prospektiv nachuntersucht. Ziel war die Beurteilung des klinischen und funktionellen Ergebnisses in Abhängigkeit von der Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes.

### **Material und Methoden**

Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte *OSG-Fraktureregister<sup>LMU</sup>* erfasst demographische Daten, Vorerkrankungen, Versorgung inklusive Komplikationen, Bildgebung und prospektiv erhobene Fragebögen zur subjektiven Patient\*innenzufriedenheit.

Für die erste Studie wurden alle Patienten mit trimalleolarer Sprunggelenksfraktur und CT-Bildgebung aus dem *OSG-Fraktureregister<sup>LMU</sup>* identifiziert. Anhand der CT-Bilder wurden die Frakturen nach AO, Weber und Haraguchi, sowie nach Fragmentgröße

klassifiziert. Die Patient\*innen wurden abhängig von der Versorgung des posterioren Malleolus Fragmentes drei Gruppen zugeordnet. In Gruppe 1 (keine Versorgung) wurde das PM Fragment operativ nicht angegangen. In Gruppe 2 (CRIF) wurden die Patient\*innen mittels geschlossener Reposition und interner Fixierung durch eine anteroposteriore Schraube versorgt. Die Patient\*innen der Gruppe 3 (ORIF) erhielten eine offene Reposition und interner Fixierung mittels Platte oder posteroanteriorer Schraube. Als Korrelat für die Stabilität des distalen Tibiofibulargelenks wurden die Anzahl notwendiger Syndesmosenstabilisierungen sowie radiologisch das mediale und laterale Clear Space in den drei Gruppen bestimmt. Als sekundäre Zielparameter wurden weitere mögliche Einflussfaktoren auf das radiologische Ergebnis analysiert. Statistisch wurden der Chi-Quadrat-Test und die Multivarianzanalyse mit Bonferroni-post-hoc-Test angewendet.

In der zweiten Studie wurden aus der Studienpopulation der ersten Studie die Patient\*innen mit aktuellem Follow-up eingeschlossen. Das Follow-up besteht aus einem allgemeinen Fragebogen, einem Score zum allgemeinen Gesundheitszustand (SF-12) sowie zwei Funktionsscores für Fuß und Sprunggelenk (OMAS, FAAM). Der primäre Zielparameter war der OMAS, sekundäre Zielparameter waren die weiteren Scores. Die weiterhin erhobenen Daten wurden auf einen möglichen Einfluss auf das subjektive Behandlungsergebnis untersucht. Die Ergebnisse wurden als Häufigkeiten oder Median angegeben. Es wurden Korrelationen nach Spearman berechnet, den Kruskal-Wallis Test und den Man-Whitney U-Test für die Auswertung der Daten angewendet.

### **Ergebnisse:**

Aus dem *OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup>* konnten 236 Patient\*innen in die erste Studie eingeschlossen werden. Das PM-Fragment war im Mittel um 6,6mm disloziert und hatte eine durchschnittliche Größe von 21,4% der tibialen Gelenkfläche.

In Gruppe 1 wurden 114 (48,3%), in Gruppe 2 44 (18,6) und in Gruppe 3 78 (33,1%) Patient\*innen eingeschlossen. In den Gruppen 2 und 3 zeigte sich eine signifikant größere Frakturdislokation als in Gruppe 1. Es zeigten sonst keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Frakturmorphologie und Versorgung der lateralen und medialen Malleolus in den drei Gruppen. Als primärer Zielparameter wurde die Notwendigkeit einer zusätzlichen Syndesmosenstabilisierung bestimmt. In Gruppe 3 (ORIF) wurden signifikant weniger Stabilisierungen notwendig als in den Gruppen 1

und 2 (Gruppe 1: 63%; Gruppe 2: 62%; Gruppe 3: 25%), und dies unabhängig von der Fragmentgröße. Außerdem zeigte sich in Gruppe 3 eine signifikant bessere Reposition des posterioren Malleolus Fragmentes. Es konnte kein weiterer Einflussfaktor auf die Stabilisierung des distalen Tibiofibulargelenks identifiziert werden.

