

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik  
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
an der Universität Tübingen

**Retrospektive Analyse der chirurgischen  
Behandlungsergebnisse von  
Unterschenkelpseudarthrosen:  
Besondere Berücksichtigung der Lebensqualität und  
Behandlungsdauer**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Kelbsch, Benjamin Günter**

**2017**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. A. Ateschrang

2. Berichterstatter: Professor Dr. A. Nieß

Tag der Disputation: 09.10.2017

*Für Carina*

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>10</b>
1.1.    Allgemeine Einführung.....	10
1.2.    Pathogenese.....	10
1.3.    Inzidenz.....	11
1.4.    Behandlung von Unterschenkelchaftfrakturen.....	11
1.4.1.    Konservative Behandlung diaphysärer Tibiafrakturen.....	12
1.4.2.    Operative Behandlung diaphysärer Tibiafrakturen.....	13
1.5.    Pseudarthrosen des Unterschenkelchaftes.....	14
1.5.1.    Diagnostik von Pseudarthrosen.....	14
1.5.2.    Behandlung von Pseudarthrosen.....	15
1.5.2.1.    Konservative Behandlungsmethoden.....	15
1.5.2.2.    Operative Behandlungsmethoden.....	17
1.6.    Zielsetzungen dieser Arbeit.....	19
<b>2. Material und Methode.....</b>	<b>20</b>
2.1.    Auswahl der Patienten und Kontaktaufnahme.....	20
2.2.    Akquirierung der Daten mittels Krankenakten.....	21
2.3.    Klinische Untersuchung, Fragebögen und Scores.....	21
2.3.1.    Klinische Untersuchung.....	21
2.3.2.    Fragebögen und Scores.....	22
2.3.2.1.    Der Score nach Merchant und Dietz.....	22
2.3.2.2.    EQ-5D.....	23
2.4.    Auswertung von Röntgenbildern.....	24
2.5.    Statistische Auswertung.....	24
<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>25</b>
3.1.    Altersverteilung.....	25
3.2.    Unterteilung in Gruppen.....	25

3.2.1.	Gruppe 1: additive Kompressionsplattenosteosynthese....	25
3.2.2.	Gruppe 2: Fibula-pro-Tibia-Operation.....	25
3.2.3.	Gruppe 3: singuläre Plattenosteosynthese.....	26
3.2.4.	Gruppe 4: Aufgebohrte Austausch-/Marknagelung.....	26
3.2.5.	Gruppe 5: Segmenttransport.....	26
3.2.6.	Gruppe 6: Kompressionsosteosynthese mittels Charnley-Fixateur.....	26
3.2.7.	Gruppe 7: Konservativ mit Zuwarten.....	26
3.3.	Primärverletzung.....	27
3.4.	Pseudarthrose.....	30
3.5.	Auswertung nach Heilungszeit.....	31
3.5.1.	In Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen.....	31
3.5.2.	In Abhängigkeit des Alters zum Zeitpunkt des Unfalls.....	32
3.5.3.	In Abhängigkeit des Geschlechts.....	32
3.5.4.	In Abhängigkeit von Rauchen.....	33
3.5.5.	In Abhängigkeit der Schwere der Fraktur gemäß der AO-Klassifikation.....	33
3.5.6.	In Abhängigkeit der Lokalisation.....	34
3.5.7.	In Abhängigkeit von geschlossener versus offener Fraktur.....	34
3.5.8.	In Abhängigkeit der Art der Pseudarthrose.....	35
3.5.9.	In Abhängigkeit der Erfahrung des Operateurs.....	35
3.5.9.1.	Unter Berücksichtigung der Pseudarthroseentität.....	36
3.5.10.	In Abhängigkeit der Operationszeit.....	36
3.5.10.1.	Die OP-Zeit in Abhängigkeit der Erfolgs-OP.....	37
3.6.	Auswertung nach Bewegungseinschränkung.....	39
3.6.1.	In Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen.....	40
3.6.1.1.	Kniegelenk.....	40
3.6.1.2.	Oberes Sprunggelenk.....	41
3.6.1.3.	Unteres Sprunggelenk.....	42
3.6.2.	In Abhängigkeit des Alters zum Zeitpunkt des Unfalls.....	43
3.6.2.1.	Kniegelenk.....	43

3.6.2.2.	Oberes Sprunggelenk.....	44
3.6.2.3.	Unteres Sprunggelenk.....	44
3.6.3.	In Abhängigkeit des Geschlechts.....	44
3.6.3.1.	Kniegelenk, oberes Sprunggelenk, unteres Sprunggelenk.	44
3.6.4.	In Abhängigkeit der Schwere der Fraktur gemäß der AO-Klassifikation.....	45
3.6.4.1.	Kniegelenk.....	45
3.6.4.2.	Oberes Sprunggelenk.....	46
3.6.4.3.	Unteres Sprunggelenk.....	47
3.6.5.	In Abhängigkeit der Lokalisation.....	48
3.6.5.1.	Kniegelenk.....	48
3.6.5.2.	Oberes Sprunggelenk.....	48
3.6.5.3.	Unteres Sprunggelenk.....	48
3.6.6.	In Abhängigkeit von geschlossener versus offener Fraktur.....	49
3.6.6.1.	Kniegelenk.....	49
3.6.6.2.	Oberes Sprunggelenk.....	49
3.6.6.3.	Unteres Sprunggelenk.....	49
3.7.	Auswertung nach Lebensqualität.....	50
3.7.1.	In Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen.....	51
3.7.1.1.	MaD-Score.....	51
3.7.1.2.	Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D.....	52
3.7.2.	In Abhängigkeit der Schwere der Fraktur gemäß der AO-Klassifikation.....	53
3.7.2.1.	MaD-Score.....	53
3.7.2.2.	Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D.....	54
3.7.3.	In Abhängigkeit der Lokalisation.....	55
3.7.3.1.	MaD-Score.....	55
3.7.3.2.	Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D.....	55
3.7.4.	In Abhängigkeit von geschlossener versus offener Fraktur.....	55
3.7.4.1.	MaD-Score.....	55

3.7.4.2.	Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D.....	55
3.7.5.	In Abhängigkeit der Bewegungseinschränkungen.....	56
3.7.5.1.	MaD-Score.....	56
3.7.5.1.1.	Kniegelenk.....	56
3.7.5.1.2.	Oberes Sprunggelenk.....	57
3.7.5.1.3.	Unteres Sprunggelenk.....	58
3.7.5.2.	Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D.....	59
3.7.5.2.1.	Kniegelenk.....	59
3.7.5.2.2.	Oberes Sprunggelenk.....	60
3.7.5.2.3.	Unteres Sprunggelenk.....	61
3.7.6.	In Abhängigkeit des muskulären Defizits.....	61
3.7.6.1.	MaD-Score.....	61
3.7.6.1.1.	Veränderung im Oberschenkelumfang 20 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes.....	61
3.7.6.1.2.	Veränderung im Oberschenkelumfang 10 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes.....	62
3.7.6.1.3.	Veränderung am minimalen Umfang des Unterschenkels.....	62
3.7.6.2.	Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D.....	62
3.7.6.2.1.	Veränderung im Oberschenkelumfang 20 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes.....	62
3.7.6.2.2.	Veränderung im Oberschenkelumfang 10 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes.....	63
3.7.6.2.3.	Veränderung am minimalen Umfang des Unterschenkels.....	63
3.7.7.	In Abhängigkeit der Beinlängendifferenz.....	63
3.7.1.1.	MaD-Score.....	63
3.7.1.2.	Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D.....	64
<b>4.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>65</b>
4.1.	Schlussfolgerung.....	76

