

**Diplomarbeit**

**Reduktion der Dorsalextension im oberen  
Sprunggelenk nach Stellschraubenimplantation**

eingereicht von

**Johanna Gerstenmayer**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde  
(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie**

unter der Anleitung von

**Priv. Doz. Dr. Hans Gunther Clement  
ao. Univ. Prof. Dr. Wolfgang Grechenig**

Graz, 4. Oktober 2018

### *Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am 4. Oktober 2018*

*Johanna Gerstenmayer eh*

## Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Betreuer Priv. Doz. Dr. med. univ. Hans Gunther Clement für die Vorbereitung dieser Diplomarbeit, insbesondere die Entwicklung der Idee und des speziellen Messapparats, sowie die Unterstützung sowohl während der Messungen im Sezierraum als auch während der Verfassung dieser Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt ebenso o.Univ.-Prof. Dr.med.univ. Dr.h.c. Friedrich Anderhuber ( 2018) und dem anatomischen Institut der Medizinischen Universität Graz für die Bereitstellung der Extremitäten und der Räumlichkeiten.

Außerdem danke ich der AO-Foundation für die kostenlose Bereitstellung von Bildmaterial.

Für die Hilfe bei jeglichen Fragen in Bezug auf die Statistik bedanke ich mich bei Julian Geuder.

Ein großes Dankeschön richtet sich auch an meinen Freund Dr. med. univ. Stefan Benedikt, der mir zu jeder Uhrzeit geholfen hat, dass diese Arbeit so gut wie möglich wird.

Abschließend gilt ein besonderer Dank meinen Eltern, die mich sowohl beim Korrekturlesen dieser Arbeit, als auch sonst stets unterstützt haben, und mir ermöglicht haben ein Studium zu wählen, das meinen Interessen entspricht, und dieses in meinem Tempo zu beenden.

## Zusammenfassung

**Einleitung:** Frakturen des oberen Sprunggelenks mit Beteiligung der distalen talofibularen Syndesmose stellen komplexe Verletzungsmuster dar und sind trotz intensiver Forschung noch immer eine Herausforderung für den/ die behandelnde/n ChirurgIn. Ein kontrovers diskutiertes Thema ist die Reposition der Syndesmosengabel mittels Repositionszange und die mit der Kompression einhergehenden Bewegungseinschränkung. Ziel dieser Arbeit ist es, die Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk nach Anbringen einer Repositionszange zu ermitteln und aus den Ergebnissen eine Empfehlung für das klinische Vorgehen abzuleiten.

**Material und Methoden:** Im Rahmen dieser anatomischen Studie wurde anhand von 26 unteren Extremitäten in einer eigens angefertigten Konstruktion das Ausmaß der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk nach Anbringen einer Repositionszange untersucht. Die Zangenspitze wurde dabei einmal in herkömmlicher Art und Weise mittig an den beiden Malleolen und einmal weiter ventral an der Fibula angebracht. Weiters wurden die Breite des oberen Sprunggelenks, sowie die Tiefe der Tibia und Fibula vermessen, um einen möglichen Zusammenhang zwischen den anatomischen Gegebenheiten und dem Ausmaß der Dorsalextension nachzuweisen.

**Ergebnisse:** Sowohl bei mittiger als auch ventraler Positionierung der Repositionszange konnte eine signifikante Bewegungseinschränkung festgestellt werden, wobei eine breite Streuung beobachtet wurde. Der direkte Vergleich zwischen ventraler und mittiger Position ergab keinen signifikanten Unterschied. Zwischen den Abmessungen des oberen Sprunggelenks und der Bewegungseinschränkung konnte kein Zusammenhang nachgewiesen werden.

**Diskussion:** Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Verwendung einer Repositionszange zur Stellschraubenimplantation mit einer Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk einhergeht. Eine Technik, die ein weitgehend kompressionsfreies Einbringen der Schraube ermöglicht, ist demnach anzustreben, um Komplikationen wie schlechtes funktionelles sowie subjektives Outcome, Subluxationsneigung des Talus und möglicherweise ein erhöhtes Risiko für die Ausbildung einer Arthrose zu vermeiden.

## Abstract

**Introduction:** Fractures of the upper ankle joint involving the distal talofibular syndesmosis represent complex injury patterns and, despite intensive research, are still a challenge for the treating surgeon. A controversially discussed topic is the restriction of movement caused by compression of the ankle following reconstruction of the syndesmosis using repositioning forceps. The aim of this study is to determine the movement restrictions in the upper ankle joint after application of a reduction forceps and to derive a recommendation for the surgical treatment from the results.

**Material and methods:** Within this anatomical study, the extent of dorsal extension in the upper ankle joint after the application of a reduction forceps was investigated using 26 lower extremities in a specially designed construction. The tip of the forceps was attached in the conventional way to the center of the two malleoles firstly and further ventrally to the fibula secondly. Furthermore, the width of the upper ankle joint and the depth of the tibia and fibula were measured to demonstrate a possible relationship between the anatomical conditions and the extent of dorsal extension.

**Results:** Both central and ventral positioning of the reduction forceps showed a significant limitation of movement with a wide range of variation being observed. The direct comparison between ventral and central position showed no significant difference. No correlation was found between the dimensions of the upper ankle joint and the limitation of movement.

**Discussion:** In this study it could be shown that the use of a reduction forceps for setscrew implantation is associated with a restriction of movement in the upper ankle joint. A technique that allows a nearly compression-free insertion of the screw should therefore be sought in order to avoid complications such as poor functional and subjective outcome, a tendency to subluxation of the talus and possibly an increased risk of osteoarthritis.

# Inhaltsverzeichnis

<b>DANKSAGUNGEN.....</b>	<b>II</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN .....</b>	<b>VII</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1 ZIELSETZUNG .....	1
1.2 ANATOMIE DES OBEREN SPRUNGGELENKES.....	2
1.2.1 <i>Syndesmosis tibiofibularis</i> .....	4
1.3 SPRUNGGELENKSFRAKTUREN .....	4
1.3.1 <i>Danis- Weber-Klassifikation</i> .....	5
1.3.2 <i>AO-Klassifikation</i> .....	5
1.3.3 <i>Lauge-Hansen-Klassifikation</i> .....	7
1.4 THERAPIE VON SPRUNGGELENKSFRAKTUREN .....	8
1.4.1 <i>Notfallmaßnahmen</i> .....	9
1.4.2 <i>Konservative Therapie</i> .....	9
1.4.3 <i>Operative Therapie</i> .....	10
1.4.4 <i>Innenknöchelfrakturen und Volkmann-Dreieck</i> .....	13
1.4.5 <i>Nachbehandlung</i> .....	13
1.4.6 <i>Komplikationen</i> .....	14
<b>2 MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>14</b>
2.1 STUDIENDESIGN .....	14
2.2 VERSUCHSAUFBAU.....	15
2.2.1 <i>Vorbereitung und Positionierung des Präparats in der Messeinrichtung</i> .....	16
2.3 VERMESSUNG DER KNÖCHERNEN ANTEILE DES OBEREN SPRUNGGELENKES.....	18
2.4 ANBRINGEN DER MESSDRÄHTE .....	18
2.5 VERMESSEN DER DORSALEXTENSION .....	21

2.6	DOKUMENTATION .....	24
2.7	STATISTISCHE AUSWERTUNG .....	24
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE – RESULTATE.....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>31</b>
4.1	CONCLUSIO .....	38
	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>39</b>
	<b>ANHANG – MESSPROTOKOLL.....</b>	<b>48</b>

## Glossar und Abkürzungen

ant.	Anterior
CT	Computertomographie
K-Draht	Kirschner-Draht
lig.	Ligamentum
ligg.	Ligamenta ( <i>Pl.</i> )
OSG	Oberes Sprunggelenk
PA-Fraktur	Pronations-Abduktions-Fraktur
PE-Fraktur	Pronations-Eversions-Fraktur
post.	Posterior
ROM	Range of motion
SA-Fraktur	Supinations-Adduktions-Fraktur
SE-Fraktur	Supinations-Eversions-Fraktur
TSA	Transsyndesmatische Achse

# Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: MÜLLER-AO KLASSIFIKATION DER MALLEOLARFRAKTUREN .....	6
ABB. 2: MESSEINRICHTUNG .....	16
ABB. 3: AUSGANGSPOSITION .....	17
ABB. 4: SYNDESMOSE .....	17
ABB. 5: VERMESSUNG DES OSG .....	18
ABB. 6: EINSPANNUNG DES PRÄPARATS.....	19
ABB. 7: MESSDRAHT.....	20
ABB. 8: POSITION DES KIRSCHNER-DRAHTES IM TALUS .....	20
ABB. 9: NULL-WERT.....	21
ABB. 10: FUß IN DORSALEXTENSION .....	22
ABB. 11: POSITIONIERUNG DER KLEMME .....	23
ABB. 12: VENTRALE POSITION .....	24
ABB. 13: VERÄNDERUNG DES BEWEGUNGSUMFANGES.....	27
ABB. 14: BOXPLOT BEWEGUNGSEINSCHRÄNKUNGEN .....	29
ABB. 15: KORRELATION DER ANATOMISCHEN PARAMETER .....	31

# Tabellenverzeichnis

TAB. 1: MESSWERTE.....	26
TAB. 2: MITTELWERTE UND MEDIANE.....	28
TAB. 3: KORRELATIONSANALYSE.....	30

# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzung

Frakturen des oberen Sprunggelenkes sind häufige Verletzungen (1) und treten meist als Folge eines Sturzes oder Vertretens auf. Meist wirken hierbei keine großen Kräfte von außen auf die Strukturen ein, dennoch kommt es in diesem stark belasteten Gelenk zu Verletzungen, die mitunter in einer Instabilität des Gelenkes enden können. (1,2)

Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn zu einer Fraktur des Außenknöchels eine mediale Beteiligung in Form einer Innenbandruptur sowie Fraktur des Innenknöchels oder eine Verletzung der Syndesmose hinzukommt, die entweder in ihrem ligamentären Verlauf oder mit ihrem knöchernen Ansatz ausreißen kann. (1)

Der Talus übernimmt als einzelner Knochen die hauptsächliche Lastverteilung auf den Fuß (3), es ist also nicht verwunderlich, dass schon kleine Defekte der Gelenksflächen oder Instabilitäten (1,2) sowie verbleibende Lateralverschiebungen des Talus (2,4) oder Fehlstellungen der Fibula (4) durch Fehlbelastungen posttraumatisch zu arthrotischen Veränderungen führen können. (1,2,4)

Umso wichtiger ist das Erkennen von Syndesmosenverletzungen wie auch ihre korrekte und präzise Versorgung, um physiologische Bedingungen wiederherzustellen und damit vorzeitiger Gelenksabnützung vorzubeugen. (1,2,4)

Die Stabilisierung der Sprunggelenksgabel erfolgt mittels Implantation einer fibulotibialen Stellschraube (1,2,4), wodurch die normale Weite der Malleolengabel wiederhergestellt und stabilisiert wird. (2) Wichtig ist hierbei eine postoperative Kontrolle des Repositionsergebnisses mittels Computertomographie (CT) bezüglich der Lage der Fibula in der *incisura fibularis tibiae*. (1,4) Zusätzlich kann eine lockere Naht der Syndesmosenbänder erfolgen. (2,4) Die exakte Reposition der Fibula und ausreichende Stabilisierung sind Voraussetzungen für die Ausheilung der Syndesmosenruptur. (5)

Hinsichtlich des postoperativen Managements finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben. Schepers et al. haben sich im Rahmen eines Reviews damit auseinandergesetzt und einen Überblick über die Vorgehensweisen erstellt. (6) Die Empfehlungen reichen von Immobilisierung im Unterschenkelgips (7–9)

oder wahlweise Gips oder speziellem Boot (10) für 6 Wochen, bis zu früher Mobilisierung mit Schiene (11) oder funktioneller Orthese nach einer bis eineinhalb Wochen im Gips (12).

Die Zielsetzung dieser Arbeit ergibt sich aus den anatomischen Besonderheiten des Talus und besonders seiner am oberen Sprunggelenk beteiligten Gelenksrolle: Da diese im anterioren Bereich breiter ist als im posterioren (1,3,13) und dieser vordere Bereich in der Dorsalextension in die Sprunggelenksgabel tritt, weicht die Fibula, soweit es die Syndesmose zulässt, aus. (1,4,13)

Für die Reposition einer Syndesmosenverletzung wird in der Regel eine Repositionszange verwendet, die an den prominentesten Stellen der beiden Malleolen angesetzt wird. Die Arbeitshypothese geht davon aus, dass es durch die Kompression der Zange zu einer engeren Einstellung der Sprunggelenksgabel und somit zu einer Einschränkung der Dorsalextension kommen kann. Wird unter diesen Voraussetzungen eine Stellschraube eingebracht, kann es zu einer permanenten Bewegungseinschränkung im OSG kommen. Eine aktive Dorsalextension im OSG durch die PatientInnen würde somit zu einer vermehrten Belastung des Materials führen, und gegebenenfalls den Heilungsverlauf beeinträchtigen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk nach Anbringen einer Repositionszange zu ermitteln und aus den Ergebnissen eine Empfehlung für das klinische Vorgehen abzuleiten.

## **1.2 Anatomie des oberen Sprunggelenkes**

An der Ausbildung des oberen Sprunggelenkes (im Weiteren OSG genannt), sind im Wesentlichen drei Knochen beteiligt. Die jeweiligen distalen Abschnitte des Schien- und Wadenbeines bilden die Sprunggelenksgabel, in der sich das Sprungbein (Talus) befindet. Die Weite der Malleolengabel wird durch die distale tibiofibulare Syndesmose gesichert. (3,13) Eine seitliche Verbindung zwischen den Unterschenkel- und Fußknochen stellen das *lig. deltoideum* medial, sowie das *lig. talofibulare anterius*, *lig. talofibulare posterius* und das *lig. calcaneofibulare* lateral dar. (14)

Über die funktionelle Einteilung des OSG finden sich in der Literatur unterschiedliche Angaben.