In der zweiten Studie wurden 112 Patient\*innen mit aktuellem Follow-up eingeschlossen. Die Gruppeneinteilung erfolgte analog zur ersten Studie wie folgt: Gruppe 1 (keine Versorgung): n=49, Gruppe 2 (CRIF): n=21; Gruppe 3 (ORIF): n=42. Eine Gegenüberstellung zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen beide Studienpopulationen. Die Gesamtkomplikationsrate war 17,9%, 84% der Patient\*innen waren mit der Behandlung zufrieden oder sehr zufrieden. Hauptzielparameter war der OMAS. Die Patient\*innen erhielten im Median 85 Punkte. Insgesamt zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den Scores zwischen den drei Behandlungsgruppen. In den sekundären Zielparameter zeigten sich weniger Schmerzen in Ruhe in den Gruppen 2 und 3 und weniger Schmerzen in Bewegung in Gruppe 2. Innerhalb der Gruppe 3 hatte die Patient\*innen mit Fragmenten >25% schlechtere Ergebnisse im OMAS und FAAM Sport.

### **Schlussfolgerung**

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die ORIF des posterioren Malleolus Fragmentes, unabhängig von der Fragmentgröße, zu einer signifikanten Reduktion additiver Syndesmosenstabilisierungen sowie zu einem besseren Repositionsergebnis geführt hat. Allerdings zeigte sich nach einer medianen Follow-up Zeit von 2,7 (2,1; 1-7,2) Jahren keinen subjektiven Vorteil auf das funktionelle Behandlungsergebnis. Dies könnte dem Studiendesign und/oder dem kurzen Follow-up geschuldet sein. Insgesamt fehlen longitudinale, randomisierte, prospektive Studien. Hierfür sollten nationale oder internationale Register zur langfristigen Nachuntersuchung von Patient\*innen erstellt werden. Somit könnten Spätfolgen systematisch und vollständig erfasst werden, was zu einer Verbesserung der Patient\*innenversorgung führen könnte.

# 8 Anhänge

## Anhang 1: Allgemeiner Fragebogen

Sehr geehrte Patientinnen und Patienten!

Unser Ziel ist es, die Behandlungsergebnisse unserer Patienten ständig zu verbessern. Dafür bitten wir Sie um Ihre Unterstützung. Um Fortschritte zu erzielen, müssen wir die Behandlungsergebnisse mit Hilfe wissenschaftlicher Fragebögen objektivieren. Durch die Teilnahme an der Befragung ändert sich Ihre Behandlung nicht, und es werden keine zusätzlichen Untersuchungen notwendig. Ebenso ändert sich selbstverständlich nichts an Ihrer Behandlung, wenn Sie nicht teilnehmen möchten.

Ihre Teilnahme wird die Behandlung der Patienten in der Zukunft verbessern. Deswegen wären wir Ihnen sehr dankbar, die folgenden Fragen zu beantworten.

Vielen Dank für Ihre Hilfe,  
Ihr Team der Fuß- und Sprunggelenkchirurgie.

Größe \_\_\_\_\_ cm                      Gewicht \_\_\_\_\_ kg

Nehmen Sie regelmäßig Schmerzmedikamente ein?

nein     ja – welche? \_\_\_\_\_ wieviel? \_\_\_\_\_

Nach wievielen Tagen (nach der Operation) waren Sie wieder arbeitsfähig?    Nach \_\_\_\_\_ Tagen

Nach wievielen Wochen (nach der Operation) waren Sie wieder sportfähig?    Nach \_\_\_\_\_ Wochen

Mit welchem Bein schießen Sie einen Ball?     rechts     links

Treiben Sie Sport?     nein     ja – welchen? \_\_\_\_\_

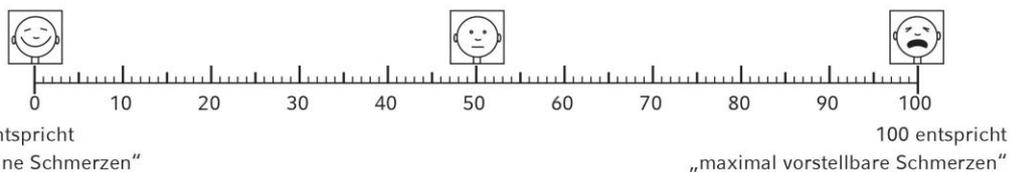
Wie oft pro Woche?    \_\_\_\_\_ mal pro Woche

Sie sind mit der Behandlung     unzufrieden     mäßig zufrieden     zufrieden     sehr zufrieden