<b>5. Zusammenfassung.....</b>	<b>78</b>
<b>6. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>81</b>
<b>7. Anhang.....</b>	<b>86</b>
7.1.    Anlage 1: Patientenfragebogen.....	86
7.2.    Anlage 2: Klinisches Untersuchungsprotokoll.....	91
7.3.    Anlage 3: Merchant und Dietz Score.....	92
7.4.    Anlage 4: Fragebogen EQ-5D.....	94
<b>8. Erklärungen zum Eigenanteil.....</b>	<b>97</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	=	Abbildung
AO	=	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AOFAS	=	American Orthopedic Foot and Ankle Society
BMP	=	Bone Morphogenic Protein
ESWT	=	extrakorporale Stoßwellentherapie
MaD-Score	=	Merchant und Dietz - Score
min	=	Minuten
OP	=	Operation
OSG	=	oberes Sprunggelenk
Tab.	=	Tabelle
USG	=	unteres Sprunggelenk

# **1. Einleitung**

## **1.1. Allgemeine Einführung**

Traumatische Knochenbrüche gehören zu den häufigsten Verletzungsarten in der Unfall- und Wiederherstellungschirurgie. Sie sind von enormer sozioökonomischer Relevanz auf Grund der Beeinträchtigungen im Privatleben als auch der beruflichen Integration. Die Zielsetzung moderner Behandlungsmethoden ist die völlige Wiederherstellung der betroffenen Extremität in möglichst kurzer Zeit. Um dies zu erreichen, muss eine weitgehend anatomische Reposition mit Wiederherstellung der ursprünglichen Achse, Länge und Rotation des frakturierten Knochens erzielt werden. Begleitende Weichteilverletzungen müssen erkannt und falls erforderlich durch ergänzende rekonstruktive Maßnahmen chirurgisch adressiert werden, wie z.B. durch gestielte oder freie myocutane Lappen. Die meisten Frakturen erreichen dabei eine voll belastbare knöcherne Konsolidierung innerhalb von 3-6 Monaten, wobei zumindest die radiologischen Zeichen fortschreitender Frakturheilung sichtbar werden (Kwasny und Dannbauer 2011).

## **1.2. Pathogenese**

Verlängert sich der Heilungszeitraum über die erwähnte Spanne von 3-6 Monaten, spricht man von einer verzögerten Frakturheilung. Eine solche Verzögerung lässt sich anhand charakteristischer radiologischer Veränderungen erkennen: Erweiterung des Frakturspaltes, Auftreten von wolkigem Reizkallus, Resorptionszonen und Lockerung oder Bruch des Osteosynthesematerials (Kwasny und Dannbauer 2011). Tritt auch nach 6-8 Monaten keine Heilung ein, ist definitionsgemäß von einer Pseudarthrose zu sprechen (Weber und Cech 1973). Erkennbar wird dies durch eine Unterbrechung der Frakturheilung und einem Versagen des Osteosynthesematerials. Als weiteres diagnostisches Kriterium gilt die Persistenz von Schmerzen im Frakturbereich (Court-Brown et al. 1995). Die

Entwicklung einer Pseudarthrose kann biologische, mechanische oder septische Ursachen haben (Runkel und Rommens 2000).

### **1.3. Inzidenz**

Für die Inzidenz der Pseudarthrose finden sich in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben mit einer deutlichen Schwankungsbreite. Diese wird z.B. von Praemer mit 5-10% angegeben (Praemer et al. 1992). Dies entspricht dem Ergebnis von Harris und Lyons, welche bei 151 Patienten eine durch Pseudarthrosen bedingte Revisionsrate von 8,2% erreichten (Harris und Lyons 2005). Eine retrospektive Analyse aus den USA von 2006 untersuchte 24 Monate nach dem Unfall 853 Patienten mit Tibiaschaftfrakturen. Dabei betrug die Inzidenz der Pseudarthrose 12%. (Antonova et al. 2013).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit diaphysären Tibiafrakturen und daraus entstandenen Pseudarthrosen, die auch heute noch für die moderne Unfallchirurgie ein komplexes Krankheitsbild und damit eine Herausforderung für jeden Unfallchirurgen darstellen.

### **1.4. Behandlung von Unterschenkelchaftfrakturen**

Tibiaschaftfrakturen sind die weltweit häufigsten Frakturen der unteren Extremität (Harris und Lyons 2005) sowie der langen Röhrenknochen überhaupt (Russell 1996, SPRINT Investigators et al. 2008). Im Laufe des vergangenen Jahrhunderts etablierte sich eine Vielzahl von Behandlungsmethoden sowohl konservativer als auch operativer Art. Schwierigkeiten bei der Behandlung ergeben sich dabei durch die physiologisch geringe Weichteildecke und das relativ häufige Auftreten offener Frakturen in diesem Bereich. Diese Umstände und Besonderheiten resultieren in hohen Anforderungen an die entsprechenden konservativen oder operativen Behandlungsmethoden.

#### **1.4.1. Konservative Behandlung diaphysärer Tibiafrakturen**

Während Anfang der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts die konservative Therapie von Unterschenkelschaftfrakturen noch als Standard galt, werden heutzutage mehr als 2/3 der erwachsenen Patienten operativ stabilisiert. Dennoch besitzt die konservative Versorgung immer noch einen Stellenwert, insbesondere bei einfachen und unkomplizierten, geschlossenen Unterschenkelschaftfrakturen (Ditzen und Börner 2002).

Die Entscheidung für eine konservative Therapie ist abhängig vom Verletzungsausmaß, den Begleiterkrankungen und der zu erwartenden Compliance des Patienten. Die Indikation für eine konservative Versorgung besteht grundsätzlich bei Frakturen des Unterschenkels mit nur geringer Dislokation sowie bei Spiralbrüchen mit und ohne Drehkeil, welche sich komplikationslos achsengerecht reponieren lassen und in dieser Position bis zur Ausheilung gehalten werden können (Ditzen und Börner 2002).

Während Extensionsvorrichtungen, welche stetig weiterentwickelt wurden, bereits in den Burgunder-Kriegen in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts zum Einsatz kamen (Allgöwer 1982), stellten die Ruhigstellung und Stabilisierung des Bruches auch in den folgenden Jahrhunderten ein enormes Problem dar.