Der Morphologie nach handelt es sich um ein Scharniergelenk (Ginglymus). (13–15) Das Tibiaplafond sowie die nach innen gerichteten Gelenksflächen des Innen- und Außenknöchels bilden hierbei eine konkave „Pfanne“ (15,16); die diesen Flächen gegenüberliegenden Gelenksflächen der Talusrolle bilden den konvexen Gelenkskopf. (15)

Mögliche Bewegungen in diesem Gelenk sind demnach die Dorsalextension und die Plantarflexion. (13)

Aufgrund der Besonderheit, dass am Talus selbst kein Sehnen- beziehungsweise kein Muskelansatz vorhanden ist, werden das obere und das untere Sprunggelenk als funktionelle Einheit gesehen. Eine Bewegung im oberen Sprunggelenk ist somit in der Regel von einer Bewegung im unteren Sprunggelenk begleitet. Aus diesem Grund wird der Sprunggelenkskomplex, dessen Bewegungsachsen sich im *sinus tarsi* kreuzen, zu den Kardangelenken gezählt. (17)

Isolierte Bewegungen des unteren oder oberen Sprunggelenks sind dann möglich, wenn das jeweils andere in Mittelstellung fixiert ist. Wird das untere Sprunggelenk fixiert, erfolgt eine reine Plantar- oder Dorsalflexion. Bei Fixierung des OSG resultiert eine reine Supinations- Pronationsbewegung. (17)

Die Bewegungsachse des oberen Sprunggelenks verläuft in transversaler Richtung durch die Malleolenspitzen von ventro-medial nach dorso-lateral und bildet mit der Frontalebene einen nach medial offenen Winkel von annähernd  $10^\circ$ . (3) Da der Außenknöchel weiter nach distal reicht, steigt die Achse etwas nach medial an und steht in einem Winkel von etwa  $82^\circ$  auf den Tibiaschaft. (3,13)

Das OSG befindet sich dann in Neutralposition, wenn die Unterschenkelachse zum Boden einen  $90^\circ$ -Winkel einschließt. Aus dieser Neutralposition sind um die annähernd transversale Achse Bewegungen von  $20\text{--}30^\circ$  Dorsalextension sowie  $40\text{--}50^\circ$  Plantarflexion möglich. (3,13)

Aufgrund der speziellen Form der *trochlea tali*, die im vorderen Bereich deutlich breiter ist, als im hinteren Bereich (1,3,13,15) ist diese in Dorsalextension stärker durch die Malleolengabel eingeklemmt und somit fixiert. Durch die Elastizität der Syndesmose weichen die Malleolen minimal auseinander, die Fibula bewegt sich nach proximal, lateral und rotiert leicht nach außen. In Plantarflexion, wo der schmälere Teil der Gelenksfläche zwischen die Knöchel tritt, herrscht wenig bis kein seitlicher Kontakt, wodurch sich der Talus leicht seitlich verschieben oder

drehen kann. Diese besondere Konstellation führt im Gang einerseits beim Absetzen des Fußes (Dorsalflexion) zu einer guten Fixierung und somit Stabilität, andererseits beim Abrollen (Plantarflexion) zu einer hohen Anpassungsfähigkeit des Fußes an den Untergrund. (13)

### **1.2.1 Syndesmosis tibiofibularis**

Tibia und Fibula sind im knöchelnahen Bereich durch die *syndesmosis tibiofibularis* miteinander verbunden. Diese Bandverbindung setzt sich aus vier Anteilen zusammen. Von ventral nach dorsal sind dies das *lig. tibiofibulare anterius*, das *lig. tibiofibulare interosseum* als Fortsetzung der *membrana interossea*, das *lig. tibiofibulare posterius* und das *lig. tibiofibulare transversale*. Das stärkste Band ist das *lig. tibiofibulare interosseum*, das aus vielen kurzen, fibrösen Fasern besteht. (14) Diese Konstruktion dient der Sicherung der Sprunggelenksgabel, wobei jedoch geringgradige Bewegungen möglich sind (wie oben erwähnt). (13)

### **1.3 Sprunggelenksfrakturen**

Die meisten Verletzungen des OSG beruhen pathophysiologisch auf einem Luxationsmechanismus als Folge eines Sturzgeschehens oder durch „Vertreten“ (1), wobei es zu einem Knick- und/oder Verdrehtrauma kommt. (2) Eine direkte Krafteinwirkung auf Innen- oder Außenknöchel ist eher selten die Ursache. (1) Eine einfache Methode, Sprunggelenksfrakturen zu klassifizieren, ist ihre Einteilung in uni-, bi-, oder trimalleoläre Frakturen, je nach Anzahl der beteiligten Knöchel. Als dritter Knöchel wird das „hintere Volkmann-Dreieck“ bezeichnet, hierbei handelt es sich um eine Fraktur der hinteren Kante der distalen Tibia. (1) Ein Ausriss des vorderen Anteils der Syndesmose wird je nach Lokalisation des entstandenen Fragmentes entweder als Tubercule de Chaput (Ausriss aus der Tibia) oder als Wagstaffe-Fragment (Ausriss aus der Fibula) bezeichnet. (1) Präzisere Einteilungen der Sprunggelenksfrakturen sind einerseits die Danis-Weber-Klassifikation, und andererseits die Lauge-Hansen-Klassifikation. Erstere berücksichtigt ausschließlich die Fibulafraktur und ihre Höhe in Relation zur Syndesmose. (1) Da Verletzungen des Innenknöchels nicht miterfasst werden, kann nicht automatisch eine Aussage zur Stabilität des Gelenks getroffen werden. Diese ist jedoch ein wichtiges Kriterium dafür, ob eine Fraktur operativ oder

konservativ behandelt werden soll. In der AO-Klassifikation wurde diese Einteilung um Unterkategorien erweitert, welche genau diese Aussage ermöglichen. (1) Die Lauge-Hansen-Klassifikation hingegen kategorisiert die Verletzungstypen anhand ihrer Genese. Sie berücksichtigt sowohl die Position, in der sich der Fuß zum Zeitpunkt des Traumas befand, als auch die Richtung der Krafteinwirkung, wodurch ein besseres Verständnis für den Verletzungsmechanismus und die weitere Versorgung gegeben sind. (1) Besonders wenn ein konservatives Management angestrebt wird, ist diese Klassifikation sehr hilfreich, da durch sie der genaue Vorgang des Traumas visualisiert, und die Durchführung einer korrekten Reposition in entgegengesetzter Bewegungsrichtung verständlich wird. (1,2)

### **1.3.1 Danis- Weber-Klassifikation**

Nach der von Danis und Weber entwickelten Klassifikation lassen sich Sprunggelenksfrakturen anhand der Höhe der Fraktur der Fibula in Abhängigkeit von der Syndesmose in die Typen A, B und C einteilen. Eine Fraktur vom Typ A ist somit unterhalb der Syndesmose lokalisiert, eine B-Fraktur liegt auf Höhe der Syndesmose, und eine C-Fraktur schließlich liegt suprasyndesmal und schließt eine Syndesmosenruptur mit ein. (1)

Eine spezielle Form der C-Fraktur ist die Maissonneuve-Fraktur. (2) Sie stellt eine kombinierte Verletzung aus einer hohen Fibulafaktur und einem Trauma am Innenknöchel dar, wobei an letzterem Bänder und/oder knöcherne Anteile betroffen sein können. Zusätzlich zur Syndesmose reißt die *membrana interossea* bis auf die Höhe der Fibulafaktur. Es kann außerdem eine Luxation des Fibulaköpfchens vorliegen. (1)

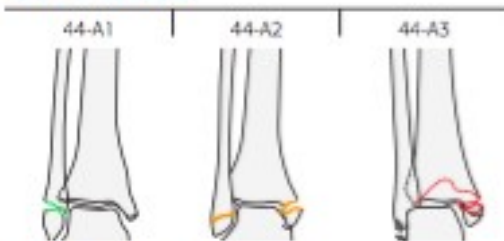
### **1.3.2 AO-Klassifikation**

Auch die von der Arbeitsgesellschaft Osteosynthese (AO) erarbeitete Klassifikation orientiert sich, wie die Weber-Klassifikation, an der Frakturhöhe der Fibula relativ zur Syndesmose. Sie hat jedoch für die drei Frakturtypen jeweils drei Unterkategorien geschaffen, um diese genauer zu charakterisieren und eine Aussage über die Stabilität im OSG zu treffen.(1)

Die Einteilung der Frakturen in die Typen A, B, und C beschreibt die Höhe der ossären oder ligamentären Fibulaläsion, wohingegen die Untergruppen eine

nähere Beschreibung des Frakturtyps sowie der Begleitverletzungen am Innenknöchel und der Syndesmose miteinbeziehen. (18)

#### 44 malleolar



##### 44-A infrasyndesmotic lesion

44-A1 isolated

44-A2 with fractured medial malleolus

44-A3 with posteromedial fracture



##### 44-B transsyndesmotic fibular fracture

44-B1 isolated

44-B2 with medial lesion

44-B3 with medial lesion and Volkmann's fracture



##### 44-C suprasyndesmotic lesion

44-C1 fibular diaphyseal fracture, simple

44-C2 fibular diaphyseal fracture, multifragmentary

44-C3 proximal fibular lesion

Abb. 1: Müller-AO Klassifikation der Malleolarfrakturen  
 © Copyright by AO Foundation, Switzerland. Source: AO Foundation,  
[https://www.aofoundation.org/documents/mueller\\_ao\\_class.pdf](https://www.aofoundation.org/documents/mueller_ao_class.pdf)

### 1.3.3 Lauge-Hansen-Klassifikation

Die Klassifikation nach Lauge-Hansen verfolgt einen anderen Zugang als die beiden oben genannten. Sie orientiert sich nicht an der Lokalisation der Fraktur an der Fibula, sondern charakterisiert die Verletzungen des OSG nach ihrem Entstehungsmechanismus. (1)

Pathophysiologisch kommen zwei Faktoren zum Tragen; einerseits wird die Stellung des Fußes zum Zeitpunkt des Traumas (Pronation, Supination) berücksichtigt, andererseits die Richtung der Gewalteinwirkung auf das Sprunggelenk (Adduktion, Abduktion, Außenrotation). Daraus lassen sich vier Mechanismen beschreiben, die abhängig von der Intensität und der Dauer der Gewalteinwirkung in jeweils drei bis vier Stadien unterteilt werden können. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass bei einem Supinationstrauma die Verletzung am Außenknöchel beginnt, wohingegen beim Pronationstrauma der Innenknöchel zuerst betroffen ist. In der Nomenklatur spiegeln sich diese beiden Faktoren wider, welche die Namen der vier Hauptverletzungsmuster ergeben. (1)

#### 1.3.3.1 Supinations-Adduktions-Fraktur (SA-Fraktur)

Bei diesem Typ kommt es im ersten Stadium zu einer Außenbandruptur oder einem Abriss der infrasyndesmalen Fibula (1) entsprechend einer Weber-A-Fraktur (4). Wirkt die adduzierende Kraft weiterhin ein, führt dies im zweiten Stadium zu einer Fraktur des Innenknöchels, wodurch die Sprunggelenksgabel instabil wird. Der Druck, den der Talus dabei auf die Tibia ausübt, kann eine Impression der Gelenksfläche zur Folge haben. (1)

#### 1.3.3.2 Pronations-Abduktions-Fraktur (PA-Fraktur)

Im Gegensatz zur SA-Fraktur kommt es bei der PA-Fraktur zuerst zu einer Innenbandruptur oder Innenknöchelfraktur. Im zweiten Stadium folgt eine Syndesmosenruptur, welche sich aber meist auf die *ligg. tibiofibularia anterius et posterius* beschränkt. Stadium drei ist gekennzeichnet durch eine indirekte Fibulafraktur auf Höhe der Syndesmose. (1)

#### 1.3.3.3 Supinations-Eversions-Fraktur (SE-Fraktur)

Wie bei allen Supinations-Traumen ist auch bei der SE-Fraktur der Außenknöchel zuerst betroffen. Bei dieser Verletzung folgen die betroffenen Strukturen im Uhrzeigersinn, der Außenrotation des Talus folgend, aufeinander. In Stadium eins

reißt das *lig. tibiofibulare anterius*, in Stadium zwei folgt eine Spiralfaktur der Fibula auf Höhe der Syndesmose, während in Stadium drei schließlich das *lig. tibiofibulare posterius*, gegebenenfalls unter Mitnahme eines Volkmann-Dreieckes, rupturiert. Die Syndesmosenverletzungen können jeweils durch knöcherne Ausrisse oder durch interligamentäre Rupturen erfolgen. In einem vierten Stadium kann der Innenknöchel frakturieren oder das *lig. deltoideum* reißen. (1)

#### **1.3.3.4 Pronations-Eversions-Fraktur (PE-Fraktur)**

Wie bei der SE-Fraktur kommt es bei der PE-Fraktur ebenfalls zu einer sich im Uhrzeigersinn fortsetzenden Verletzungsfolge, welche, wie beim Pronationstrauma üblich, am Innenknöchel beginnt. (1) Ist dieser frakturiert und somit die mediale Begrenzung des Talus weggefallen, kann der Talus weiter nach außen rotieren und sich in Valgusstellung unter der tibialen Gelenksfläche positionieren. Im nächsten Stadium folgt die Ruptur der drei wichtigsten Syndesmosenbänder (*ligg. tibiofib. ant., post., interosseus*). Dadurch erweitert sich der Bewegungsspielraum des Talus nach lateral; es folgt eine hohe Spiralfaktur der Fibula und ein Einriss der *membrana interossea* bis auf Frakturhöhe. Das vierte Stadium ist gekennzeichnet durch die Ruptur der letzten verbliebenen Verbindung des distalen Tibiofibulargelenks, des *lig. tibiofibulare transversale*. Der Talus verbleibt nun völlig ohne Führung, es herrscht ein hochgradig instabiler Zustand. (4) Zur PE-Fraktur zählt in der Lauge-Hansen-Klassifikation auch die Maissonneuve-Fraktur als Spezialform. (1,4)

### **1.4 Therapie von Sprunggelenksfrakturen**

Das Therapieziel bei OSG-Frakturen muss immer die anatomisch korrekte Wiederherstellung des Gelenks sein (2,4) wobei auf die exakte Rekonstruktion der Malleolengabel mit einem unter der Tibia zentrierten Talus besonderes Augenmerk zu legen ist. (2) Bereits kleine Inkongruenzen an den Gelenksflächen können die Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose begünstigen. (1,2,4) Daneben ist die anatomische Rekonstruktion und Reposition der Fibula in die *incisura fibularis tibiae* bei instabiler Syndesmose ein bedeutender Prognosefaktor. (1,4,19)

### **1.4.1 Notfallmaßnahmen**

Da es bei luxierten Frakturen im Bereich des Sprunggelenkes innerhalb kurzer Zeit zu erheblichen Weichteilschäden kommen kann, ist es gegebenenfalls notwendig diese noch am Unfallort zu reponieren und nach Anlage eines sterilen Verbandes zu schienen. Besonders die Innenknöchelregion ist anfällig, Weichteilschäden zu erleiden. (1)

Eine Notoperation muss erfolgen, wenn offene Frakturen, ausgedehnte Weichteilschäden oder ein Kompartmentsyndrom vorliegen. (1,19)

Im Fall von extrem instabilen Verhältnissen oder kritischen Weichteilsituationen ist eine vorübergehende Stabilisierung mittels Fixateur externe zu erwägen.