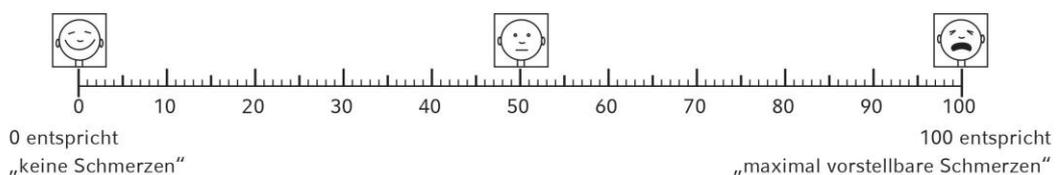
Würden Sie die Operation weiterempfehlen?     ja     nein

Wir bitten Sie, die Stärke Ihrer Schmerzen auf einer Skala von 0 bis 100 anzugeben:

In Ruhe:



Unter Belastung:



## **Anhang 2: Olerud and Molander Ankle Score**

Urheberrechtlich geschützt

### **Anhang 3: SF-12 Score**

Urheberrechtlich geschützt

## **Anhang 4: FAAM Score**

Urheberrechtlich geschützt

## 9 Referenzen

1. Baumbach, S.F., et al., *Open reduction and internal fixation of the posterior malleolus fragment frequently restores syndesmotic stability*. Injury, 2019. **50**(2): p. 564-570.
2. Juto, H., H. Nilsson, and P. Morberg, *Epidemiology of Adult Ankle Fractures: 1756 cases identified in Norrbotten County during 2009-2013 and classified according to AO/OTA*. BMC Musculoskelet Disord, 2018. **19**(1): p. 441.
3. Boszczyk, A., et al., *Ankle fracture - Correlation of Lauge-Hansen classification and patient reported fracture mechanism*. Forensic Sci Int, 2018. **282**: p. 94-100.
4. Aumüller, G., et al., *Duale Reihe Anatomie*. 3. Auflage Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S, 2010: p. 612-616.
5. Hermans, J.J., et al., *Anatomy of the distal tibiofibular syndesmosis in adults: a pictorial essay with a multimodality approach*. J Anat, 2010. **217**(6): p. 633-45.
6. Yuen, C.P. and T.H. Lui, *Distal Tibiofibular Syndesmosis: Anatomy, Biomechanics, Injury and Management*. Open Orthop J, 2017. **11**: p. 670-677.
7. Van Heest, T.J. and P.M. Lafferty, *Injuries to the ankle syndesmosis*. J Bone Joint Surg Am, 2014. **96**(7): p. 603-13.
8. Lauge-Hansen, N., *Fractures of the ankle. II. Combined experimental-surgical and experimental-roentgenologic investigations*. Arch Surg, 1950. **60**(5): p. 957-85.
9. Fonseca, L.L.D., et al., *Reproducibility of the Lauge-Hansen, Danis-Weber, and AO classifications for ankle fractures*. Rev Bras Ortop, 2018. **53**(1): p. 101-106.
10. Yin, M.C., et al., *Evaluating the Reliability and Reproducibility of the AO and Lauge-Hansen Classification Systems for Ankle Injuries*. Orthopedics, 2015. **38**(7): p. e626-30.
11. Tartaglione, J.P., et al., *Classifications in Brief: Lauge-Hansen Classification of Ankle Fractures*. Clin Orthop Relat Res, 2015. **473**(10): p. 3323-8.
12. Polzer, H., et al., *Diagnosis and treatment of acute ankle injuries: development of an evidence-based algorithm*. Orthop Rev (Pavia), 2012. **4**(1): p. e5.
13. Stiell, I., et al., *Multicentre trial to introduce the Ottawa ankle rules for use of radiography in acute ankle injuries*. Multicentre Ankle Rule Study Group. Bmj, 1995. **311**(7005): p. 594-7.
14. Stiell, I.G., et al., *A study to develop clinical decision rules for the use of radiography in acute ankle injuries*. Ann Emerg Med, 1992. **21**(4): p. 384-90.
15. Alonso, A., L. Khoury, and R. Adams, *Clinical tests for ankle syndesmosis injury: reliability and prediction of return to function*. J Orthop Sports Phys Ther, 1998. **27**(4): p. 276-84.
16. Kiter, E. and M. Bozkurt, *The crossed-leg test for examination of ankle syndesmosis injuries*. Foot Ankle Int, 2005. **26**(2): p. 187-8.
17. van Dijk, C.N., et al., *Physical examination is sufficient for the diagnosis of sprained ankles*. J Bone Joint Surg Br, 1996. **78**(6): p. 958-62.
18. Beumer, A., B.A. Swierstra, and P.G. Mulder, *Clinical diagnosis of syndesmotic ankle instability: evaluation of stress tests behind the curtains*. Acta Orthop Scand, 2002. **73**(6): p. 667-9.
19. Neumaier Probst, E., R. Maas, and N.M. Meenen, *Isolated fracture of the posterolateral tibial lip (Volkman's triangle)*. Acta Radiol, 1997. **38**(3): p. 359-62.
20. Meijer, D.T., et al., *Guesstimation of posterior malleolar fractures on lateral plain radiographs*. Injury, 2015. **46**(10): p. 2024-9.
21. Ferries, J.S., et al., *Plain radiographic interpretation in trimalleolar ankle fractures poorly assesses posterior fragment size*. J Orthop Trauma, 1994. **8**(4): p. 328-31.
22. Gardner, M.J., et al., *Malreduction of the tibiofibular syndesmosis in ankle fractures*. Foot Ankle Int, 2006. **27**(10): p. 788-92.
23. Black, E.M., et al., *Role of preoperative computed tomography scans in operative planning for malleolar ankle fractures*. Foot Ankle Int, 2013. **34**(5): p. 697-704.