Die Entwicklung des Gipsverbandes von Mathysen 1852 markiert in gewissem Sinne den Beginn der modernen konservativen Frakturbehandlung (Ditzen und Börner 2002).

Der endgültige Durchbruch wurde durch die von Böhler etablierten klassischen Behandlungsprinzipien erzielt, welche noch heute gültige Standards darstellen. Diese Prinzipien umfassen das Einrichten sowie die ununterbrochene Ruhigstellung sowohl der Fraktur als auch der benachbarten Gelenke mit einem Gipsverband. Komplettiert wurde dieses Verfahren mittels Übungsbehandlungen unter Vermeidung von Schmerzen (Böhler 1943).

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden die konservativen Behandlungsmethoden zuerst von Dehne (Dehne et al. 1961) und später vor allem von Sarmiento (Sarmiento et al. 1995) weiterentwickelt und erweitert.

Insbesondere die funktionelle Brace-Behandlung von Sarmiento eröffnete für eine Vielzahl auch offener Frakturen wieder die Möglichkeit einer konservativen Behandlung. Gemäß seiner eigenen Veröffentlichung konnte er in ca. 95% aller Fälle einen Konsolidierungserfolg erzielen, der einer osteosynthetischen Versorgung in nichts nachsteht (Sarmiento et al. 1995). Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Oberschenkelliege- oder Gehgips beruht sein Konzept auf der Schienung einer Fraktur mittels Muskeldruck, wobei keine gelenkübergreifenden Schienen zum Einsatz kommen. Auf diese Weise versucht er die Probleme der konservativen Behandlung zu vermeiden: Zu nennen sind dabei Gelenkversteifung, atrophe Veränderungen bis hin zum Reflex-Dystrophie-Syndrom, Achslängen- und Rotationsfehlstellungen, Pseudarthrosenbildung, sekundäre Nerven- und Weichteilschäden sowie erhöhte Risiken für Thrombembolien und Pneumonien. (Ditzen und Börner 2002).

#### **1.4.2. Operative Behandlung diaphysärer Tibiafrakturen**

Im vergangenen Jahrhundert konnten sich die operativen Behandlungsstrategien als Mittel der Wahl für viele Frakturen, insbesondere auch der des Tibiaschaftes, etablieren. Ebenso hat sich die Palette der frakturspezifischen Implantate in den letzten Jahrzehnten enorm verbreitert. Dieser Prozess begründet neben dem eingetretenen Nichtbeherrschen konventioneller Maßnahmen den Siegeszug der operativen Behandlung (Ditzen und Börner 2002).

Aufgrund der Vielzahl der operativen Möglichkeiten unterscheiden sich die Methoden der Wahl im internationalen Vergleich erheblich (Angele und Weigel 2005).

Zu den wichtigsten Methoden gehört in Deutschland als häufigste primär operative Methode die Tibia-Marknagelung, mit welcher auch höhergradige offene Frakturen bis zu einem Grad III B nach Gustilo und Anderson versorgt werden können (Angele und Weigel 2005).

Das LISS-Verfahren (Limited-invasive-stabilisation-System) eignet sich für Frakturen im proximalen Drittel der Tibia und kann bei geschlossenen und offenen Frakturen bis Grad III A verwendet werden (Angele und Weigel 2005).

Neben der Verbundosteosynthese steht die herkömmliche und winkelstabile Plattenosteosynthese bei offenen Frakturen bis zum Grad III B zur Verfügung (Angele und Weigel 2005).

Der Fixateur externe kann bei nahezu allen Frakturen eingesetzt werden. Er hat seine Domäne in der Primärstabilisierung, um einen Verfahrenswechsel möglichst innerhalb der ersten 3 Wochen in Abhängigkeit des Verletzungsmusters (Angele und Weigel 2005) anzuschließen.

Auch bei den operativen Methoden ist mit ähnlichen Komplikationen wie bei den konservativen Behandlungsmethoden zu rechnen.

## **1.5. Pseudarthrosen des Unterschenkelschaftes**

Bei Tibia- und insbesondere Tibiaschaftfrakturen kann es zu einer erhöhten Rate an verzögerten Heilungsverläufen und Pseudarthrosen kommen (Megas et al. 2001). Pseudarthrosen bedürfen auf Grund ihrer Ursache einer genauen unfallchirurgischen Analyse, um die ideale Behandlung zu wählen.

### **1.5.1. Diagnostik von Pseudarthrosen**

Die Diagnostik von verzögerten Heilungsverläufen und Pseudarthrosen folgt klaren Prinzipien. Die konventionelle Röntgenaufnahme in 2 Ebenen ist immer die Basis der Diagnostik. Bei fraglichen Pseudarthrosen, Gelenken, oder gelenknahen Regionen wird die Computertomographie notwendig. Die klinische Untersuchung mit einer detaillierten Anamnese mit Erfassung der Belastbarkeit und dem damit verbundenen Beschwerdemuster, sowie die laborchemische Untersuchung der Entzündungsparameter (BSG, Blutbild, CRP) sind unerlässlich. Eine Magnetresonanztomographie kann bei Infektpseudarthrosen Aufschluss über die Ausdehnung der Osteomyelitis geben (Runkel und Rommens 2000).

Grundsätzlich kann man Pseudarthrosen anhand dreier wichtiger Kriterien charakterisieren und einordnen: septisch – aseptisch, straff – instabil oder atroph - hypertroph (Reed et al. 2002, Weber und Brunner 1981). Bell (Bell et al. 2016) verwendete in der Unterscheidung atroph – hypertroph noch die Zwischenstufe oligotroph.

Zudem ist die Unterscheidung einer reaktiven von einer avitalen Pseudarthrose für die nachfolgende Behandlung von großer Wichtigkeit. Oftmals ist eine entsprechende Differenzierung bereits durch die gängigen diagnostischen Verfahren gegeben. In unklaren Fällen kann an dieser Stelle eine Skelettszintigraphie mit Technetium-99m-Phosphonaten die Einteilung erleichtern. Eine szintigraphisch reaktiv imponierende Pseudarthrose kann allerdings nicht sicher von einer Infektpseudarthrose unterschieden werden, da diese ebenfalls zu einer vermehrten Aktivität und damit Aufnahme von Technetium-99m-Phosphonaten führen kann (Runkel und Rommens 2000).

### **1.5.2. Behandlung von Pseudarthrosen**

Die Behandlung von Tibiaschaftpseudarthrosen hat neben der Ausheilung auch die Korrektur von Fehlstellungen jeglicher Art, die Behebung von Längenunterschieden und idealerweise die vollständige Wiederherstellung einer intakten Weichteilsituation zum Ziel. Neben wenigen konservativen Behandlungsoptionen kommen in der klinischen Routine operative Verfahren zur Anwendung. Die Behandlung einer Unterschenkelpseudarthrose ist von 6 Faktoren abhängig: Lage der Pseudarthrose, Zustand der Weichteile, Infektion, Stellung der Fraktur, Grad der Instabilität, radiologisches Erscheinungsbild (Wiss et al. 1992).