Komplikationen können durch ein zweizeitiges Vorgehen in einem solchen Fall erheblich verringert werden. Eine Immobilisation mittels Gips würde die Inspektion der Weichteilsituation erschweren und führt zu einer geringeren Stabilisierung als der Fixateur externe, weshalb sie in diesem Fall nicht empfohlen wird. Außerdem müsste zur regelmäßigen Überprüfung der Weichteile das instabile Gelenk aus dem schienenden Gips herausgehoben werden, wodurch die Gefahr der neuerlichen Verschiebung steigt. (1)

### **1.4.2 Konservative Therapie**

Um eine nicht-operative Therapie in Erwägung ziehen zu können, müssen einige Kriterien erfüllt sein.

Die Fraktur muss stabil und unverschoben, sowie die Sprunggelenksgabel intakt sein, so wie es bei isolierten Innen- oder Außenknöchelfrakturen der Fall ist. (1)

Kann dieser Zustand bei verschobenen Frakturen auch mit konservativen Maßnahmen erreicht werden, ist ebenfalls prinzipiell ein konservatives Management möglich. (2) Es ist bei Indikationsstellung zur konservativen Therapie jedoch essentiell, etwaige Verletzungen der Syndesmose auszuschließen, da diese eine Instabilität bedingen würden. (1)

Prinzipiell sollte ein operatives Vorgehen bei Sprunggelenksfrakturen schon bei kleinsten Bedenken bezüglich der Stabilität der Verletzung angestrebt werden, da eine geringe Operationsmorbidity beobachtet wird. (19)

Bei starker Weichteilschwellung wird vorerst ein Unterschenkelgips für 3-5 Tage angelegt. (1) Das weitere Prozedere ist von der geplanten definitiven Versorgung abhängig.

Handelt es sich bei der Verletzung um eine stabile Fraktur unterhalb oder auf Höhe der Syndesmose welche konservativ behandelt werden kann, ist eine funktionelle Therapie anzustreben. Nach Abschwellung kann eine entsprechende supinationshemmende Orthese für die folgenden sechs Wochen angepasst werden, das Sprunggelenk darf hiermit voll belastet werden. Nach dieser Zeit ist mit einer ausreichenden knöchernen Konsolidierung zu rechnen. (1)

Handelt es sich jedoch um eine reine Innenknöchelfraktur, sollte eine Versorgung mittels Unterschenkelgips erfolgen. (1)

Wird vorerst eine konservative Therapie als Überbrückung zur Operation angestrebt, weil für diese eine Kontraindikation vorliegt, wird die Fraktur zunächst geschlossen reponiert, anschließend erfolgt wiederum die Ruhigstellung im Unterschenkelgips bis zum Abschwollen der Weichteile. Bei der Reposition der Fraktur sollte so vorgegangen werden, dass eine konservative Definitivtherapie durchgeführt werden könnte, sollte eine Operation aufgrund lokaler oder systemischer Kontraindikationen weiterhin nicht möglich sein. In diesem Fall wird die Behandlung mittels geschlossenem Unterschenkelgips für circa sechs Wochen fortgeführt und der PatientInnen unter geringer Teilbelastung bis zur Vollbelastung, abhängig von der Stabilität des Bruches mobilisiert. Kriterium für eine Gipsabnahme ist hier wiederum die feste knöcherne Durchbauung der Frakturzone. (1)

### **1.4.3 Operative Therapie**

Eine Sprunggelenksfraktur sollte operativ behandelt werden, wenn es sich um verschobene und/oder instabile Verletzungen handelt. (1) Hierzu zählen dislozierte infrasyndesmale Fibulafrakturen mit und ohne Innenknöchelbeteiligung, instabile, dislozierte transsyndesmale Frakturen sowie suprasyndesmale Frakturen. (19) Das ideale Zeitfenster für die operative Versorgung liegt zwischen sechs bis acht Stunden nach dem Verletzungsereignis. Wird dieses Fenster verpasst oder lassen die Weichteilverhältnisse aufgrund von Schwellung, Überwärmung oder Superinfektion keine rasche Versorgung zu, sollte die Operation bis zu einer Besserung der Weichteilsituation aufgeschoben werden, um Wundheilungsstörungen und Infektionen möglichst vorzubeugen. (1,19)

Üblicherweise beginnt die Rekonstruktion des OSG am Außenknöchel, gefolgt vom Innenknöchel und, sofern vorhanden, dem Volkmann-Dreieck. (19) Eine Begründung, dass ein Rekonstruktionsbeginn am Innenknöchel abzulehnen sei, findet sich in der Literatur nicht.

Der/die zu operierende PatientIn befindet sich meist in Rückenlage, das Kniegelenk des betroffenen Beins wird durch Einschieben eines Polsters unter dem Oberschenkel leicht gebeugt und somit die Wadenmuskulatur entspannt. (2) Der Zugang zum Außenknöchel erfolgt meist mittels eines längsverlaufenden Schnitts über der Fibula, die Länge ist abhängig von der Ausdehnung der Fraktur. (19,20)

#### **1.4.3.1 Infrasyndesmale Frakturen**

Die bei einer dislozierten oder instabilen infrasyndesmalem Fraktur entstandenen Fragmente können durch eine Spongiosaschraube oder, wenn das Fragment sehr klein oder die Bruchflächen nicht ausreichend verzahnt sind, mittels Zuggurtung refixiert werden. (1,4,19) Auch eine Plattenosteosynthese ist bei Vorliegen eines großen Fragments möglich. (1)

#### **1.4.3.2 Transsyndesmale Frakturen**

Die Weber B-, oder Supinations-Eversions-Frakturen haben durch die Außenrotation des Talus meist eine Spiralfraktur der distalen Fibula zur Folge. Die Osteosynthese erfolgt mittels Zugschraube(n) und anschließender Anpassung einer Drittelrohrplatte an die Außenseite der Fibula, welche als Neutralisationsplatte fungiert, und mit beiden Fragmenten verschraubt wird. Alternativ kann bei ungünstigen Verhältnissen (osteoporotischer Knochen, lange Schrägfrakturen) die Platte dorsal positioniert werden, wo sie mehr mechanische Stabilität bietet und als Antigleitplatte dient. (1,19,20) In jedem Fall ist einer mechanischen Irritation der Peronealsehnen im retromalleolaren Bereich vorzubeugen. (19,20)

Sofern ein knöcherner Syndesmosenausriss vorliegt, ist es von hoher prognostischer Relevanz, diesen mittels einer Schraube zu refixieren (1,4,19,20), da ansonsten eine korrekte Stellung der Fibula während der Ausheilung in der *incisura fibularis* behindert werden kann. (20)

Nach Stabilisierung der knöchernen Verletzungen soll mittels Hakenzugtest unter dem Bildwandler das Vorliegen einer möglichen Syndesmoseninsuffizienz durch

Ausüben eines nach dorsal und lateral gerichteten Zuges an der Fibula verifiziert werden (1,4,19,20). Eine Instabilität liegt vor, wenn im Röntgenbild eine Verbreiterung des fibulotibialen Abstandes einen Zentimeter oberhalb des Gelenksspalts („ligne claire“) um mehr als zwei Millimeter, oder eine deutliche sagittale Verschiebbarkeit objektivierbar ist. (19,20) Eine Erweiterung des Abstandes zwischen der Gelenksfläche des Innenknöchels und der nach medial gerichteten Gelenksfläche des Talus (medial clear space), wird als weiteres radiologisches Insuffizienzkriterium beschrieben. (4) Im Fall einer Instabilität ist eine Reposition der Fibula in die *incisura fibularis tibiae* und die Stabilisierung mittels einer tibiofibularen Stellschraube notwendig. (1,4,19,20) Dabei wird der Fuß - je nach Literatur - in Neutralstellung (19) oder in maximaler Dorsalextension (5) positioniert. Die Stellschraube wird in einem Abstand von etwa zwei Zentimetern proximal der tibialen Gelenksfläche in der vertikalen Ebene der Achse des OSG eingebracht (19,20), wobei die Schraube parallel zur Gelenksfläche der Tibia zu liegen kommen soll. (5)

Zur Überprüfung des Repositions- und Rekonstruktionsergebnisses nach Stellschraubenimplantation wird die Durchführung einer postoperativen Computertomographie, gegebenenfalls mit Vergleichsaufnahmen der gesunden Seite, empfohlen. (1,4,19,20) Hierdurch können sowohl die Schraubenlage (4) sowie die Position der Fibula in der Inzisur (1,4), als auch Fehlstellungen wie Verkürzungen oder Fehlrotationen des distalen Fragmentes (4,19,20) frühzeitig erkannt und das daraus resultierende Risiko für Bandfehlheilungen (4) oder der Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose (19,20) minimiert werden.

Ist das *lig. tibiofibulare anterius* isoliert in seinem ligamentären Verlauf gerissen, ist es nicht notwendig dieses zusätzlich zu versorgen, da damit keine biomechanische Instabilität einhergeht. (20)

### **1.4.3.3 Suprasyndesmale Frakturen**

Auch bei den suprasyndesmalem Frakturen kommen in der Versorgung Osteosyntheseplatten und Zugschrauben zur Anwendung. Letztere sind aufgrund ihrer Funktion jedoch nur bei Schrägbrüchen sinnvoll, bei queren Brüchen werden Zugschrauben nicht verwendet. Auch hier ist die exakte anatomische Wiederherstellung der Fibula von größter Wichtigkeit. Diese Frakturen gehen meist mit einer Syndesmoseninstabilität einher, weshalb die Implantation einer

Stellschraube, wie oben beschrieben, notwendig wird. Im Fall einer Maisonneuve-Fraktur wird zusätzlich eine zweite Stellschraube verwendet. (1,19,20) Dies verhindert beziehungsweise erschwert ein Höherentreten der distalen Fibula durch Verkürzung in der Fraktur und ermöglicht eine Rotationsstabilität in der Sagittalebene. (20) Das für Maisonneuve-Verletzungen typische proximale Fibulafragment muss nicht zusätzlich fixiert werden (1,19,20), kann jedoch eine offene Reposition notwendig machen. (20)

#### **1.4.4 Innenknöchelfrakturen und Volkmann-Dreieck**

Der Zugang bei Frakturen des Innenknöchels erfolgt über einen epimalleolären Schnitt. (1) Wurde das Innenknöchelfragment nicht schon über die Fibulaversorgung reponiert (20), kann es je nach Größe mittels Zugschrauben oder Zuggurtungsosteosynthese fixiert werden. Liegt eine dislozierte Innenknöchelfraktur ohne deutlichen Hinweis auf eine Fibulafraktur vor, sollte die Syndesmose hinsichtlich ihrer Stabilität überprüft werden und im Falle einer Insuffizienz die Implantation einer fibulotibialen Stellschraube erfolgen.(1) Eine osteosynthetische Versorgung des hinteren Volkmann-Dreiecks ist bei einer Größe von mehr als einem Viertel (1,19,20) bis zu einem Drittel (1,19) der Gelenksfläche beziehungsweise dem Vorliegen einer Gelenksstufe indiziert. (1,20) Mittel der Wahl ist die indirekte Reposition durch Hakenzug, die anschließende Fixierung erfolgt mittels Zugschrauben. (1,19,20) Auch die Reposition kleinerer Fragmente kann, besonders bei instabilen Frakturen oder schlechter Knochenqualität, zu einem stabileren Gesamtergebnis beitragen. (19)

#### **1.4.5 Nachbehandlung**

Nach der Operation erfolgt die Anlage eines Unterschenkelspaltgipses meist für eine Woche, bis zur Wundheilung. (1,19,20) Ab dem zweiten postoperativen Tag können passive und aktive Bewegungsübungen wie Plantarflexion und Dorsalextension durchgeführt werden, zu diesem Zweck wird der Gips abgenommen. (19,20)

Uni- oder bimalleoläre Frakturen können bei stabilen Verhältnissen und guter Knochenqualität mit 15-20 kp Teilbelastung für 6 Wochen postoperativ mobilisiert werden. Dies kann im eigenen Schuh oder alternativ im Gehgips oder in einem Spezialschuh auch mit höherer Belastung erfolgen. (1,19,20)

Bei ungünstigeren Verhältnissen, wie trimalleolären Frakturen, Trümmerfrakturen oder osteoporotisch verändertem Knochen ist eine Teilbelastung im Unterschenkelgips empfohlen. (1,19,20) Dasselbe gilt nach einer Stellschraubenimplantation, da die Extremität aufgrund der Gefahr von Schraubenbruch oder -lockerung bis zur Schraubenentfernung nach sechs Wochen nicht voll belastet werden sollte. (1,4,19,20)

### **1.4.6 Komplikationen**

Da sich die Knöchel direkt subkutan befinden, sind Sprunggelenksfrakturen, besonders wenn dislozierte Fragmente vorliegen, mit einem erhöhten Risiko für Weichteilschäden wie Infektionen, Hämatome oder Hautnekrosen assoziiert. Seltener kommt es zu tiefen Weichteil- und Knocheninfekten, welche nach erfolgreicher Infektsanierung oft im Fixateur externe ausbehandelt werden. Besonders Diabetiker und Raucher haben ein höheres Risiko, eine Infektion oder Wundheilungsstörung zu erleiden. (1,19)

Extrem selten kommt es zur Ausbildung von Pseudoarthrosen. Ursächlich dafür sind schlechte Knochenqualität, Infektionen sowie ein unpassendes Therapieregime bei übersehener Instabilität. (1,19)

Auch bei optimaler Reposition und Versorgung der Frakturen kommt es in 11% der Fälle zu posttraumatischen Arthrosen. (21) Dies wird darauf zurückgeführt, dass es bereits durch das Trauma an sich zu Knorpelschäden, -nekrosen und darauffolgenden Adhäsionen kommt. Wird die Arthrose symptomatisch, bestehen die Therapieoptionen in einer Versteifung des oberen Sprunggelenkes oder einer Endoprothese. (1)

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Bei dieser Studie handelt es sich um eine anatomische Studie.

Insgesamt wurden 26 mittels Thiel'scher Lösung (22) konservierte untere Extremitäten des Anatomischen Institutes der Medizinischen Universität Graz untersucht. Diese waren unterhalb des Knies amputiert und bereits vorab unter Erhaltung des Bandapparates bis auf das knöcherne Skelett präpariert.