24. Mangnus, L., et al., *Posterior Malleolar Fracture Patterns*. J Orthop Trauma, 2015. **29**(9): p. 428-35.
25. Oae, K., et al., *Injury of the tibiofibular syndesmosis: value of MR imaging for diagnosis*. Radiology, 2003. **227**(1): p. 155-61.
26. Kellett, J.J., et al., *Diagnostic imaging of ankle syndesmosis injuries: A general review*. J Med Imaging Radiat Oncol, 2018. **62**(2): p. 159-168.
27. Park, Y.H., et al., *The predictive value of MRI in the syndesmotoc instability of ankle fracture*. Skeletal Radiol, 2018. **47**(4): p. 533-540.
28. Nielson, J.H., et al., *Correlation of interosseous membrane tears to the level of the fibular fracture*. J Orthop Trauma, 2004. **18**(2): p. 68-74.
29. Pakarinen, H., et al., *Intraoperative assessment of the stability of the distal tibiofibular joint in supination-external rotation injuries of the ankle: sensitivity, specificity, and reliability of two clinical tests*. J Bone Joint Surg Am, 2011. **93**(22): p. 2057-61.
30. Meinberg, E.G., et al., *Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018*. J Orthop Trauma, 2018. **32 Suppl 1**: p. S1-s170.
31. Weber, B.G., *Die Verletzungen des Oberen Sprunggelenkes*. Aktuelle Probleme in der Chirurgie, 1966.
32. Haraguchi, N., et al., *Pathoanatomy of posterior malleolar fractures of the ankle*. J Bone Joint Surg Am, 2006. **88**(5): p. 1085-92.
33. Bartonicek, J., et al., *Anatomy and classification of the posterior tibial fragment in ankle fractures*. Arch Orthop Trauma Surg, 2015. **135**(4): p. 505-16.
34. Nelson, M. and N. Jensen, *The treatment of trimalleolar fractures of the ankle*. Surg Gynecol Obstet, 1940. **71**: p. 509-514.
35. Bartonicek, J., S. Rammelt, and M. Tucek, *Posterior Malleolar Fractures: Changing Concepts and Recent Developments*. Foot Ankle Clin, 2017. **22**(1): p. 125-145.
36. Rammelt, S. and A. Boszczyk, *Computed Tomography in the Diagnosis and Treatment of Ankle Fractures: A Critical Analysis Review*. JBJS Rev, 2018. **6**(12): p. e7.
37. Tuček, M., et al., *CT controlled results of direct reduction and fixation of posterior malleolus in ankle fractures*. Eur J Trauma Emerg Surg, 2020.
38. Shimosono, Y., et al., *Suture Button Versus Syndesmotoc Screw for Syndesmosis Injuries: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials*. Am J Sports Med, 2019. **47**(11): p. 2764-2771.
39. Zhang, P., et al., *A systematic review of suture-button versus syndesmotoc screw in the treatment of distal tibiofibular syndesmosis injury*. BMC Musculoskelet Disord, 2017. **18**(1): p. 286.
40. Gan, K., et al., *Dynamic Fixation Versus Static Fixation for Distal Tibiofibular Syndesmosis Injuries: A Meta-Analysis*. Med Sci Monit, 2019. **25**: p. 1314-1322.
41. Testa, G., et al., *Negative prognostic factors in surgical treatment for trimalleolar fractures*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2019. **29**(6): p. 1325-1330.
42. Verhage, S.M., et al., *Persistent postoperative step-off of the posterior malleolus leads to higher incidence of post-traumatic osteoarthritis in trimalleolar fractures*. Arch Orthop Trauma Surg, 2019. **139**(3): p. 323-329.
43. Pettrone, F.A., et al., *Quantitative criteria for prediction of the results after displaced fracture of the ankle*. J Bone Joint Surg Am, 1983. **65**(5): p. 667-77.
44. Ray, R., et al., *Ankle fractures with syndesmotoc stabilisation are associated with a high rate of secondary osteoarthritis*. Foot Ankle Surg, 2019. **25**(2): p. 180-185.
45. SooHoo, N.F., et al., *Complication rates following open reduction and internal fixation of ankle fractures*. J Bone Joint Surg Am, 2009. **91**(5): p. 1042-9.
46. Mason, L.W., et al., *Pathoanatomy and Associated Injuries of Posterior Malleolus Fracture of the Ankle*. Foot Ankle Int, 2017. **38**(11): p. 1229-1235.
47. Velleman, J., S. Nijs, and H. Hoekstra, *Operative Management of AO Type 44 Ankle Fractures: Determinants of Outcome*. J Foot Ankle Surg, 2018. **57**(2): p. 247-253.
48. Tejwani, N.C., B. Pahk, and K.A. Egol, *Effect of posterior malleolus fracture on outcome after unstable ankle fracture*. J Trauma, 2010. **69**(3): p. 666-9.