#### **1.5.2.1. Konservative Behandlungsmethoden**

Bei der Behandlung von Pseudarthrosen kommen nur selten konservative Methoden zum Einsatz, was nicht zuletzt an der großen Auswahl und guten Studienlage der operativen Möglichkeiten liegt. Dennoch gibt es einige

vielversprechende alte und durchaus neuere konservative Ansätze, welche sich zum Teil bereits bewährt haben, zum Teil aber auch erst noch bewähren müssen.

So können Gips und funktionelle Versteifungen (Brace) insbesondere bei mechanischen, instabilitätsbedingten Pseudarthrosen zum Einsatz kommen (Sledge et al. 1989).

Elektrostimulation wird nur bedingt empfohlen und sollte nur in Kombination mit einer entsprechenden chirurgischen Therapie zur Anwendung kommen. Dazu gehört neben dem Anfrischen der Pseudarthrose auch eine Spongiosaplastik mit ausreichender Stabilisierung (Runkel und Rommens 2000). Allgemein ist sich die Forschung uneins über die tatsächliche Auswirkung von Elektro- und Magnetfeldtherapie (Mayr et al. 1999). Aus diesen Gründen spielt die Stimulation mit elektrischen und elektromagnetischen Feldern derzeit in Deutschland eine untergeordnete Rolle.

Als relativ neue Methode gilt die Applikation von niedrig intensiv gepulstem Ultraschall, wobei der zukünftige klinische Stellenwert noch unklar ist (Runkel und Rommens 2000).

Niedrigenergetische extrakorporale Stoßwellen (ESWT) gelten derzeit noch als Ultima Ratio Variante, da es noch keine klaren wissenschaftlichen Empfehlungen über die Energiedichte oder die Anzahl der zu applizierenden Impulse gibt (Rompe et al. 1997).

Die klinische Anwendung der Bone Morphogenic Proteins (BMP) erscheint im Rahmen von schweren Knochendefekten und Pseudarthrosen vielversprechend (Küsswetter und Teschner 1999). Allerdings steht die Anwendung der BMP's aufgrund einer sehr heterogenen Studienlage weiter in der Diskussion (Garrison et al. 2010).

Während der Vorteil der konservativen Behandlung hauptsächlich in der Vermeidung der typischen operativen Risiken (postoperativer Infekt, Gefäß-Nerven-Verletzung, Entnahmemorbidität bei autogener Spongiosaplastik, etc.) besteht, sind die Nachteile breiter gefächert. Die prolongierte Immobilisation des Patienten mit relevant beeinträchtigter Belastbarkeit der betroffenen

Extremität und Beeinträchtigung der Gelenkbeweglichkeit stellen die Hauptprobleme dar (Sledge et al. 1989).

#### 1.5.2.2. Operative Behandlungsmethoden

Die operativen Behandlungsmethoden stellen bei Unterschenkelchaftpseudarthrosen den Goldstandard dar. Dabei wird versucht, die Ausheilung der Pseudarthrose mit Rekonstruktion der Anatomie in möglichst kurzer Zeit zu erreichen. Da Unterschenkelchaftpseudarthrosen häufig eine Folge ehemals offener Unterschenkelfrakturen sind (Wiss et al. 1992), kann eine durchgreifende Revision der Weichteile mit lokal plastischen Verfahren bis hin zu freien, gefäß-gestielten Lappen notwendig werden.

Bei Infektpseudarthrosen sollte zunächst die Infektsanierung erfolgen (Runkel und Rommens 2000).

Ist die Indikation zur Operation gegeben, stehen verschiedene Methoden zur Wahl, die je nach Lage und Beschaffenheit der Pseudarthrose zum Einsatz kommen.

Ähnlich der operativen Primärversorgung stellt die Marknagelung in der Pseudarthrosetherapie das Verfahren der Wahl dar (Megas et al. 2001). Dabei kann eine Erstimplantation oder eine aufgebohrte Austausch-Marknagelung erfolgen (Runkel und Rommens 2000). Auch die Dynamisierung eines bereits implantierten Nagels stellt eine Option dar (Nadkarni et al. 2008). Eine Marknagelung ist zusätzlich noch sehr weit distal bis nach metaphysär einsetzbar, vorausgesetzt es besteht genügend Raum für die distalen Verriegelungsschrauben (Reed und Mormino 2008).

Plattenosteosynthesen können als Kompressionsplatten (Runkel und Rommens 2000) und auch in additiver Form eingesetzt werden.

Die Spongiosaplastik stellt ein wichtiges Verfahren dar, welches sowohl singulär als auch in Kombination angewendet werden kann. Es gibt sie in autologer Form oder als vitalisiertes Allograft (von Garrel und Gotzen 1998, Ateshrang et al. 2009).

Eine besondere Variante der Spongiosaplastik bei Pseudarthrosen ist die so genannte Fibula-pro-Tibia-Operation mit und ohne Plattenosteosynthese sowie mit und ohne Osteotomie der Fibula (Heitemeyer und Hierholzer 1991).

Ilizarov hat in den 50-er Jahren durch Modifikationen des Fixateurs eine Methode entwickelt, größere Substanzdefekte des Knochens durch die sogenannte Kallusdistraction zu rekonstruieren. Diese Behandlung erfolgt monofokal am Pseudarthrosespalt oder bifokal bzw. trifokal mit zuvor durchgeführter Kortikotomie. Auf diese Weise kann eine Verlängerung der Extremität von ca. 1 cm pro Monat erreicht werden (Paley et al. 1989).

Um den Druck auf den Frakturbereich der Tibia zu erhöhen kann auch eine fibulare Osteotomie durchgeführt werden, entweder als alleinige Behandlung oder in Kombination mit anderen Operationstechniken (DeLee et al. 1981).

Die Vorteile der operativen Behandlung liegen hauptsächlich in der schnelleren Konsolidierungszeit, der früheren Belastbarkeit mit schnellerer Rehabilitation. Die Risiken und Komplikationsmöglichkeiten entsprechen den Risiken der primären operativen Behandlungen, wobei sich gemäß der Ergebnisse von SPRINT Investigators et al. mit der Anzahl der Revisionen auch das Anästhesie- und postoperative Thromboserisiko erhöht (SPRINT Investigators et al. 2008).

Hinzu kommen weitere verfahrensspezifische Risiken. Eine autologe Spongiosaplastik erfordert eine Ausweitung des Operationsgebietes. Dabei kann es im Entnahmegebiet zu Infektionen, Hämatomen und Nervenläsionen bis hin zu Frakturen kommen (von Garrel und Gotzen 1998), welche als Entnahmemorbidität bezeichnet werden können.