Die Auswahl der Extremitäten erfolgte zufällig, eine nachträgliche Geschlechtszuordnung war nicht möglich. Extremitäten, die deutliche

Fehlbildungen oder einen beschädigten Bandapparat aufwiesen, wurden von den Messungen ausgeschlossen.

Die untersuchte Hauptzielgröße war das Vorliegen einer Einschränkung der Dorsalextension im oberen Sprunggelenk nach Simulation einer Stellschraubenimplantation. Als Nebenzielgrößen wurden vorab die Breite des oberen Sprunggelenks, gemessen von der breitesten Stelle des *Malleolus medialis* zum *Malleolus lateralis*, die Tiefe der distalen Tibia (in ventro-dorsaler Richtung) sowie die Tiefe der distalen Fibula (ebenso in ventro-dorsaler Richtung) erhoben. Alle Messwerte wurden in der Einheit Zentimeter gemessen und auf eine Nachkommastelle gerundet. Die Messwerte wurden in eine vorab erstellte Tabelle eingetragen. (siehe Anhang)

## **2.2 Versuchsaufbau**

Um eine genaue Vermessung der Präparate zu gewährleisten, wurde eigens ein Versuchsapparat konstruiert, in welchen die Präparate eingespannt werden konnten. Den Rahmen bildete ein quaderförmiges Holzgestell, welches sich aus folgenden Elementen zusammensetzte, die in den folgenden Absätzen erklärt werden (siehe Abb. 2).

1. stufenlos höhenverstellbarer, hereinschwenkbarer Arm
2. mobiler Schemel und Holzkeil
3. zwei Aufhängungen
4. digitale Schublehre
5. digitale Wasserwaage
6. Repositionszange
7. Steinmann Pin, Kirschner-Drähte
8. Metallfeder

Der Messaufbau wurde gleichzeitig für die Anfertigung einer zweiten Diplomarbeit verwendet. Die angebrachten Skalen wurden in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet und werden daher nicht näher beschrieben.

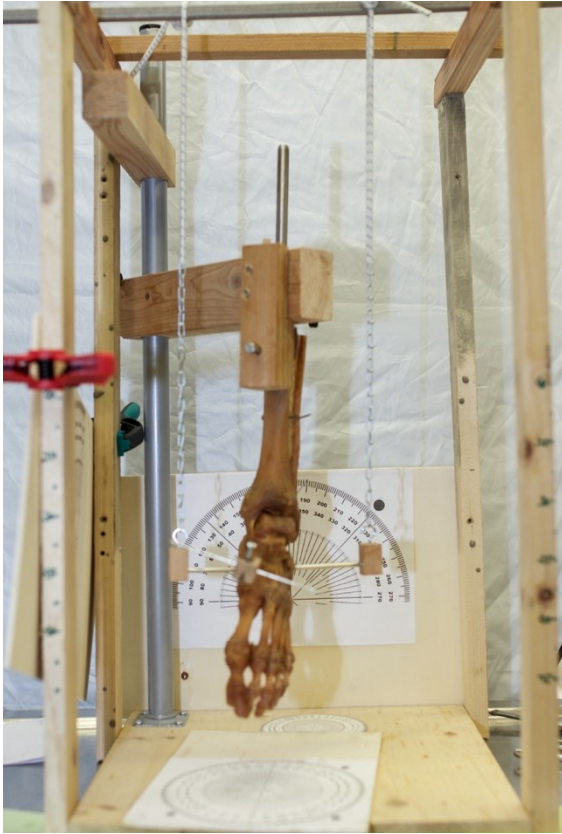


Abb. 2: Messeinrichtung

### 2.2.1 Vorbereitung und Positionierung des Präparats in der Messeinrichtung

Um die Präparate in die Messeinrichtung einspannen zu können, war es erforderlich, den Markraum der Tibia von proximal auf 10 mm bei besonders schlanken Schäften, beziehungsweise 12 mm bei stärkeren Präparaten aufzubohren.

Das zu vermessende Präparat wurde zunächst auf einem mobilen Schemel neutral mit aufgerichtetem Rückfuß positioniert, damit der Fuß wie unter normalen Bedingungen im Stehen vermessen werden konnte. Ein senkrechter Metallstift mit einer Stärke von 10 beziehungsweise 12 mm, der am hereinschwenkbaren Arm befestigt war, wurde in den aufgebohrten Markraum der Tibia eingeführt, und von außen mit einer Flügelschraube am Knochen fixiert. Die Höhe des Armes wurde nun so eingestellt, dass das Präparat mit der gesamten lateralen Fußsohle horizontal auf der Schemelfläche auflag. Um trotz der fehlenden Weichteile eine korrekte Stellung des Calcaneus zu erzielen, wurde medial ein unterstützender Holzkeil eingeschoben, wodurch der Calcaneus in Neutralposition zu stehen kam. (Abb. 3)



Abb. 3: Ausgangsposition  
 Ein medial untergelegter Holzkeil sorgt für eine physiologische Stellung des Fußes mit aufgerichtetem Calcaneus. Ein Steinmann-Pin wird von lateral eingebracht.

Da die Präparate distal der *articulationes tibofibulares proximales* abgetrennt waren, wurde die Spannung der *Membrana interossea* durch Einbringen einer Metallfeder zwischen Tibia und Fibula simuliert. (Abb. 4)



Abb. 4: Syndesmose  
 Eine Metallfeder zwischen Tibia und Fibula simuliert die Spannung der Syndesmose.

## **2.3 Vermessung der knöchernen Anteile des oberen Sprunggelenkes**

An dem nun in Normalposition stehenden Präparat wurden zunächst allgemeine Parameter wie Breite des oberen Sprunggelenks, Tiefe der Tibia und Tiefe der Fibula erhoben.

Die Breite des OSG wurde mittels einer digitalen Schiebelehre erhoben, welche an den prominentesten Stellen des Außen- und Innenknöchels angelegt wurde. (Abb. 5)

Um die Tiefe der distalen Tibia und Fibula zu vermessen, wurde die Schiebelehre an der vordersten und hintersten Stelle jeweils an Innen- und Außenknöchel angelegt, und somit die Ausdehnung in sagittaler Richtung bestimmt.



*Abb. 5: Vermessung des OSG  
Die Vermessung der knöchernen Anteile des oberen Sprunggelenkes erfolgte mittels digitaler Schiebelehre.*

## **2.4 Anbringen der Messdrähte**

Ein Steinmann-Pin wurde in transversaler Richtung so durch den vorderen Anteil des Calcaneus gebohrt, dass er parallel zur darüber liegenden transversalen Achse des OSG zu liegen kam. Als sagittale Orientierung für die Einbringungsstelle diente die Verlängerung der Tibiavorderkante nach distal. An die Enden des Steinmann-Pins wurden beidseits kleine Holzwürfel aufgesteckt, die an ihrer Oberseite einen Haken trugen. Diese wurden jeweils an einer Aufhängung befestigt, die sich aus einem Gummiband und einer Metallkette zusammensetzte und in vertikaler Richtung am oberen Rahmen des

Messapparates befestigt war. Unter Verwendung einer Federwaage wurden die Zügel auf beiden Seiten des Fußes so vorgespannt, dass ein Zug von jeweils drei Kilogramm ausgeübt wurde, und der Talus, ähnlich wie unter physiologischen Bedingungen, in die Sprunggelenksgabel gepresst wurde. (Abb. 6) Durch die oben beschriebene Lage des Pins parallel zur Achse des OSG befand sich dieses unter diesem Zug in Neutralposition.

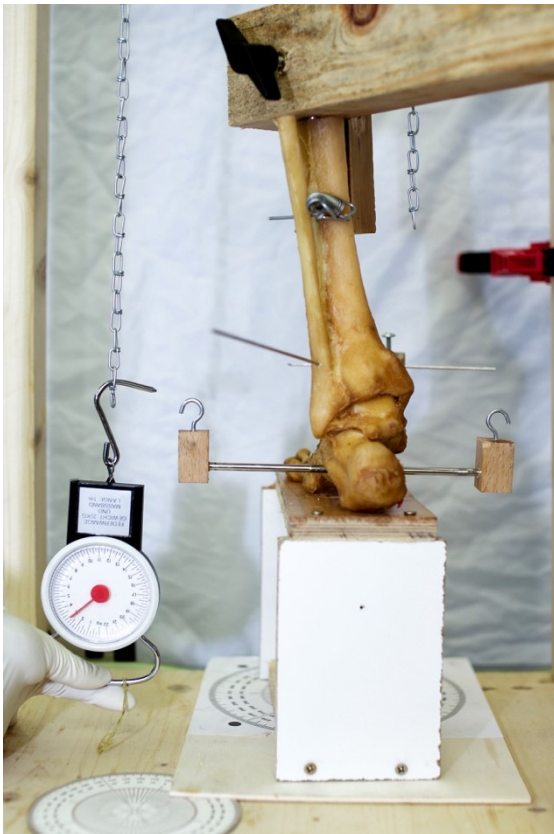


Abb. 6: Einspannung des Präparats  
Mittels Federwaage wurde die Länge der Ketten so gewählt, dass ein Zug von 3 kg auf jeder Kette wirkte.

Um das Ausmaß der Dorsalextension vermessen zu können, wurde ein Kirschner-Draht in sagittaler Richtung in das *caput tali* eingebracht. Als Orientierung für die transversale Position diente hierbei die Verlängerung des medialen Randes des *os metatarsale I.* (Abb. 7, Abb. 8)



Abb. 7: Messdraht  
Ein Kirschner-Draht wurde in sagittaler Richtung in das caput tali eingebracht.



Abb. 8: Position des Kirschner-Drahtes im Talus

Zu Beginn wurde bei jedem Präparat die Steigung des Kirschner-Drahtes im Talus in der sagittalen Ebene mittels einer digitalen Wasserwaage gemessen. Der Fuß befand sich dabei in Normalposition. Dieser Wert wurde als „Null-Wert“ notiert, und diente später als Korrekturfaktor für die absoluten Werte der Dorsalextension.

Auf diese Weise war die Einhaltung einer definierten sagittalen Steigung des Drahtes beim Einbringen in das *caput tali* nicht notwendig. (Abb. 9)



*Abb. 9: Null-Wert  
Die Steigung des Drahtes im Talus wurde in Normalposition mittels digitaler Wasserwaage vermessen und als Null-Wert notiert.*

## **2.5 Vermessen der Dorsalextension**

Nach der Ermittlung des Null-Wertes wurde der Schemel entfernt, und das Präparat mehrfach durchbewegt, um einen vollen Bewegungsumfang zu erreichen. Durch Hochziehen der Fußschaufel wurde eine maximale Dorsalextension erreicht. Aufgrund der Verschiebung des Richtungsvektors der Zugkraft vor die transversale Achse des OSG verblieb das Präparat in dieser Position und ermöglichte eine ungestörte Messung. Es wurde wiederum mittels der digitalen Wasserwaage die Steigung des Kirschner-Drahts im Talus gemessen und notiert. (Abb. 10)



*Abb. 10: Fuß in Dorsalextension*

Im nächsten Schritt wurde nun in Plantarflexion eine Repositionszange mit Kugelspitzen so angebracht, dass ihre Spitzen mittig am Innen- und Außenknöchel positioniert waren. Dieses Vorgehen dient häufig der intraoperativen Praxis für die Einstellung und Sicherung der Fibula in der Inzisur, bevor die Stellschraube eingebracht wird. Das OSG wurde wieder in Dorsalextension gebracht und die Steigung des K-Drahtes gemessen und dokumentiert. (Abb. 11)



*Abb. 11: Positionierung der Klemme  
Die Klemme wurde mittig auf Innen- und Außenknöchel positioniert.*

In einem weiteren Schritt wurde die Repositionszange, bei wieder plantarflektiertem Fuß, an der Fibula circa fünf Millimeter weiter ventral positioniert. Die Position an der Tibia blieb unverändert. Nun wurde das OSG wieder in die maximale Dorsalextension gebracht und das entsprechende Bewegungsausmaß vermessen. (Abb. 12)



Abb. 12: Ventrale Position  
Die Klemme wurde für eine zweite Messung ventral an der Fibula positioniert.

## **2.6 Dokumentation**

Alle gemessenen Werte wurden in einer vorab angelegten Tabelle in Microsoft® Excel notiert. (siehe Anhang) Die tatsächliche Dorsalextension errechnete sich für jedes Präparat durch Subtraktion der jeweiligen Nullwerte von den Dorsalextensions-Werten ohne Klemme, mit Klemme mittig sowie mit Klemme ventral an der Fibula.

## **2.7 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels des Statistikprogrammes R. Um die Veränderung des Bewegungsausmaßes zu ermitteln, wurden die Werte für die Dorsalextension mit Klemme mittig sowie ventral jeweils vom Wert für die Dorsalextension ohne Klemme subtrahiert.

Zunächst wurden die verschiedenen Messreihen unter Verwendung des Shapiro-Wilk Testes auf Normalverteilung getestet. Anschließend wurden Mittelwert und Median für sämtliche Merkmale ermittelt. Der Vollständigkeit halber erfolgte die Berechnung sowohl seitengetrennt, wie auch für alle Präparate gesamt.

Um den Einfluss der Stellschraube auf den Bewegungsumfang zu überprüfen, wurden die Messwerte der Dorsalextension mit und ohne Repositionszange jeweils gegenübergestellt und mittels Wilcoxon-Test überprüft. Daneben wurden die Bewegungsumfänge bei mittlerer und ventraler Zangenposition mittels Mann-Whitney-U-Test verglichen. Als Signifikanzniveau wurde stets  $\alpha = 0,05$  gewählt. Um etwaige Zusammenhänge zwischen den Bewegungsumfängen und den anatomischen Gegebenheiten zu identifizieren, wurden sämtliche Werte mittels Pearson-Korrelationstest analysiert und für alle Präparate sowie seitengetrennt in einer Korrelationstabelle dargestellt.

Die grafische Darstellung der Daten erfolgte mittels Microsoft® Excel.

Die Ergebnisse wurden anschließend mit aktueller Literatur verglichen, die Literaturrecherche erfolgte mit PubMed.

### **3 Ergebnisse – Resultate**

Insgesamt wurden 26 untere Extremitäten untersucht, das Verhältnis rechter zu linker Extremitäten betrug dabei 6 zu 20. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Messwerte.