49. Ebraheim, N.A., A.O. Mekhail, and S.S. Gargasz, *Ankle fractures involving the fibula proximal to the distal tibiofibular syndesmosis*. *Foot Ankle Int*, 1997. **18**(8): p. 513-21.
50. Egol, K.A., et al., *Outcome after unstable ankle fracture: effect of syndesmotic stabilization*. *J Orthop Trauma*, 2010. **24**(1): p. 7-11.
51. Leeds, H.C. and M.G. Ehrlich, *Instability of the distal tibiofibular syndesmosis after bimalleolar and trimalleolar ankle fractures*. *J Bone Joint Surg Am*, 1984. **66**(4): p. 490-503.
52. Weening, B. and M. Bhandari, *Predictors of functional outcome following transsyndesmotic screw fixation of ankle fractures*. *J Orthop Trauma*, 2005. **19**(2): p. 102-8.
53. Sagi, H.C., A.R. Shah, and R.W. Sanders, *The functional consequence of syndesmotic joint malreduction at a minimum 2-year follow-up*. *J Orthop Trauma*, 2012. **26**(7): p. 439-43.
54. Little, M.M., et al., *Anatomic Fixation of Supination External Rotation Type IV Equivalent Ankle Fractures*. *J Orthop Trauma*, 2015. **29**(5): p. 250-5.
55. Da Cunha, R.J., et al., *Ankle Arthroscopy for Diagnosis of Full-thickness Talar Cartilage Lesions in the Setting of Acute Ankle Fractures*. *Arthroscopy*, 2018. **34**(6): p. 1950-1957.
56. Loren, G.J. and R.D. Ferkel, *Arthroscopic assessment of occult intra-articular injury in acute ankle fractures*. *Arthroscopy*, 2002. **18**(4): p. 412-21.
57. van Vlijmen, N., et al., *Long-term Results After Ankle Syndesmosis Injuries*. *Orthopedics*, 2015. **38**(11): p. e1001-6.
58. Gardner, M.J., et al., *Fixation of posterior malleolar fractures provides greater syndesmotic stability*. *Clin Orthop Relat Res*, 2006. **447**: p. 165-71.
59. Verhage, S.M., et al., *Open reduction and internal fixation of posterior malleolar fractures using the posterolateral approach*. *Bone Joint J*, 2016. **98-b**(6): p. 812-7.
60. Choi, J.Y., et al., *Single Oblique Posterolateral Approach for Open Reduction and Internal Fixation of Posterior Malleolar Fractures With an Associated Lateral Malleolar Fracture*. *J Foot Ankle Surg*, 2015. **54**(4): p. 559-64.
61. O'Connor, T.J., et al., *"A to p" screw versus posterolateral plate for posterior malleolus fixation in trimalleolar ankle fractures*. *J Orthop Trauma*, 2015. **29**(4): p. e151-6.
62. Tosun, B., et al., *Posterior Malleolus Fractures in Trimalleolar Ankle Fractures: Malleolus versus Transyndesmal Fixation*. *Indian J Orthop*, 2018. **52**(3): p. 309-314.
63. Karaca, S., et al., *Importance of fixation of posterior malleolus fracture in trimalleolar fractures: A retrospective study*. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 2016. **22**(6): p. 553-558.
64. Olerud, C. and H. Molander, *A scoring scale for symptom evaluation after ankle fracture*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1984. **103**(3): p. 190-4.
65. Martin, R., R. Burdett, and J. Irrgang, *Development of the foot and ankle disability index (FADI)*. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1999. **29**(1): p. A32-A33.
66. De Vries, J.S., et al., *Long-term results of ankle fractures with a posterior malleolar fragment*. *J Foot Ankle Surg*, 2005. **44**(3): p. 211-7.
67. Huber, M., P. Stutz, and C. Gerber, *Open reduction and internal fixation of the posterior malleolus with a posterior antiglide plate using a postero-lateral approach—a preliminary report*. *Foot and Ankle Surgery*, 1996. **2**(2): p. 95-103.
68. von Ruden, C., et al., *[The Postero-Lateral Approach--An Alternative to Closed Anterior-Posterior Screw Fixation of a Dislocated Postero-Lateral Fragment of the Distal Tibia in Complex Ankle Fractures]*. *Z Orthop Unfall*, 2015. **153**(3): p. 289-95.
69. Mingo-Robinet, J., et al., *Ankle fractures with posterior malleolar fragment: management and results*. *J Foot Ankle Surg*, 2011. **50**(2): p. 141-5.
70. Miller, M.A., et al., *Stability of the Syndesmosis After Posterior Malleolar Fracture Fixation*. *Foot Ankle Int*, 2018. **39**(1): p. 99-104.
71. Li, M., et al., *Comparing Different Surgical Techniques for Addressing the Posterior Malleolus in Supination External Rotation Ankle Fractures and the Need for Syndesmotic Screw Fixation*. *J Foot Ankle Surg*, 2017. **56**(4): p. 730-734.