Die Ilizarov Methode zeigt die typischen Komplikationen externer Fixateure, wie z.B. die Gefahr einer Pin-Lockerung, eines Pin-Infektes oder einer Gelenkeinstellung aufgrund schlechterer Mobilisation (Runkel und Rommens 2000).

Die Fibula konsolidiert im Rahmen einer fibularen Osteotomie zwar meist sehr gut, dennoch handelt es sich hierbei um eine iatrogen angelegte Fraktur, welche alle Probleme eines gewöhnlichen Bruches beinhaltet. Dazu gehört

unter anderem eine verzögerte Knochenbruchheilung bis hin zur Entstehung einer Fibula-Pseudarthrose.

## **1.6. Zielsetzungen dieser Arbeit**

Aufgrund der sozioökonomischen Relevanz und der anspruchsvollen Behandlung von Unterschenkelschaftpseudarthrosen wurden die nachfolgenden Ziele dieser systematischen Analyse formuliert:

1. Mit welcher Lebensqualitätsprognose ist nach Behandlung der Unterschenkel-Pseudarthrose zu rechnen?
2. Bestehen Unterschiede der erreichten Lebensqualität durch die gewählten operativen Verfahren?
3. Bestehen verfahrensbedingte Unterschiede der Heilungszeit?
4. In welcher Abhängigkeit steht die knöcherne Heilungszeit zur Operationsdauer?
5. Korreliert die knöcherne Heilungszeit mit der Erfahrung des Operateurs?
6. Welche Risikofaktoren verlängern die knöcherne Konsolidierung?
7. Beeinflusst der Pseudarthrose-Typ die Heilungszeit?
8. Besteht ein Zusammenhang zwischen initialer Frakturklassifikation und Heilungszeit?
9. Wie werden die angrenzenden Gelenke (Knie, OSG, USG) beeinflusst?

## **2. Material und Methode**

### **2.1. Auswahl der Patienten und Kontaktaufnahme**

Mit Hilfe der Operationsbücher aus den Jahren 1996 bis 2005 der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen wurden in einem ersten Schritt alle Patienten ausgewählt, die eine Revisionsoperation aufgrund einer radiologisch und/oder klinisch diagnostizierten Pseudarthrose der Tibia erhalten hatten. Im zweiten Schritt wurden alle Patienten ausgeschlossen, deren Fraktur nicht im Bereich des Tibiaschaftes und/oder deren Fraktur eine pathologische Ursache zugrunde lag. Am Ende dieses Verfahrens erfüllten 79 Patienten die Einschlusskriterien zu dieser Studie.

Die lange Latenzzeit zwischen Behandlung und Aufnahme in diese Studie spielte bei der Kontaktaufnahme eine große Rolle. Dementsprechend wurde in dieser Zeit sowohl Wohnort als auch zum Teil der Familienname geändert, wodurch die in der Klinik hinterlegten Daten nicht mehr zutreffend waren. Mittels einer umfangreichen Recherche auch über das Internet konnten dennoch insgesamt 51 Patienten telefonisch erreicht werden. Diese wurden über die Studie ausführlich aufgeklärt und stimmten der Studienteilnahme zu. Bei 28 Patienten war keine Kontaktaufnahme möglich. 42 Patienten erschienen zu einer Nachuntersuchung, die verbliebenen 9 Patienten wurden telefonisch befragt, bei 6 von ihnen konnten die klinischen Daten mittels eines kürzlich stattgefundenen Gutachtens ergänzt werden.

12 weitere Patienten konnten aufgrund der guten vorhandenen Datenlage in die Studie mit eingeschlossen werden. Von diesen liegt mindestens ein ausführliches unfallchirurgisches Fachgutachten vor.

Insgesamt wurden 63 Personen, davon 50 Männer und 13 Frauen, mit einem Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung von 44,4 Jahren in diese Studie eingeschlossen.

## **2.2. Akquirierung der Daten mittels Krankenakten**

Über eine ausführliche Recherche im Krankenhausarchiv konnte eine Vielzahl an Daten im Erfassungsbogen (Anlage 1) dokumentiert werden. So ergaben sich daraus alle wichtigen personenbezogenen Daten einschließlich Komorbiditäten und Risikofaktoren zum Zeitpunkt des Ereignisses, den Details der Fraktur sowie die erfolgten operativen und nicht-operativen Behandlungsregimes. Anhand der OP-Protokolle wurde die letzte Revisionsoperation, welche zum gewünschten Heilungserfolg führte, genauer im Hinblick auf Operationsart, Erfahrung des Operateurs, OP-Dauer und Komplikationen untersucht. Miterfasst wurden die Daten der postoperativen rehabilitativen Maßnahmen bis zur Vollbelastung, welche oftmals nur über die ergänzende Anamnese vervollständigt werden konnten.

## **2.3. Klinische Untersuchung, Fragebögen und Scores**

Durch die telefonische Kontaktaufnahme konnten 42 Patienten für eine klinische Nachuntersuchung gewonnen werden. Der Ablauf sah zuerst die Ergänzung fehlender Daten im Erfassungsbogen sowie eine klinische Überprüfung der Funktionswerte vor. Anschließend wurden die Fragebögen ausgefüllt und ein Röntgenbild des Unterschenkels mit den angrenzenden Gelenken angefertigt.

### **2.3.1. Klinische Untersuchung**

Zu Beginn der klinischen Untersuchung wurde eine grob orientierende Überprüfung des Gangbildes vorgenommen und die Operationsnarbe/die Operationsnarben auf Reizfreiheit überprüft.

Für die Funktionswerte wurden die Muskelumfänge 20cm und 10cm oberhalb des inneren Kniegelenkspaltes sowie der kleinste Umfang des Unterschenkels gemessen. Darüber hinaus wurde der Gelenkstatus anhand der Neutral-Null-Methode für das Kniegelenk sowie das obere und untere Sprunggelenk erfasst.

Abschließend wurde neben der Rotationsabweichung der Extremität bei 90° Beugung im Kniegelenk die Länge der Tibia (Messung vom Innenknöchel bis zum medialen Gelenkspalt) sowie mit Hilfe einer Beckenwaage die Beinlängendifferenz bestimmt.

Alle Funktionswerte wurden zu entsprechenden Vergleichszwecken sowohl für das kranke als auch das gesunde Bein erhoben.

Das Untersuchungsprotokoll befindet sich in Anlage 2.

### **2.3.2. Fragebögen und Scores**

Auf die klinische Untersuchung folgte die Beantwortung eines Fragebogens zur Überprüfung von Gesundheit und Wohlbefinden, der EQ-5D sowie einer nach dem Score von Merchant und Dietz.

#### **2.3.2.1. Der Score nach Merchant und Dietz**

Merchant und Dietz entwickelten in einer retrospektiven Studie über geschlossene und 1.-gradig offene Tibia- und Fibulaschaftfrakturen einen Score, der eine Aussage über Funktion, Schmerzfreiheit, Gangbild und Bewegungsumfang zulässt (Merchant und Dietz 1989). In dieser retrospektiven Studie wurden 37 Patienten im Mittel 29 Jahre nach dem Unfall im Hinblick auf degenerative Traumafolgen untersucht.