ID	Seite: links=1, rechts=0	Breite oberes Sprunggelenk	Tiefe Tibia	Tiefe Fibula	Dorsal- extension (justiert)	Dorsalextension Zange mittig (justiert)	Dorsal-extension Zange ventral (justiert)	Einschränkung Bewegungs- umfang mittig	Einschränkung Bewegungs- umfang ventral
1	1	72,2	43,7	23,3	12,2	15,0	15,0	-2,8	-2,8
2	1	66,7	44,5	25,4	24,7	23,4	23,0	1,3	1,7
3	1	64,7	40,0	28,5	16,2	13,2	11,7	3,0	4,5
4	1	60,0	37,6	23,6	26,8	19,8	17,8	7,0	9,0
5	1	66,8	43,4	27,0	19,2	13,8	21,6	5,4	-2,4
6	1	67,3	41,3	26,9	31,6	32,7	30,4	-1,1	1,2
7	1	68,5	40,4	26,6	19,5	14,6	14,7	4,9	4,8
8	1	61,8	43,0	24,3	21,4	9,7	-11,7	11,7	33,1
9	1	67,2	42,6	29,1	13,8	14,8	10,0	-1,0	3,8
10	1	56,6	38,7	26,3	5,3	3,6	3,8	1,7	1,5
11	1	59,0	33,2	22,9	23,7	14,0	19,1	9,7	4,6
12	1	72,0	43,0	29,4	0,9	4,5	5,9	-3,6	-5,0
13	1	70,0	42,0	28,2	9,3	13,1	13,6	-3,8	-4,3
14	1	63,0	38,5	23,8	12,2	-6,5	-22,3	18,7	34,5
15	1	71,7	43,0	31,0	28,6	29,0	26,5	-0,4	2,1
16	1	61,0	39,4	25,8	15,4	10,1	-1,0	5,3	16,4
17	1	61,0	38,8	25,9	27,5	26,6	30,5	0,9	-3,0
18	1	76,0	47,0	31,7	21,3	21,8	21,3	-0,5	0,0
19	1	61,0	42,9	27,6	18,0	14,2	8,2	3,8	9,8
20	1	54,0	35,4	24,0	30,3	24,7	24,4	5,6	5,9
21	0	62,0	38,2	26,0	37,6	29,4	36,3	8,2	1,3
22	0	60,0	35,0	23,9	9,8	13,2	14,8	-3,4	-5,0
23	0	55,4	33,1	23,7	9,2	9,0	9,4	0,2	-0,2
24	0	58,0	33,6	24,5	31,7	32,8	32,8	-1,1	-1,1
25	0	67,9	37,6	25,5	28,5	26,8	-2,6	1,7	31,1
26	0	67,3	41,8	28,1	30,5	30,7	29,4	-0,2	1,1

Tab. 1: Messwerte

Die Spalte „Dorsalextension justiert“ gibt die Werte für die maximale Dorsalextension abzüglich des Null-Wertes (Korrekturfaktor, eine ausführliche Beschreibung findet sich unter Methoden) wieder. In der Spalte „Dorsalextension Zange mittig (justiert)“ sind die Werte für die Dorsalextension bei mittig angebrachter Repositionszange abzüglich des Null-Wertes angegeben, in der Spalte „Dorsalextension Zange ventral (justiert)“ jene Werte, bei denen die Zange in ventraler Position angebracht war, wiederum abzüglich des Nullwertes. Für beide Positionen (mittig/ventral) wurde in den letzten beiden Spalten jeweils die Veränderung des Bewegungsumfanges in Relation zur Dorsalextension ohne Zange berechnet.

Bei der Simulation einer mittig platzierten Stellschraube veränderte sich der Bewegungsumfang um  $-3,8^\circ$  bis  $18,7^\circ$ , bei ventraler Position um  $-5^\circ$  bis  $34,5^\circ$ , wobei ein negativer Wert eine Zunahme und ein positiver Wert eine Abnahme des Bewegungsumfanges anzeigt. (Tabelle 1)

Abbildung 1 veranschaulicht die Veränderung des Bewegungsumfanges vor und nach Simulation einer ventralen und mittigen Stellschraubenimplantation.

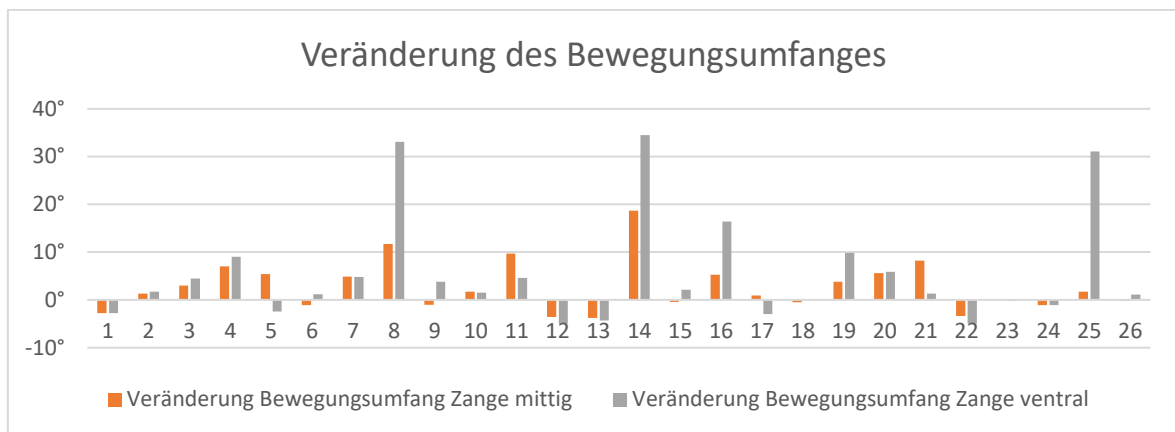


Abb. 13: Veränderung des Bewegungsumfanges

Die Darstellung bildet die Veränderung des Bewegungsumfanges bei ventral und mittig positionierter Zange ab. Auf der x-Achse sind die einzelnen Präparate aufgetragen, die y-Achse beschreibt die Veränderung des Bewegungsumfanges in Grad. Ein positiver Wert lässt auf eine Einschränkung schließen, bei einem negativen Wert handelt es sich um eine Zunahme des Bewegungsumfanges.

Im Zuge des Shapiro-Wilk-Test wurden für sämtliche gemessenen Parameter p-Werte  $>0,05$  ermittelt, somit kann für alle Messwerte eine Normalverteilung angenommen werden. Die Werte für die Veränderung des Bewegungsumfanges waren weder in mittiger noch in ventraler Position normalverteilt.

Hinsichtlich der Beweglichkeit betrug die durchschnittlich erreichte Dorsalextension ohne Klemme  $20,2^\circ$  (Median:  $20,4^\circ$ ). Mit der Klemme in mittiger Position waren durchschnittlich rund  $17,5^\circ$  Dorsalextension möglich (Median:  $14,7^\circ$ ), mit der Klemme in ventraler Position  $14,7^\circ$  (Median:  $14,9^\circ$ ). Eine genaue Auflistung der Mittelwerte und der Mediane gesamt, sowie für die linke und rechte Seite mit den jeweiligen Standardabweichungen und den 1. und 3. Quartilen findet sich in Tabelle 2.

Messreihe	Breite	Tiefe Tibia	Tiefe Fibula	Dorsalextension (justiert)	Dorsalextension Zange mittig (justiert)	Dorsalextension Zange ventral (justiert)
Mittelwert gesamt	64,3	39,9	26,3	20,2	17,5	14,7
Mittelwert links	65,0	40,9	26,6	18,9	15,6	13,1
Mittelwert rechts	61,8	36,6	25,3	24,6	23,7	20,0
Standardabweichung gesamt	5,7	3,7	2,4	12,6	17,3	19,8
Standardabweichung links	5,8	3,3	2,5	11,7	15,9	17,1
Standardabweichung rechts	5,0	3,3	1,6	12,4	19,3	24,8
Median gesamt	63,9	40,2	26,0	20,4	14,7	14,9
Median links	65,7	41,7	26,5	19,4	14,4	14,9
Median rechts	61,0	36,3	25,0	29,5	28,1	22,1
1. Quartile gesamt	60,3	37,8	24,1	12,6	13,1	8,5
1. Quartile links	61,0	38,8	24,2	13,4	12,4	7,6
1. Quartile rechts	58,5	34,0	24,1	14,5	16,6	10,8
3. Quartile gesamt	67,8	43,0	28,0	28,3	26,1	24,1
3. Quartile links	68,9	43,0	28,3	25,2	22,2	22,0
3. Quartile rechts	66,0	38,1	25,9	31,4	30,4	32,0

Tab. 2: Mittelwerte und Mediane

Die Tabelle zeigt die Mittelwerte mit den Standardabweichungen und die Mediane mit 1. und 3. Quartile für alle Messwerte gesamt und separat für die linke und rechte Seite.

Sowohl für den Bewegungsumfang mit mittig platzierter ( $p \sim 0,024$ ) als auch bei ventral platzierter Stellschraube ( $p \sim 0,029$ ) konnten im Vergleich zum Bewegungsumfang ohne Stellschraube signifikante Veränderungen festgestellt werden. Die mediane Änderung des Ausmaßes der Dorsalextension mit mittig simulierter Stellschraube betrug  $1,5^\circ$  ( $Q1 = -0,9$ ;  $Q3 = 5,4$ ), bei ventraler Simulation  $1,6^\circ$  ( $Q1 = -0,9$ ;  $Q3 = 5,6$ ).

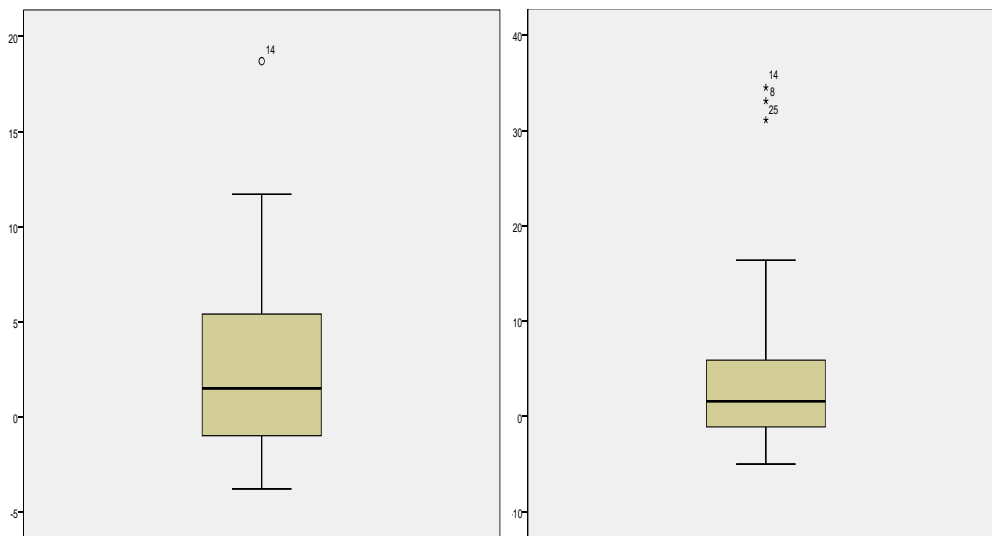


Abb. 14: Boxplot Bewegungseinschränkungen  
 Grafische Darstellung der Lage und der Streuungsmaße für die Einschränkung des Bewegungsumfanges mit Zange mittig (links) und Zange ventral (rechts)

Zwischen dem Bewegungsumfang mit Schraube in ventraler Position und mittiger Position war kein signifikanter Unterschied erkennbar ( $p \sim 0,627$ ).

Zwischen der Breite des OSG, der Tiefe der Tibia sowie der Tiefe der Fibula konnte keine Korrelation mit den Bewegungsumfängen nachgewiesen werden. Die Breite des OSG korrelierte mäßig mit der Tiefe der Tibia (Korrelationskoeffizient 0,79), sowie mit der Tiefe der Fibula (Korrelationskoeffizient 0,67). Daneben lag auch eine Korrelation zwischen der Tiefe der Tibia und der Tiefe der Fibula vor (siehe Tabelle 3).

Die Korrelationsberechnungen für die linke Seite separat ergaben ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen den anatomischen Abmessungen und dem Ausmaß des Bewegungsumfanges mit oder ohne Stellschraube. Eine Korrelation konnte sowohl zwischen der Tiefe der Tibia und der Breite des OSG, als auch zwischen der Tiefe der Fibula und der Breite des OSG nachgewiesen werden.

Für die rechte Seite konnte ein mäßiger Zusammenhang zwischen den anatomischen Abmessungen des OSG und der Dorsalextension ohne Schraube sowie mit Schraube mittig nachgewiesen werden. In dieser Messreihe waren jedoch nur sechs Präparate enthalten. Auch hier zeigte sich eine positive Korrelation zwischen den drei anatomischen Abmessungen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Resultate der Korrelationsanalysen. Abbildung 15 stellt die

Korrelation zwischen der Breite des OSG mit der Tiefe der Tibia und der Tiefe der Fibula bildlich dar.