72. Feller, R., et al., *Arthroscopic Quantification of Syndesmotic Instability in a Cadaveric Model*. Arthroscopy, 2017. **33**(2): p. 436-444.
73. Vidovic, D., et al., *Posterior fragment in ankle fractures: anteroposterior vs posteroanterior fixation*. Injury, 2017. **48 Suppl 5**: p. S65-s69.
74. Shi, H.F., et al., *Comparison of the direct and indirect reduction techniques during the surgical management of posterior malleolar fractures*. BMC Musculoskelet Disord, 2017. **18**(1): p. 109.
75. Evers, J., et al., *Size matters: The influence of the posterior fragment on patient outcomes in trimalleolar ankle fractures*. Injury, 2015. **46 Suppl 4**: p. S109-13.
76. Buchler, L., et al., *Reliability of radiologic assessment of the fracture anatomy at the posterior tibial plafond in malleolar fractures*. J Orthop Trauma, 2009. **23**(3): p. 208-12.
77. Carr, D., et al., *Posterior-Based Approaches to Open Reduction Internal Fixation of Bimalleolar and Trimalleolar Fractures: A Systematic Review and Meta-analysis*. J Foot Ankle Surg, 2020. **59**(2): p. 373-378.
78. Bali, N., et al., *An evolution in the management of fractures of the ankle: safety and efficacy of posteromedial approach for Haraguchi type 2 posterior malleolar fractures*. Bone Joint J, 2017. **99-b**(11): p. 1496-1501.
79. Hoogendoorn, J.M., *Posterior Malleolar Open Reduction and Internal Fixation Through a Posterolateral Approach for Trimalleolar Fractures*. JBJS Essent Surg Tech, 2017. **7**(4): p. e31.
80. Little, M.T., et al., *Complications following treatment of supination external rotation ankle fractures through the posterolateral approach*. Foot Ankle Int, 2013. **34**(4): p. 523-9.
81. Tornetta, P., 3rd, et al., *The posterolateral approach to the tibia for displaced posterior malleolar injuries*. J Orthop Trauma, 2011. **25**(2): p. 123-6.
82. Forberger, J., et al., *Posterolateral approach to the displaced posterior malleolus: functional outcome and local morbidity*. Foot Ankle Int, 2009. **30**(4): p. 309-14.
83. Zhong, S., et al., *Comparison of Posteromedial Versus Posterolateral Approach for Posterior Malleolus Fixation in Trimalleolar Ankle Fractures*. Orthop Surg, 2017. **9**(1): p. 69-76.
84. McGoldrick, N.P., E.P. Murphy, and S.R. Kearns, *Single Oblique Incision for Simultaneous Open Reduction and Internal Fixation of the Posterior Malleolus and Anterior Syndesmosis*. J Foot Ankle Surg, 2016. **55**(3): p. 664-7.
85. Kim, M.B., et al., *Lateral transmalleolar approach and miniscrews fixation for displaced posterolateral fragments of posterior malleolus fractures in adults: a consecutive study*. J Orthop Trauma, 2015. **29**(2): p. 105-9.
86. Winters, K., *Functional outcome of surgery for fractures of the ankle*. N Z Med J, 2009. **122**(1289): p. 57-62.
87. Hong, C.C., et al., *Functional outcome and limitation of sporting activities after bimalleolar and trimalleolar ankle fractures*. Foot Ankle Int, 2013. **34**(6): p. 805-10.
88. Day, G.A., C.E. Swanson, and B.G. Hulcombe, *Operative treatment of ankle fractures: a minimum ten-year follow-up*. Foot Ankle Int, 2001. **22**(2): p. 102-6.
89. Miller, A.N., et al., *Posterior malleolar stabilization of syndesmotic injuries is equivalent to screw fixation*. Clin Orthop Relat Res, 2010. **468**(4): p. 1129-35.
90. Xu, H.L., et al., *A retrospective study of posterior malleolus fractures*. Int Orthop, 2012. **36**(9): p. 1929-36.
91. Erdem, M.N., et al., *Comparison of lag screw versus buttress plate fixation of posterior malleolar fractures*. Foot Ankle Int, 2014. **35**(10): p. 1022-30.
92. Kalem, M., et al., *Comparison of three posterior malleolar fixation methods in trimalleolar ankle fractures*. Acta Orthop Belg, 2018. **84**(2): p. 203-212.
93. Kang, C., et al., *Screw Fixation of the Posterior Malleolus Fragment in Ankle Fracture*. Foot Ankle Int, 2019. **40**(11): p. 1288-1294.
94. Mertens, M., et al., *Functional outcome and general health status after plate osteosynthesis of posterior malleolus fractures - The quest for eligibility*. Injury, 2020. **51**(4): p. 1118-1124.