In den genannten 4 Teilbereichen können dabei verschiedene Punktzahlen erreicht werden. Dadurch ergibt sich eine unterschiedliche Gewichtung der verschiedenen Kriterien. Der Fragebogen findet sich in Anlage 3.

## Gewichtung des Scores nach Merchant und Dietz in Prozent

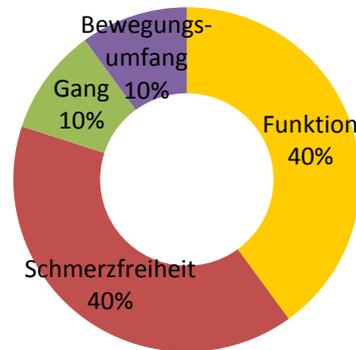


Abb. 1: Gewichtung des Scores nach Merchant und Dietz in Prozent

Der Score umfasst sowohl subjektive als auch objektive Parameter. Insgesamt können dabei 100 Punkte erreicht werden. Die Bewertung des Ergebnisses erfolgt dabei in 4 Stufen:

Tab. 1: Bewertung des Scores nach Merchant und Dietz

hervorragend	90 - 100
gut	80 - 89
mittel	70 - 79
schlecht	<70

### 2.3.2.2. EQ-5D

Als Gesundheitsfragebogen erfragt der EQ-5D (siehe Anlage 4) 5 Dimensionen in Bezug auf den persönlichen Gesundheitszustand:

- Beweglichkeit/Mobilität
- Für sich selbst sorgen
- Alltägliche Tätigkeiten
- Schmerzen/Körperliche Beschwerden
- Angst/Niedergeschlagenheit

Zusätzlich enthält er eine Skala, welche die subjektive Eingruppierung des eigenen Gesundheitszustandes in eine Skala von 0 (schlechtest denkbarer Gesundheitszustand) bis 100 (best denkbarer Gesundheitszustand) erfordert. Der Fragebogen wurde 1987 von einer internationalen interdisziplinären Gruppierung bestehend aus Medizinern, Psychologen, Philosophen, Ökonomen, Pflegern und Soziologen entwickelt und ist inzwischen der am häufigsten eingesetzte Fragebogen dieser Art weltweit. Seit 1998 liegt die deutsche Fassung vor (Rabin und de Charro 2001).

## **2.4. Auswertung von Röntgenbildern**

Zur Objektivierung der Behandlungsergebnisse zählt neben der klinischen Untersuchung und den Fragebögen/Scores auch die objektiv reproduzierbare Auswertung von Röntgenbildern. In diesem Zusammenhang wurden u.a. die Unfallbilder ausgewertet, anhand derer die Eingruppierung innerhalb der AO-Klassifikation vorgenommen wurde.

Über den Verlauf konnte mittels der Röntgenbilder zuerst die Bildung einer Pseudarthrose und anschließend auch der Fortschritt der knöchernen Konsolidierung nachvollzogen werden. Ebenso wurden eine entstehende Dystrophie und eine etwaige Besserung derselben nach Ausheilung miterfasst. Jedem Patienten wurde bei der Nachuntersuchung vor Ort eine abschließende Röntgenkontrollaufnahme angeboten und bei freiwilliger Zustimmung durchgeführt. Diese wurde aus Strahlenschutzgründen in 1 Ebene mit Darstellung des Kniegelenkes und des oberen Sprunggelenkes angefertigt.

## **2.5. Statistische Auswertung**

Sämtliche Daten wurden in eine Excel-Tabelle übertragen und mit Hilfe dieser entweder direkt oder über das Statistikprogramm JMP von SAS (Version 11 + 12) ausgewertet.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1. Altersverteilung**

Von den insgesamt 63 eingeschlossenen Patienten waren 13 (21%) weiblich und 50 (79%) männlich. Das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt des Unfalls 38,3 Jahre, der letzten operativen Maßnahme 39,2 Jahre und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 44,4 Jahre.

#### **3.2. Unterteilung in Gruppen**

Die Patienten wurden gemäß der operativen Maßnahme, welche zur Heilung führte, in verschiedene Gruppen unterteilt. Dabei entstanden 7 Gruppen mit unterschiedlichen Patientenzahlen.

##### **3.2.1. Gruppe 1: additive Kompressionsplattenosteosynthese**

Diese größte Gruppe umfasste 29 Patienten, welche alle mit einer additiven Platte mit zumeist kompressiver Funktion versorgt wurden. Dabei war die zugrunde liegende anfängliche Operation eine Marknagelung. In 14 Fällen wurde zusätzlich eine Spongiosaplastik durchgeführt, davon 11 malig aus dem Beckenkamm und 3 mal ortsständig.

Im weiteren Verlauf wird der Ausdruck insbesondere in den Abbildungen und Tabellen auf „additive Kompressionsplatte“ verkürzt.

##### **3.2.2. Gruppe 2: Fibula-pro-Tibia-Operation**

17 Patienten umfasste diese Gruppe. Dabei wurde 2 mal vitalisiertes Allograft und in 15 Fällen Beckenkammspongiosa verwendet, um den Raum zwischen Tibia und Fibula zu überbrücken. Im weiteren Verlauf wird der Ausdruck insbesondere in den Abbildungen und Tabellen auf „Fibula-pro-Tibia“ verkürzt.

### **3.2.3. Gruppe 3: singuläre Plattenosteosynthese**

Dieser Gruppe gehörten insgesamt 10 Patienten an. Im weiteren Verlauf wird der Ausdruck insbesondere in den Abbildungen und Tabellen auf „singuläre Platte“ verkürzt.

### **3.2.4. Gruppe 4: Aufgebohrte Austausch-/Marknagelung**

In zwei Fällen wurde eine Nagelung durchgeführt. In einem weiteren Fall wurde der bestehende Nagel ausgetauscht.

### **3.2.5. Gruppe 5: Segmenttransport**

2 Patienten gehörten dieser Gruppe an. Dabei handelte es sich um einen Transport von 5 und einmal über 10 cm.

### **3.2.6. Gruppe 6: Kompressionsosteosynthese mittels Charnley-Fixateur**

Dieses Verfahren wurde einmalig realisiert (zum Zeitpunkt des Unfalls 17-jähriger Patient).

### **3.2.7. Gruppe 7: Konservativ mit Zuwarten**

Bei einem Patienten konnte eine Heilung durch Zuwarten erreicht werden. Dabei stellte sich am Tag der geplanten OP heraus, dass die Pseudarthrose inzwischen vollständig konsolidiert war.

### 3.3. Primärverletzung

Abbildung 2 zeigt die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) in Bezug auf Tibiaschaftfrakturen (Ziffer 42). Die Verteilung der 63 in dieser Arbeit untersuchten Patienten gemäß der Einordnungen A1 bis C3 wird in Abbildung 3 dargestellt.