**Korrelationstabelle (gesamt)**

	Breite oberes Sprunggelenk	Tiefe Tibia	Tiefe Fibula	Dorsalextension justiert	Dorsalextension Zange mittig justiert	Dorsalextension Zange ventral justiert
Breite oberes Sprunggelenk	1,00	0,79	0,67	-0,09	0,11	0,06
Tiefe Tibia	0,79	1,00	0,67	-0,12	-0,01	-0,04
Tiefe Fibula	0,67	0,67	1,00	-0,06	0,16	0,19
Dorsalextension justiert	-0,09	-0,12	-0,06	1,00	0,85	0,60
Dorsalextension Zange mittig justiert	0,11	-0,01	0,16	0,85	1,00	0,81
Dorsalextension Zange ventral justiert	0,06	-0,04	0,19	0,60	0,81	1,00

**Korrelationstabelle (linke Seite)**

	Breite oberes Sprunggelenk	Tiefe Tibia	Tiefe Fibula	Dorsalextension justiert	Dorsalextension Zange mittig justiert	Dorsalextension Zange ventral justiert
Breite oberes Sprunggelenk	1,00	0,78	0,63	-0,21	0,14	0,18
Tiefe Tibia	0,78	1,00	0,62	-0,19	0,12	0,04
Tiefe Fibula	0,63	0,62	1,00	-0,17	0,20	0,23
Dorsalextension justiert	-0,21	-0,19	-0,17	1,00	0,80	0,59
Dorsalextension Zange mittig justiert	0,14	0,12	0,20	0,80	1,00	0,88
Dorsalextension Zange ventral justiert	0,18	0,04	0,23	0,59	0,88	1,00

**Korrelationstabelle (rechte Seite)**

	Breite oberes Sprunggelenk	Tiefe Tibia	Tiefe Fibula	Dorsalextension justiert	Dorsalextension Zange mittig justiert	Dorsalextension Zange ventral justiert
Breite oberes Sprunggelenk	1,00	0,87	0,79	0,52	0,55	-0,14
Tiefe Tibia	0,87	1,00	0,96	0,56	0,54	0,24
Tiefe Fibula	0,79	0,96	1,00	0,67	0,67	0,38
Dorsalextension justiert	0,52	0,56	0,67	1,00	0,95	0,55
Dorsalextension Zange mittig justiert	0,55	0,54	0,67	0,95	1,00	0,54
Dorsalextension Zange ventral justiert	-0,14	0,24	0,38	0,55	0,54	1,00

Tab. 3: Korrelationsanalyse  
Korrelationskoeffizienten der einzelnen Messreihen

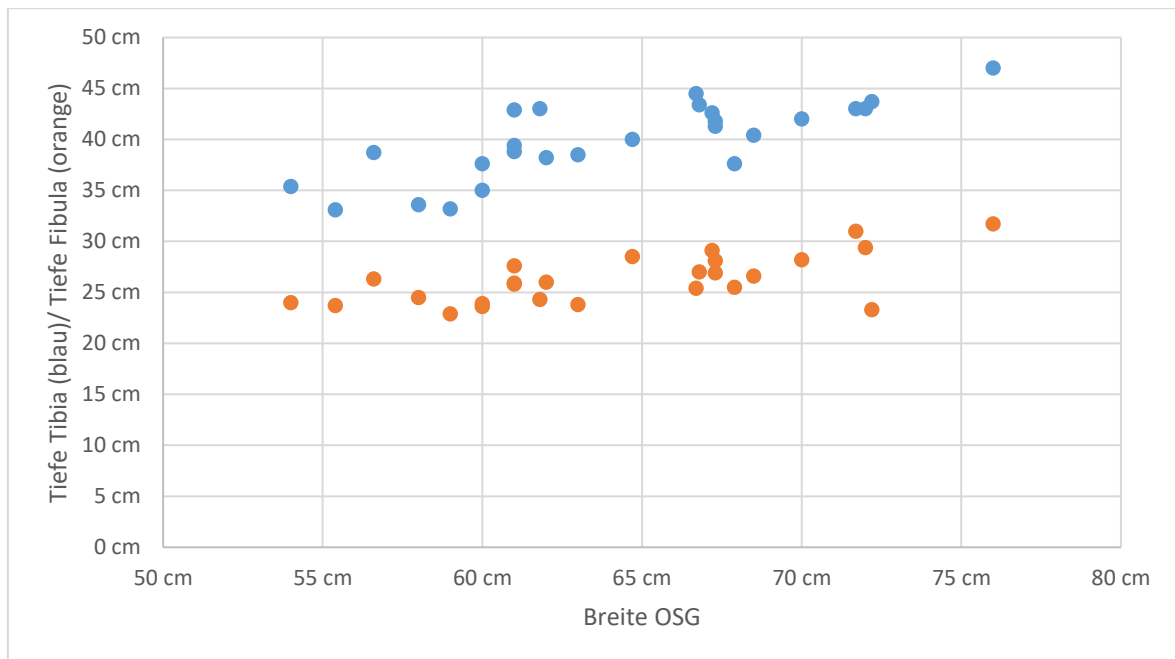


Abb. 15: Korrelation der anatomischen Parameter  
 Diese Abbildung veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den Abmessungen der Komponenten des OSG. Auf der x-Achse ist die Breite des OSG in Zentimetern aufgetragen. Die y-Achse beschreibt die Tiefe der Tibia (in Blau) und der Fibula (in Orange) jeweils in Zentimetern.

## 4 Diskussion

Im Rahmen der operativen Versorgung von Syndesmosenverletzungen kommt es häufig zu unzufriedenstellenden Repositionsergebnissen. (23) Mukhopadhyay et al. zeigten in einer Studie, dass auch nach der operativen Stabilisierung der Syndesmose in 42% der Fälle eine Diastase im Vergleich zum unverletzten Knöchel zurückblieb. (24) Ovaska et al. lokalisierten Fehler bei der Reposition der Syndesmose als einen der Hauptgründe für eine frühe Revisions-Operation nach einer Sprunggelenksfraktur (59% der Fälle). (25)

Im Rahmen dieser Studie wurde anhand von 26 anatomischen Präparaten die Bewegungseinschränkung im OSG durch Simulation einer Stellschraubenimplantation mittels Kompressionszange analysiert. Die zugrundeliegende Hypothese ging davon aus, dass durch die Kompression der Zange die physiologische Sprunggelenksbreite verringert wird und es somit zu einer Bewegungseinschränkung im OSG kommt. Dies würde sich aufgrund der Anatomie des Talus besonders auf die Dorsalextension auswirken.

Insgesamt konnte in unseren Untersuchungen an beiden fibularen Positionen (mittig und ventral) eine signifikante Bewegungseinschränkung der

Dorsalextension durch die Kompressionszange beobachtet werden. Hinsichtlich der Bewegungseinschränkung bei mittig versus ventral platzierter Zange konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ( $1,5^\circ$  versus  $1,6^\circ$ ).

Die Auswirkung der Zange auf den Bewegungsumfang variierte stark. In manchen Fällen kam es zu einer starken Einschränkung (Maximum mittig:  $18,7^\circ$ , Maximum ventral:  $34,5^\circ$ ). Bei anderen Präparaten war eine geringe Zunahme des Bewegungsumfanges messbar. Dies trat bei mittig angebrachter Zange häufiger auf, als in ventraler Zangenposition (mittig:  $n=10$ , ventral:  $n=8$ ). Aus den erhobenen Daten konnte keine sinnvolle Erklärung dafür gefunden werden. Eine vage Theorie wäre, dass durch das kräftige Anlegen der Repositionszange die Fibula in eine von distal nach cranial im Winkel schräg nach medial verlaufende Inzisur gedrückt wird, damit die Fibula bogig gespannt und die Malleolengabel unterhalb der Inzisur minimal erweitert wird.

In der Literatur finden sich einige Studien über die Auswirkung verschiedener Platzierungen der Repositionszange.

Miller et al. untersuchten in einer anatomischen Studie die Auswirkung verschiedener posteriorer tibialer Zangenpositionen auf das Repositionsergebnis. Sie fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Position der Zange und dem Fehlrepositions-Muster, wobei eine posteriore Positionierung der Zangenspitze an der Tibia mit Überkompression und Außenrotation der distalen Fibula assoziiert war. (26)

Auch Cosgrove et al. fanden 2017 in einer Studie an 72 PatientInnen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Position der medialen Zangenspitze und einer Fehlreposition in der sagittalen Ebene. Eine signifikante Auswirkung der tibialen Zangenposition auf Über- oder Unterkompression wurde nicht beobachtet. Basierend auf ihren Ergebnissen, empfehlen sie eine Platzierung im anterioren Drittel des Innenknöchels. (27)

Im darauffolgenden Jahr publizierte dieselbe Forschungsgruppe im Rahmen einer anatomischen Studie eine Methode zur Planung der optimalen Zangen-Positionierung mittels CT. Jegliche Abweichung von der sogenannten „transsyndesmatischen Achse“ (TSA) führte zu Fehlrepositionen der distalen Fibula. Außerdem resultierte die Verwendung einer Repositionszange im

Vergleich zu manueller Reposition in einer höheren Rate an Überkompressionen.  
(28)

Auch Putnam et al. und Kennedy et al. publizierten Arbeiten, die die optimale Zangenpositionierung entlang der TSA bestätigten. (29,30)

Phisitkul et al. kamen zum Ergebnis, dass eine Reposition entlang der anatomischen Achse zu den besten Ergebnissen führt, wobei dennoch häufig Überkompressionen beobachtet wurden. (31)

LaMothe et al. untersuchten die Änderung der Kräfteverteilung und Auflagefläche im Bereich des Tibiaplafonds nach Syndesmosenverletzung an zehn unteren Extremitäten. Die Ergebnisse dieser anatomischen Studie legen nahe, dass die manuelle Repositionstechnik sowohl der Reposition mit Zange als auch der Suture-Button-Konstruktion in Hinblick auf das Repositionsergebnis überlegen war. Keine der drei Methoden konnte jedoch physiologische Verhältnisse wiederherstellen. (32)

In einer klinischen Studie an 85 PatientInnen zeigten Park et al., dass durch eine Reposition mittels Zange vergleichbare Ergebnisse wie bei manueller Reposition erzielt werden konnten. (33)

Mit dem Wissen um die Problematik, die eine Zangenreposition mit sich bringt, publizierten Shur et al. eine Methode der Reposition, die ohne Repositionszange auskommt. Sie verwendeten eine Kombination aus Fibula-Platte und Zugschraube und ersetzten die Zugschraube schlussendlich durch eine zweite Stellschraube.  
(34)

Die Auswirkung unterschiedlicher Positionierungen der Zange an der Fibula wurde bisher noch nicht untersucht. Es wurde in der vorliegenden Studie angenommen, dass eine ventral der Syndesmosenachse an der Fibula angebrachte Zangenspitze, bei gleichbleibender Position an der Tibia, zu einer stärkeren Medialisierung der distalen Fibula führt. Dies hätte zur Folge, dass das Durchgleiten des breiteren anterioren Anteils des Talus durch die Malleolengabel zusätzlich behindert würde. Diese Annahme bestätigte sich in unseren Ergebnissen jedoch nicht. Auffällig war dennoch, dass es bei ventraler Position vereinzelt zu starken Bewegungseinschränkungen über 30° kam (n=3; 12%), während bei mittlerer Positionierung eine Einschränkung von 20° in keinem Fall überschritten wurde. Einen starken Hinweis auf die bewegungseinschränkende

Wirkung der Repositionszange lieferten vor allem jene Fälle, bei denen die Dorsalextension derart stark beeinträchtigt war, dass eine Rückführung in Normalposition nicht mehr möglich war. Dies ließ sich bei ventraler Klemmenposition (viermal) öfter beobachten als bei mittiger (einmal).

Eine Einschränkung der Beweglichkeit im OSG nach Stellschraubenimplantation wurde in der Literatur vielfach beschrieben.

Dies konnte sowohl in klinischen Studien (35), biomechanischen Computersimulationen (36) als auch in anatomischen Studien (37–40) gezeigt werden. Über die Ursache dieser Bewegungseinschränkung herrscht jedoch Uneinigkeit. Dem gegenüber finden sich auch Studien, die keine Bewegungseinschränkung nachweisen konnten. (41,42)

Obwohl umfassende Literatur vorliegt, sind viele Aspekte in Bezug auf das Thema der Stellschraubenimplantation nach wie vor Gegenstand von Diskussionen.

Mit der Indikationsstellung (43), OP-Technik (39,44–57), Implantat-Wahl (58–65), postoperativem Vorgehen und hier insbesondere der Implantat-Entfernung (9,36–38,41,42,66–74) haben sich in der Vergangenheit viele Forschungsgruppen befasst.

Magan et al. erhoben im Rahmen eines Reviews, dass sowohl im Bereich der Indikationsstellung, der Größe, Anzahl und des Materials der Schrauben, sowie deren Platzierung in Relation zum Tibiaplafond Kontroversen vorliegen. Daneben gibt es keine eindeutige Empfehlung, wie viele tibiale Cortices zur Stabilisierung herangezogen werden sollen. Auch bezüglich der Nachbehandlung, im Speziellen der Dauer der Entlastung sowie der optimalen Zeit, für die die Stellschraube belassen wird, gibt es keine eindeutigen Empfehlungen. (75)

Konsens herrscht jedoch darüber, dass es häufig zu Fehlrepositionen kommt, sowie dass eine unerkannte oder unbehandelte Syndesmosenverletzung in Schmerzen und Arthrose resultiert. Weiters scheint eine Versorgung mit zwei Stellschrauben einer einzelnen überlegen zu sein. Eine routinemäßige Entfernung der Schraube/n wird in den meisten Studien nicht für notwendig befunden. (75)

Besonders in den letzten Jahren wurde vermehrt in Betracht gezogen, dass es bei der Stellschrauben-Implantation zu einer zu starken Kompression kommen kann. Bereits 2008 veröffentlichte Rupp einen Case-Report, in dem er darüber berichtet, dass ein Patient nach der Versorgung mit einer Stellschraube unter einer

eingeschränkten Dorsalextension litt. Nach Entfernung der Schraube erlangte der Patient seinen gesamten Range of Motion (ROM) wieder. (76)

2015 publizierten Cherney et al. eine prospektive klinische Studie, die zu dem Ergebnis kam, dass die operierten Extremitäten im Vergleich zur gesunden Seite eine durchschnittliche Überkompression von einem Millimeter aufwiesen. (77)

Haynes et al. zeigten 2016 in einer ebenfalls prospektiven klinischen Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen erhöhtem Repositionszangen-Druck und einer übermäßigen Kompression der Syndesmose. Bei durchschnittlich 163 Newton kam es zu einer Überkompression, als Wert für eine gute Kompression stellten sich im Mittel 130 Newton heraus. Bis zu diesem Zeitpunkt lagen keine Studien hinsichtlich des Einflusses der Überkompression auf das funktionelle Outcome vor. Haynes et al. vermuteten jedoch, dass die übermäßige Medialisierung der Fibula zu einer Einschränkung der physiologischen Beweglichkeit des Sprunggelenks, zu einem schlechteren funktionellen sowie subjektiven Outcome führen kann, und möglicherweise eine Rolle in der Ausbildung einer frühen Arthrose spielt. (78)

Schon et al. beschrieben 2017 in einer anatomischen Studie in 24 von 24 untersuchten Fällen eine Überkompression, welche jedoch den ROM der Extremitäten nicht einschränkte. Sie schlossen daraus, dass die Position des Fußes bei der Stabilisierung keinen Einfluss auf die spätere Beweglichkeit hat. In dieser Studie wurde allerdings keine starre Schraube zur Stabilisierung verwendet, sondern ein Suture-Button-Konstrukt. (79)

Mahapatra et al. publizierten 2018 einen Case-Report, bei dem es bei einer Patientin trotz radiologisch guter Stabilisierung der Fibula in der Inzisur zu einer Subluxation des Talus kam. Erst durch Lockerung der Stellschraube konnte sich der Talus korrekt in der Sprunggelenksgabel einstellen. Gemäß den Autoren war die Subluxation auf eine Überkompression zurückzuführen, weshalb besonders bei der Verwendung einer Zugschrauben-Technik Vorsicht angebracht sei. (80)

Boszczyk et al. beschrieben 2018 in einer anatomischen Studie einen Zusammenhang zwischen der individuellen Anatomie der Inzisur und dem Fehlrepositions muster. Demnach kommt es bei einer tiefen Inzisur oder einer mangelhaften Einpassung der Fibula in die Inzisur eher zu einer Überkompression. Eine nach vorn gewandte Inzisur war eher anfällig für eine

anteriore Fehlreposition, eine nach hinten gewandte Inzisur eher für eine posteriore Verschiebung. (81)

Die Verwendung von metallischen Stellschrauben ist nach wie vor Goldstandard, es werden jedoch verschiedene alternative Stabilisationsmethoden beschrieben. Besonders die Suture-Button-Methode findet sich häufig in der Literatur, eine Technik bei der die Syndesmose durch eine feste Naht stabilisiert und durch Widerlager aus zwei metallischen Knöpfen an den Knöcheln fixiert wird. (82) Einige Studien konnten zeigen, dass diese Technik zumindest gleich gute Ergebnisse liefert wie die Stellschraube (83–86), Clanton et al. postulierten, für ausreichend Stabilität seien zwei solcher Konstrukte notwendig. (87) Andere Studien kamen jedoch zum Schluss, dass die Suture-Button-Technik bessere Ergebnisse liefert als die Stellschraube (82,88–90) und sich besonders durch einen schnellere Rückkehr ins Berufsleben auszeichnet. (82,84,86)

Weiters finden sich in der Literatur Studien, die darlegen, dass eine reine Naht der Syndesmose zur Stabilisierung ebenfalls ausreichend sein kann. (91–94)

Xian et al. beschrieben 2018 die von ihnen entwickelte sogenannte „Elastic Hook-Plate“. Dieses Implantat zeichnet sich laut den Autoren durch eine niedrige Komplikationsrate und eine frühzeitige Wiederaufnahme der beruflichen Tätigkeit aus. (95)

Die Literatur liefert keine klare Empfehlung zu einem bestimmten Vorgehen. Einige Autoren kommen jedoch zum Schluss, dass die anatomische Reposition, unabhängig von der angewandten Technik, der wichtigste ausschlaggebender Faktor für das Outcome ist. (10,11,88)

Die durch das Anbringen einer Repositionszange ausgelöste Kompression der Syndesmose führte in unseren Versuchen zu einer signifikanten Einschränkung der Dorsalextension.