95. Drijfhout van Hooff, C.C., S.M. Verhage, and J.M. Hoogendoorn, *Influence of fragment size and postoperative joint congruency on long-term outcome of posterior malleolar fractures*. *Foot Ankle Int*, 2015. **36**(6): p. 673-8.
96. McHale, S., M. Williams, and T. Ball, *Retrospective cohort study of operatively treated ankle fractures involving the posterior malleolus*. *Foot Ankle Surg*, 2020. **26**(2): p. 138-145.
97. Stavem, K., et al., *Determinants of Health Status Three to Six Years After Surgical Treatment of Closed Ankle Fracture and Comparison with the General Population: A Historical Cohort Study*. *JB JS Open Access*, 2017. **2**(3): p. e0019.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Syndesmosen-Komplexes .....	14
Abbildung 2: Außenrotationstest nach Frick mit Syndesmoseninstabilität.....	18
Abbildung 3: Schematische Darstellung der AO Klassifikation, Frakturtyp 44B / 44C [30] .....	20
Abbildung 4: Schematische Darstellung der AO Klassifikation, Frakturtyp 44C [30] .....	21
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Haraguchi et al. Klassifikation .....	23
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Bartoníček et al. Klassifikation.....	24
Abbildung 7: Empfehlungen der AO-Foundation zur Versorgung von Frakturen des PM .....	25
Abbildung 8: Axiales CT-Bild eines Sprunggelenks auf Höhe der Syndesmose .....	28
Abbildung 9: Darstellung des Setups im OP mit Patienten/-in in instabiler Seitenlage .....	29
Abbildung 10: Illustration des dorsolateralen Zugangs mit Versorgung des PM Fragmentes	29
Abbildung 11: Außenrotationstest nach Frick nach ORIF sämtlicher knöcherner Verletzungen .....	30
Abbildung 12: Flow-chart der Patient*innenselektion für das <i>OSG-Frakturregister<sup>LMU</sup></i> sowie beiden Studienteile .....	40
Abbildung 13: Behandlungsgruppen nach LMU-Standard.....	41
Abbildung 14: Einfluss der PM-Versorgung auf die Stabilität des DTFG.....	52
Abbildung 15: Auswertung der subjektiven Behandlungszufriedenheit basierend auf den standardisierten Fragebögen OMAS, FAAM und SF-12 .....	58