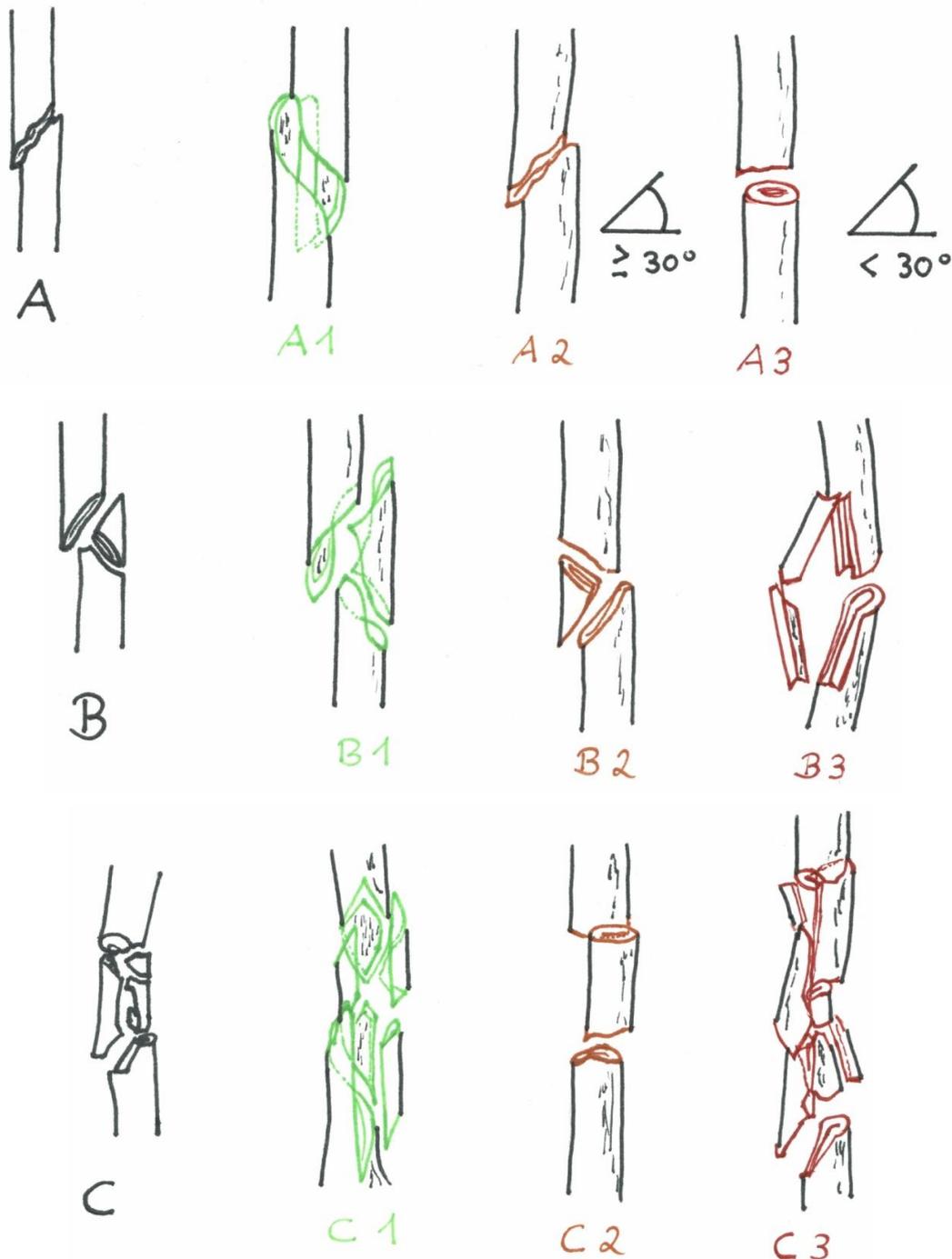


Abb. 2: AO-Klassifikation für Tibiaschaftfrakturen

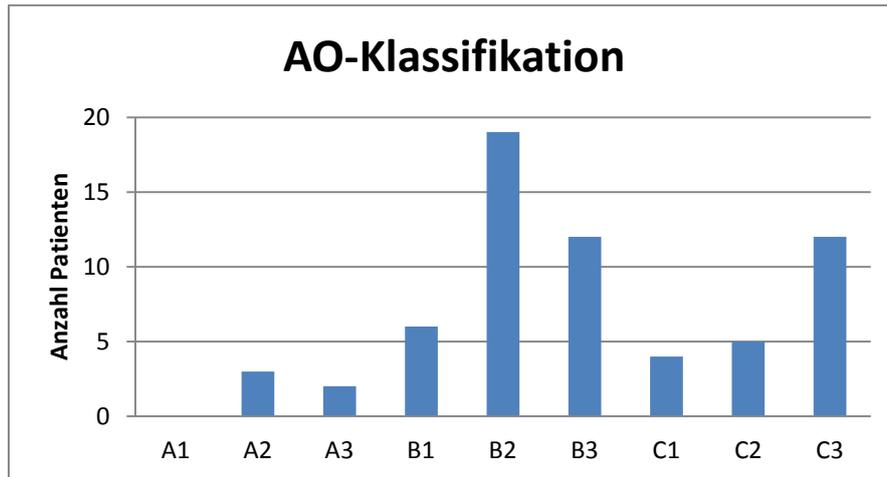


Abb. 3: Verteilung der Patienten gemäß AO-Klassifikation

Dabei war in 35 (55,6%) Fällen die linke und in 28 (44,4%) Fällen die rechte Seite betroffen.

Für die Erfassung der Lokalisation wurde die Tibia in drei Drittel aufgeteilt. Dabei war das proximale Drittel 4 mal (6,3%), das mittlere Drittel 21 mal (33,3%) und das distale Drittel insgesamt 38 mal (60,3%) betroffen, siehe Abbildung 4.