Anhand unserer Ergebnisse können wir schlussfolgern, dass die Kompression der Syndesmose bei Einbringen der Stellschraube weitgehend gering gehalten werden sollte.

Eine möglichst kompressionsarme Methode wurde 2013 von Needleman beschrieben. Im Rahmen der sogenannten „glide path“ Technik wird die Fibula zunächst manuell reponiert. Anschließend wird das Repositionsergebnis durch

Einbringen eines K-Drahtes parallel zur Achse des OSG gesichert. Dadurch wird eine Dislokation der Fibula nach anterior oder posterior verhindert, ein Auseinandergleiten entlang des Drahtes bleibt möglich. Eine Repositionszange wird nun verwendet, um die Fibula der Tibia auf einen Millimeter anzunähern. In dieser Position wird nun eine Stellschraube oder ein Suture-Button eingebracht. (96)

Weiters konnte mit unserer Studie bewiesen werden, dass ein Einbringen in Plantarflexion ungünstig ist, da die Sprunggelenke teilweise in einer Spitzfußstellung verblieben.

Ob die Lagerung des OSG in Dorsalextension von Vorteil ist, bleibt umstritten. (39,97) Angesichts der Anatomie des Talus lässt sich jedoch eine maximale Weitstellung der Syndesmose in der Dorsalextension erwarten. Eine Kombination der oben beschriebenen Technik von Needleman und einer Lagerung in Dorsalextension könnte zu einem kompressionsarmen Ergebnis ohne wesentliche Bewegungseinschränkung führen.

Wird durch die jeweilige Methode der Stellschraubenimplantation eine Kompression der Syndesmose in Kauf genommen, sollte eine übermäßige Dorsalextension des OSG durch Gipsruhigstellung verhindert werden.

Die Stärken dieser Studie liegen einerseits im Studiendesign einer anatomischen Studie bei einer Fallzahl von 26 unteren Extremitäten sowie in der Verwendung der oben genannten Apparatur, welche exakte und reproduzierbare Messungen an den Präparaten ermöglichte. Durch die vorangegangene Entfernung der Weichteile konnte ein Einfluss derselben auf die Messergebnisse ausgeschlossen werden. Die Messungen wurden von zwei unabhängigen Untersuchern durchgeführt, wodurch das Risiko für Messfehler reduziert wurde.

Das fehlende Ausmessen der Gabelbreite nach Kompression mit der Zange sowie die nicht erfolgte Messung der dabei aufgewendeten Kraft zwischen den Spitzen der Kompressionszange auf die Sprunggelenksgabel können als Limitationen genannt werden.

Daneben hätten weitere Messserien mit der Zange, angebracht in Neutralstellung und Dorsalextension, zusätzliche Informationen über den Stellenwert der Lagerung des Fußes bei Stellschraubenimplantation liefern können.

In jedem Fall sind weitere klinischen Studien notwendig um das oben beschriebene Vorgehen in Vivo zu evaluieren.

Weitere Studien mit einer höheren Fallzahl sind notwendig, um einen möglichen Unterschied zwischen ventraler und mittiger Zangenpositionierung an der Fibula signifikant zu belegen.

#### **4.1 Conclusio**

In der hier vorgelegten anatomischen Studie konnte gezeigt werden, dass eine Kompression der Sprunggelenksgabel bei Stellschraubenimplantation zu einer signifikanten Bewegungseinschränkung im OSG führt.

In der Literatur wird die Thematik der Stellschraubenimplantation in vielen Bereichen, bislang auch bezüglich einer Bewegungseinschränkung, kontrovers diskutiert. Es geht jedoch weitgehend klar hervor, dass eine anatomische und kompressionsfreie Stabilisierung anzustreben ist.

Kompressionsarme Techniken, unter anderem wie oben beschrieben, könnten einen entscheidenden Beitrag zu einem besseren Outcome liefern. Unabhängig von der Technik sollte von dem/ der ChirurgIn darauf geachtet werden, die Kompression durch die Zange möglichst gering zu halten, um Bewegungseinschränkungen zu vermeiden.

## Literaturverzeichnis

1. Rammelt S, Grass R, Zwipp H. Sprunggelenkfrakturen. Unfallchirurg. 2008 Jun 5;111(6):421–38.
2. Scharf H-P, Anagnostakos K. Orthopädie und Unfallchirurgie : Facharztwissen nach der neuen Weiterbildungsordnung. Elsevier; 2009. 962 p.
3. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. Prometheus LernAtlas der Anatomie - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 3., überar. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2011.
4. Grass R, Biewener A, Rammelt S, Zwipp H. Frakturen des oberen Sprunggelenks Klassifikation und operative Standardversorgung. Trauma und Berufskrankheit. 2003 Mar 1;5:s272–6.
5. Grass R, Herzmann K, Biewener A, Zwipp H. Verletzungen der unteren tibiofibularen Syndesmose. Unfallchirurg. 2000 Jul 3;103(7):520–32.
6. Schepers T, Van Lieshout EMM, Van der Linden HJP, De Jong VM, Goslings JC. Aftercare Following Syndesmotic Screw Placement: A Systematic Review. J Foot Ankle Surg. 2013 Jul;52(4):491–4.
7. Sinisaari IP, Lühthje PMJ, Mikkonen RHM. Ruptured Tibio-fibular Syndesmosis: Comparison Study of Metallic to Bioabsorbable Fixation. Foot Ankle Int. 2002 Aug;23(8):744–8.
8. De Vil J, Bonte F, Claes H, Bongaerts W, Verstraete K, Verdonk R. Bolt fixation for syndesmotic injuries. Injury. 2009 Nov;40(11):1176–9.
9. Manjoo A, Sanders DW, Tieszer C, MacLeod MD. Functional and Radiographic Results of Patients with Syndesmotic Screw Fixation: Implications for Screw Removal. J Orthop Trauma. 2010 Jan;24(1):2–6.
10. Weening B, Bhandari M. Predictors of functional outcome following transsyndesmotic screw fixation of ankle fractures. J Orthop Trauma. 2005 Feb;19(2):102–8.
11. Sagi HC, Shah AR, Sanders RW. The Functional Consequence of Syndesmotic Joint Malreduction at a Minimum 2-Year Follow-Up. J Orthop Trauma. 2012 Jul;26(7):439–43.
12. Egol KA, Pahk B, Walsh M, Tejwani NC, Davidovitch RI, Koval KJ. Outcome after Unstable Ankle Fracture: Effect of Syndesmotic Stabilization. J Orthop Trauma. 2010 Jan;24(1):7–11.

13. Streicher J, Pretterklieber ML. 4 Bewegungsapparat. 4.4 Untere Extremität, Membrum inferius. In: Waldeyer A, Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. *Waldeyer - Anatomie des Menschen*. 19th ed. Berlin, Boston: DE GRUYTER; 2012. p. 295–426.
14. Gray H, Lewis WH. *Anatomy of the human body*. 20th ed. Philadelphia,: Lea & Febiger; 1-1396 p.
15. Debrunner HU, Jacob HAC. *Biomechanik des Fusses*. 2nd ed. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag; 1998.
16. Hafferl A. *Lehrbuch der Topographischen Anatomie*. Thiel W, editor. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1969.
17. Kummer B. *Biomechanik : Form und Funktion des Bewegungsapparates : mit 3 Tabellen*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH; 2004.
18. Malleolar Segment. *J Orthop Trauma*. 2018 Jan;32:S65–70.
19. Weigel B, Nerlich ML, editors. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011.
20. Rammelt S, Zwipp H, Grass R. Sprunggelenkfrakturen: operative Technik. *Unfallchirurg*. 2008 Jun 5;111(6):439–47.
21. Zenker H, Nerlich M. Prognostic aspects in operated ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1982 Dec;100(4):237–41.
22. Thiel W. Ergänzung für die Konservierung ganzer Leichen nach W. Thiel. *Ann Anat - Anat Anzeiger*. 2002 May;184(3):267–9.
23. Gardner MJ, Demetrakopoulos D, Briggs SM, Helfet DL, Lorich DG. Malreduction of the Tibiofibular Syndesmosis in Ankle Fractures. *Foot Ankle Int*. 2006 Oct 28;27(10):788–92.
24. Mukhopadhyay S, Metcalfe A, Guha AR, Mohanty K, Hemmadi S, Lyons K, et al. Malreduction of syndesmosis—Are we considering the anatomical variation? *Injury*. 2011 Oct;42(10):1073–6.
25. Ovaska MT, Mäkinen TJ, Madanat R, Kiljunen V, Lindahl J. A comprehensive analysis of patients with malreduced ankle fractures undergoing re-operation. *Int Orthop*. 2014 Jan 20;38(1):83–8.
26. Miller AN, Barei DP, Iaquineto JM, Ledoux WR, Beingsner DM. Iatrogenic Syndesmosis Malreduction via Clamp and Screw Placement. *J Orthop Trauma*. 2013 Feb;27(2):100–6.
27. Cosgrove CT, Putnam SM, Cherney SM, Ricci WM, Spraggs-Hughes A,

- McAndrew CM, et al. Medial Clamp Tine Positioning Affects Ankle Syndesmosis Malreduction. *J Orthop Trauma*. 2017 Aug;31(8):440–6.
28. Cosgrove CT, Spraggs-Hughes AG, Putnam SM, Ricci WM, Miller AN, McAndrew CM, et al. A Novel Indirect Reduction Technique in Ankle Syndesmotic Injuries. *J Orthop Trauma*. 2018 Jul;32(7):361–7.
29. Putnam SM, Linn MS, Spraggs-Hughes A, McAndrew CM, Ricci WM, Gardner MJ. Simulating clamp placement across the trans-syndesmotic angle of the ankle to minimize malreduction: A radiological study. *Injury*. 2017 Mar;48(3):770–5.
30. Kennedy MT, Carmody O, Leong S, Kennedy C, Dolan M. A computed tomography evaluation of two hundred normal ankles, to ascertain what anatomical landmarks to use when compressing or placing an ankle syndesmosis screw. *Foot*. 2014 Dec;24(4):157–60.
31. Phisitkul P, Ebinger T, Goetz J, Vaseenon T, Marsh JL. Forceps Reduction of the Syndesmosis in Rotational Ankle Fractures. *J Bone Jt Surgery-American Vol*. 2012 Dec;94(24):2256–61.
32. LaMothe J, Baxter JR, Gilbert S, Murphy CI, Karnovsky SC, Drakos MC. Effect of Complete Syndesmotic Disruption and Deltoid Injuries and Different Reduction Methods on Ankle Joint Contact Mechanics. *Foot Ankle Int*. 2017 Jun 15;38(6):694–700.
33. Park YH, Ahn JH, Choi GW, Kim HJ. Comparison of Clamp Reduction and Manual Reduction of Syndesmosis in Rotational Ankle Fractures: A Prospective Randomized Trial. *J Foot Ankle Surg*. 2018 Jan;57(1):19–22.
34. Shur VB, Georgiev KG, Richards JJ. Internal Compression Screw Exchange for Reduction of Distal Tibiofibular Syndesmotic Injuries. Harwin SF, editor. *Orthopedics*. 2016 Mar 1;39(2):e377–9.
35. Miller AN, Paul O, Boraiah S, Parker RJ, Helfet DL, Lorich DG. Functional Outcomes After Syndesmotic Screw Fixation and Removal. *J Orthop Trauma*. 2010 Jan;24(1):12–6.
36. Liu Q, Zhang K, Zhuang Y, Li Z, Yu B, Pei G. Analysis of the Stress and Displacement Distribution of Inferior Tibiofibular Syndesmosis Injuries Repaired with Screw Fixation: A Finite Element Study. *PLoS One*. 2013 Dec 3;8(12):e80236.
37. Huber T, Schmoelz W, Bölderl A. Motion of the fibula relative to the tibia and

- its alterations with syndesmosis screws: A cadaver study. *Foot Ankle Surg.* 2012 Sep;18(3):203–9.
38. Needleman RL, Skrade DA, Stiehl JB. Effect of the Syndesmotic Screw on Ankle Motion. *Foot Ankle.* 1989 Aug 30;10(1):17–24.
  39. Olerud C. The effect of the syndesmotic screw on the extension capacity of the ankle joint. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1985;104(5):299–302.
  40. Liu Q, Zhao G, Yu B, Ma J, Li Z, Zhang K. Effects of inferior tibiofibular syndesmosis injury and screw stabilization on motion of the ankle: a finite element study. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2016 Apr 19;24(4):1228–35.
  41. Hamid N, Loeffler BJ, Braddy W, Kellam JF, Cohen BE, Bosse MJ. Outcome after fixation of ankle fractures with an injury to the syndesmosis: THE EFFECT OF THE SYNDESMOSIS SCREW. *J Bone Jt Surg - Br Vol.* 2009 Aug 1;91-B(8):1069–73.
  42. Tucker A, Street J, Kealey D, McDonald S, Stevenson M. Functional outcomes following syndesmotic fixation: A comparison of screws retained in situ versus routine removal – Is it really necessary? *Injury.* 2013 Dec;44(12):1880–4.
  43. Beumer A, Valstar ER, Garling EH, Niesing R, Ginai AZ, Ranstam J, et al. Effects of ligament sectioning on the kinematics of the distal tibiofibular syndesmosis: A radiostereometric study of 10 cadaveric specimens based on presumed trauma mechanisms with suggestions for treatment. *Acta Orthop.* 2006 Jan 8;77(3):531–40.
  44. Pallis MP, Pressman DN, Heida K, Nicholson T, Ishikawa S. Effect of Ankle Position on Tibiotalar Motion With Screw Fixation of the Distal Tibiofibular Syndesmosis in a Fracture Model. *Foot Ankle Int.* 2018 Jun 30;39(6):746–50.
  45. Bragonzoni L, Russo A, Girolami M, Albisinni U, Visani A, Mazzotti N, et al. The distal tibiofibular syndesmosis during passive foot flexion. RSA-based study on intact, ligament injured and screw fixed cadaver specimens. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2006 Jul 28;126(5):304–8.
  46. Kukreti S, Faraj A, Miles JNV. Does position of syndesmotic screw affect functional and radiological outcome in ankle fractures? *Injury.* 2005 Sep;36(9):1121–4.