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien für das <i>OSG-Frakturregister</i> <sup>LMU</sup> .....	33
Tabelle 2: Eingeschlossene Frakturen nach AO-Klassifikation .....	47
Tabelle 3: Charakteristika der PM-Frakturen in Abhängigkeit der Haraguchi-Klassifikation ..	48
Tabelle 4: Charakteristika der PM-Frakturen in Abhängigkeit der drei Behandlungsgruppen	50
Tabelle 5: Analyse der Versorgungsstrategie zwischen den einzelnen Gruppen .....	51
Tabelle 6: Grad der Reposition in Abhängigkeit der Versorgungsgruppe und PM-Größe.....	53
Tabelle 7: Parameter, die die Notwendigkeit einer Syndesmosenfixierung beeinflussen könnten .....	54
Tabelle 8: Gegenüberstellung der demographischen Daten, Frakturcharakteristika und operativer Versorgung zwischen Studie 1 und Studie 2. ....	55
Tabelle 9: Auswertung der PROM entsprechend der drei Behandlungsgruppen .....	59
Tabelle 10: Mögliche Einflussfaktoren auf das subjektive Behandlungsergebnis .....	60
Tabelle 11: Vergleichende Studien über funktionelle Ergebnisse Behandlungsgruppen .....	71

## **10 Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme**

LMU	Ludwig-Maximilian-Universität
AITFL	Ligamentum tibiofibulare anterius
PITFL	Ligamentum tibiofibulare posterius
ITL	Ligamentum tibiofibulare transversum
IOL	Membrana interossea
PM	Posteriorer Malleolus
CT	Computertomographie
MRT	Magnetresonanztomographie
DTFG	distales Tibiofibulargelenk
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
CRIF	closed reposition and internal fixation
ORIF	open reposition and internal fixation
AP	anteroposterior
BMI	Body-Mass-Index
AOFAS	Ankle-Hindfoot Scale of the American Orthopedic Foot and Ankle Society
OMAS	Olerud and Molander Ankle Score
OSG	Oberes Sprunggelenk
ASA	American Society of Anesthesiologists
VAS	Visuell-analoge Skala
SF-12	Short Form (12) Health Survey
PCS	Physical Component Summary
MCS	Mental Component Summary
FAAM	Foot and Ankle Ability Measure
ADL	Activities of daily living
PROM	Patient-related outcome measure
ANOVA	analysis of variance
CRPS	complex regional pain syndrome
FU	Follow-up, Nachuntersuchungszeitraum
FAOS	Foot and Ankle Outcome Score
SMFA	Short Musculoskeletal Function Assessment
ROM	Range of motion
AFSS	Ankle Fracture Scoring System
AAOS	American Academy of Orthopedic Surgeons Foot and Ankle questionnaire
TTO	Time-trade-off
MOXFQ	Manchester-Oxford Foot and Ankle
PA	posterioranterior
o.g.	oben genannt
ggf.	Gegebenenfalls

# 11 Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Allgemeiner Fragebogen ..... 83  
Anhang 2: Olerud and Molander Ankle Score..... 84  
Anhang 3: SF-12 Score..... 85  
Anhang 4: FAAM Score..... 86

## **12 Lebenslauf**

*Aus Datenschutzgründen nicht in der Online-Version*