47. McBryde A, Chiasson B, Wilhelm A, Donovan F, Ray T, Bacilla P. Syndesmotic Screw Placement: A Biomechanical Analysis. *Foot Ankle Int.* 1997 May 17;18(5):262–6.
48. Kaye RA. Stabilization of ankle syndesmosis injuries with a syndesmosis screw. *Foot Ankle.* 1989 Jun;9(6):290–3.
49. Verim O, Serhan Er M, Altinel L, Tasgetiren S. Biomechanical Evaluation of Syndesmotic Screw Position. *J Orthop Trauma.* 2014 Apr;28(4):210–5.
50. Park YH, Choi WS, Choi GW, Kim HJ. Ideal angle of syndesmotic screw fixation: A CT-based cross-sectional image analysis study. *Injury.* 2017 Nov;48(11):2602–5.
51. Gardner MJ, Graves ML, Higgins TF, Nork SE. Technical Considerations in the Treatment of Syndesmotic Injuries Associated With Ankle Fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015 Aug;23(8):510–8.
52. Schepers T, van der Linden H, van Lieshout EMM, Niesten D-D, van der Elst M. Technical aspects of the syndesmotic screw and their effect on functional outcome following acute distal tibiofibular syndesmosis injury. *Injury.* 2014 Apr;45(4):775–9.
53. Schepers T, van Zuuren WJ, van den Bekerom MPJ, Vogels LMM, van Lieshout EMM. The management of acute distal tibio-fibular syndesmotic injuries: Results of a nationwide survey. *Injury.* 2012 Oct;43(10):1718–23.
54. Fanter NJ, Inouye SE, McBryde AM. Safety of Ankle Trans-Syndesmotic Fixation. *Foot Ankle Int.* 2010 May;31(5):433–40.
55. Monga P, Kumar A, Simons A, Panikker V. Management of distal tibio-fibular syndesmotic injuries: a snapshot of current practice. *Acta Orthop Belg.* 2008 Jun;74(3):365–9.
56. Nousiainen MT, McConnell AJ, Zdero R, McKee MD, Bhandari M, Schemitsch EH. The Influence of the Number of Cortices of Screw Purchase and Ankle Position in Weber C Ankle Fracture Fixation. *J Orthop Trauma.* 2008 Aug;22(7):473–8.
57. Moore JA, Shank JR, Morgan SJ, Smith WR. Syndesmosis Fixation: A Comparison of Three and Four Cortices of Screw Fixation Without Hardware Removal. *Foot Ankle Int.* 2006 Aug 28;27(8):567–72.
58. Høiness P, Strømsøe K. Tricortical versus quadricortical syndesmosis fixation in ankle fractures: a prospective, randomized study comparing two

- methods of syndesmosis fixation. *J Orthop Trauma*. 2004 Jul;18(6):331–7.
59. Miller SD, Carls RJ. The bioresorbable syndesmotic screw: application of polymer technology in ankle fractures. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2002 Jan;31(1 Suppl):18–21.
60. Thordarson DB, Samuelson M, Shepherd LE, Merkle PF, Lee J. Bioabsorbable Versus Stainless Steel Screw Fixation of the Syndesmosis in Pronation-Lateral Rotation Ankle Fractures: A Prospective Randomized Trial. *Foot Ankle Int*. 2001 Apr 28;22(4):335–8.
61. Thompson MC, Gesink DS. Biomechanical Comparison of Syndesmosis Fixation with 3.5- and 4.5-millimeter Stainless Steel Screws. *Foot Ankle Int*. 2000 Sep 28;21(9):736–41.
62. van den Bekerom MPJ, Kloen P, Luitse JSK, Raaymakers ELFB. Complications of Distal Tibiofibular Syndesmotic Screw Stabilization: Analysis of 236 Patients. *J Foot Ankle Surg*. 2013 Jul;52(4):456–9.
63. Wikerøy AKB, Høiness PR, Andreassen GS, Hellund JC, Madsen JE. No Difference in Functional and Radiographic Results 8.4 Years After Quadricortical Compared With Tricortical Syndesmosis Fixation in Ankle Fractures. *J Orthop Trauma*. 2010 Jan;24(1):17–23.
64. Er MS, Verim O, Eroglu M, Altinel L, Gokce B, Tasgetiren S. Biomechanical Evaluation of Syndesmotic Screw Design via Finite Element Analysis and Taguchi's Method. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2015 Jan;105(1):14–21.
65. Markolf KL, Jackson SR, McAllister DR. Syndesmosis Fixation Using Dual 3.5 mm and 4.5 mm Screws With Tricortical and Quadricortical Purchase. *Foot Ankle Int*. 2013 May 12;34(5):734–9.
66. Gennis E, Koenig S, Rodericks D, Otlans P, Tornetta P. The Fate of the Fixed Syndesmosis Over Time. *Foot Ankle Int*. 2015 Oct 3;36(10):1202–8.
67. Boyle MJ, Gao R, Frampton CMA, Coleman B. Removal of the syndesmotic screw after the surgical treatment of a fracture of the ankle in adult patients does not affect one-year outcomes. *Bone Joint J*. 2014 Dec;96–B(12):1699–705.
68. Hsu Y-T, Wu C-C, Lee W-C, Fan K-F, Tseng I-C, Lee P-C. Surgical treatment of syndesmotic diastasis: emphasis on effect of syndesmotic screw on ankle function. *Int Orthop*. 2011 Mar 11;35(3):359–64.
69. Schepers T, Van Lieshout EMM, de Vries MR, Van der Elst M.

- Complications of Syndesmotic Screw Removal. *Foot Ankle Int.* 2011 Nov;32(11):1040–4.
70. Bell DP, Wong MK. Syndesmotic screw fixation in Weber C ankle injuries—should the screw be removed before weight bearing? *Injury.* 2006 Sep;37(9):891–8.
71. Beumer A, Campo MM, Niesing R, Day J, Kleinrensink G-J, Swierstra BA. Screw fixation of the syndesmosis: a cadaver model comparing stainless steel and titanium screws and three and four cortical fixation. *Injury.* 2005 Jan;36(1):60–4.
72. Kołodziej Ł, Kaczmarczyk M, Bohatyrewicz A, Budzyński T. [Does removal of the syndesmotic screw improve clinical results of operative treatment of ankle fractures with concomitant syndesmosis injury?]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.* 75(3):143–6.
73. Heck JM de L, Guareschi Junior R, Silva LCA da, Guerra MTE. Supination-external rotation ankle fractures: analysis of clinical results after syndesmotic screw removal. *Rev Bras Ortop (English Ed.)* 2017 Nov;52(6):658–62.
74. Kaftandziev I, Spasov M, Trpeski S, Zafirova-Ivanovska B, Bakota B. Fate of the syndesmotic screw—Search for a prudent solution. *Injury.* 2015 Nov;46:S125–9.
75. Magan A, Golano P, Maffulli N, Khanduja V. Evaluation and management of injuries of the tibiofibular syndesmosis. *Br Med Bull.* 2014 Sep 1;111(1):101–15.
76. Rupp RE. Overcompression of the syndesmosis during ankle fracture fixation: a case report. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2008 May;37(5):259–61.
77. Cherney SM, Haynes JA, Spraggs-Hughes AG, McAndrew CM, Ricci WM, Gardner MJ. In Vivo Syndesmotic Overcompression After Fixation of Ankle Fractures With a Syndesmotic Injury. *J Orthop Trauma.* 2015 Sep;29(9):414–9.
78. Haynes J, Cherney S, Spraggs-Hughes A, McAndrew CM, Ricci WM, Gardner MJ. Increased Reduction Clamp Force Associated With Syndesmotic Overcompression. *Foot Ankle Int.* 2016 Jul 25;37(7):722–9.
79. Schon JM, Mikula JD, Backus JD, Venderley MB, Dornan GJ, LaPrade RF, et al. 3D Model Analysis of Ankle Flexion on Anatomic Reduction of a

- Syndesmotic Injury. *Foot Ankle Int.* 2017 Apr 7;38(4):436–42.
80. Mahapatra P, Rudge B, Whittingham-Jones P. Is It Possible to Overcompress the Syndesmosis? *J Foot Ankle Surg.* 2018 Mar;57(5):1005–9.
  81. Boszczyk A, Kwapisz S, Krümmel M, Grass R, Rammelt S. Correlation of Incisura Anatomy With Syndesmotic Malreduction. *Foot Ankle Int.* 2018 Mar 18;39(3):369–75.
  82. Thornes B, Shannon F, Guiney A-M, Hession P, Masterson E. Suture-button syndesmosis fixation: accelerated rehabilitation and improved outcomes. *Clin Orthop Relat Res.* 2005 Feb;(431):207–12.
  83. Thornes B, Walsh A, Hislop M, Murray P, O'Brien M. Suture-Endobutton Fixation of Ankle Tibio-Fibular Diastasis: A Cadaver Study. *Foot Ankle Int.* 2003 Feb 28;24(2):142–6.
  84. Schepers T. Acute distal tibiofibular syndesmosis injury: a systematic review of suture-button versus syndesmotic screw repair. *Int Orthop.* 2012 Jun 9;36(6):1199–206.
  85. Kortekangas T, Savola O, Flinkkilä T, Lepojärvi S, Nortunen S, Ohtonen P, et al. A prospective randomised study comparing TightRope and syndesmotic screw fixation for accuracy and maintenance of syndesmotic reduction assessed with bilateral computed tomography. *Injury.* 2015 Jun;46(6):1119–26.
  86. Chen B, Chen C, Yang Z, Huang P, Dong H, Zeng Z. To compare the efficacy between fixation with tightrope and screw in the treatment of syndesmotic injuries: A meta-analysis. *Foot Ankle Surg.* 2017 Aug;
  87. Clanton TO, Whitlow SR, Williams BT, Liechti DJ, Backus JD, Dornan GJ, et al. Biomechanical Comparison of 3 Current Ankle Syndesmosis Repair Techniques. *Foot Ankle Int.* 2017 Feb;38(2):200–7.
  88. Naqvi GA, Cunningham P, Lynch B, Galvin R, Awan N. Fixation of Ankle Syndesmotic Injuries. *Am J Sports Med.* 2012 Dec 10;40(12):2828–35.
  89. Westermann RW, Rungprai C, Goetz JE, Femino J, Amendola A, Phisitkul P. The Effect of Suture-Button Fixation on Simulated Syndesmotic Malreduction: A Cadaveric Study. *J Bone Jt Surgery-American Vol.* 2014 Oct;96(20):1732–8.
  90. Andersen MR, Frihagen F, Hellund JC, Madsen JE, Figved W. Randomized

- Trial Comparing Suture Button with Single Syndesmotic Screw for Syndesmosis Injury. *J Bone Jt Surg.* 2018 Jan;100(1):2–12.
91. Zhan Y, Yan X, Xia R, Cheng T, Luo C. Anterior-inferior tibiofibular ligament anatomical repair and augmentation versus trans-syndesmosis screw fixation for the syndesmotic instability in external-rotation type ankle fracture with posterior malleolus involvement: A prospective and comparative. *Injury.* 2016 Jul;47(7):1574–80.
  92. Schottel PC, Baxter J, Gilbert S, Garner MR, Lorich DG. Anatomic Ligament Repair Restores Ankle and Syndesmotic Rotational Stability as Much as Syndesmotic Screw Fixation. *J Orthop Trauma.* 2016 Feb;30(2):e36–40.
  93. Nelson OA. Examination and Repair of the AITFL in Transmalleolar Fractures. *J Orthop Trauma.* 2006 Oct;20(9):637–43.
  94. Miller RS, Weinhold PS, Dahners LE. Comparison of tricortical screw fixation versus a modified suture construct for fixation of ankle syndesmosis injury: a biomechanical study. *J Orthop Trauma.* 1999 Jan;13(1):39–42.
  95. Xian H, Miao J, Zhou Q, Lian K, Zhai W, Liu Q. Novel Elastic Syndesmosis Hook Plate Fixation Versus Routine Screw Fixation for Syndesmosis Injury. *J Foot Ankle Surg.* 2018 Jan;57(1):65–8.
  96. Needleman RL. Accurate Reduction of an Ankle Syndesmosis With the “Glide Path” Technique. *Foot Ankle Int.* 2013 Sep 10;34(9):1308–11.
  97. Gonzalez T, Egan J, Ghorbanhoseini M, Blais M, Lechtig A, Velasco B, et al. Overtightening of the syndesmosis revisited and the effect of syndesmotic malreduction on ankle dorsiflexion. *Injury.* 2017 Jun;48(6):1253–7.

## Anhang – Messprotokoll

ID	Seite: li=1, re=0	Breite oberes Sprunggelenk	Tiefe Tibia	Tiefe Fibula	Dorsal- extension (justiert)	Dorsalextension Klemme mittig (justiert)	Dorsalextension Klemme ventral (justiert)	Veränderung Bewegungsumfang mittig	Veränderung Bewegungsumfang ventral
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									