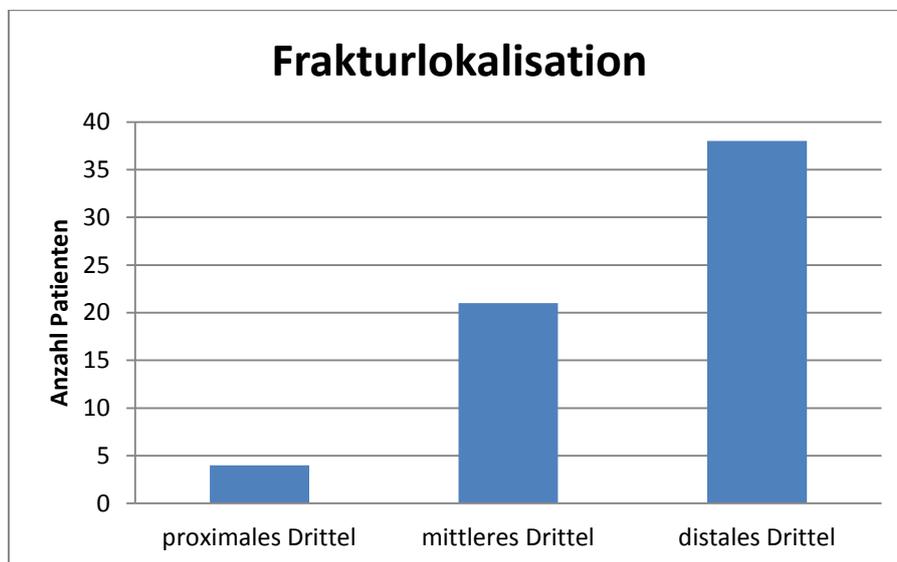


Abb. 4: Lokalisation der Frakturen an der Tibia

Neben der AO-Klassifikation wurden die Frakturen noch gemäß weiteren Klassifikationen nach geschlossenen und offenen Frakturen eingeteilt. Dabei

waren insgesamt 19 (30,2%) Verletzungen geschlossen und 43 (68,3%) Verletzungen offen, bei einem Patienten konnte im Nachhinein keine entsprechende Einordnung mehr erfolgen. Die geschlossenen Frakturen werden in Abbildung 5 dargestellt.

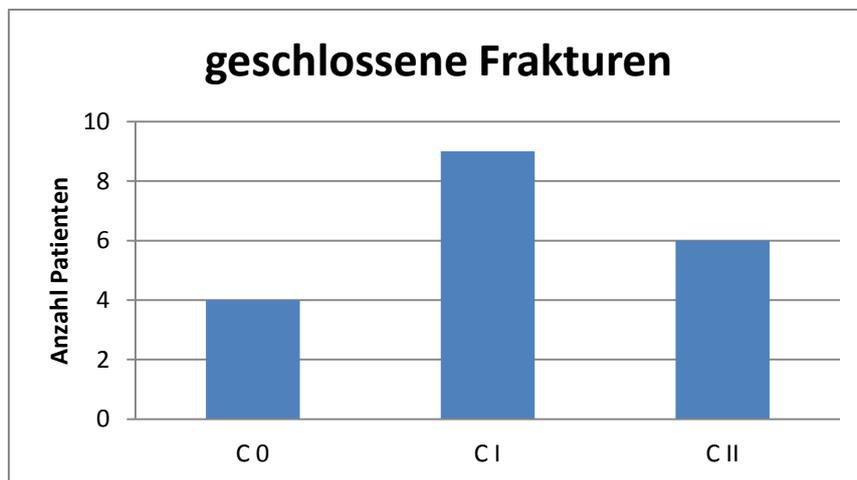


Abb. 5: Anzahl der Patienten, aufgeteilt gemäß Klassifikation für geschlossene Frakturen

Die offenen Frakturen wurden gemäß den Klassifikationen von Gustilo und Anderson sowie gemäß Tscherne und Oestern eingeteilt. Die Verteilung auf die Patienten zeigt dabei die Abbildung 6 für Gustilo und Anderson, sowie Abbildung 7 für Tscherne und Oestern.

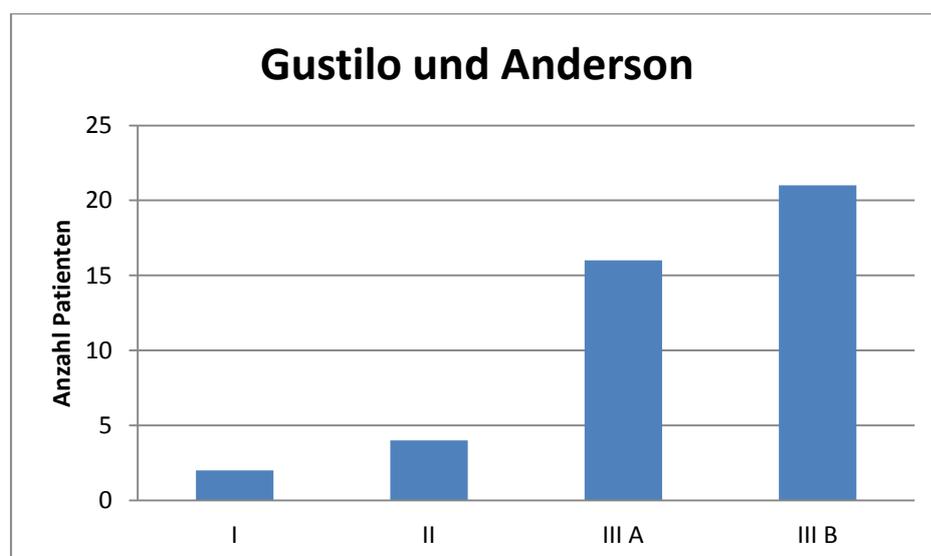


Abb. 6: Anzahl der Patienten, aufgeteilt gemäß der Klassifikation von Gustilo und Anderson

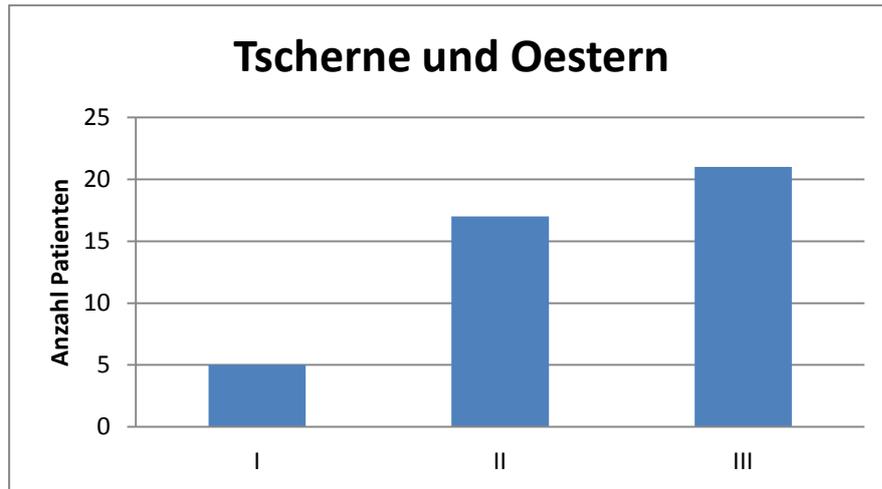


Abb. 7: Anzahl der Patienten, aufgeteilt gemäß der Klassifikation von Tscherne und Oestern

### 3.4. Pseudarthrose

Die sich entwickelnden Pseudarthrosen wurden gemäß ihrer Eigenschaften in atroph / hypertroph und straff / instabil unterteilt. Dabei waren 28 (44,4%) hypertroph und 35 (55,6%) atroph.

Die Abbildung 8 zeigt die Verteilung von straff / instabil auf die Eigenschaften atroph und hypertroph.

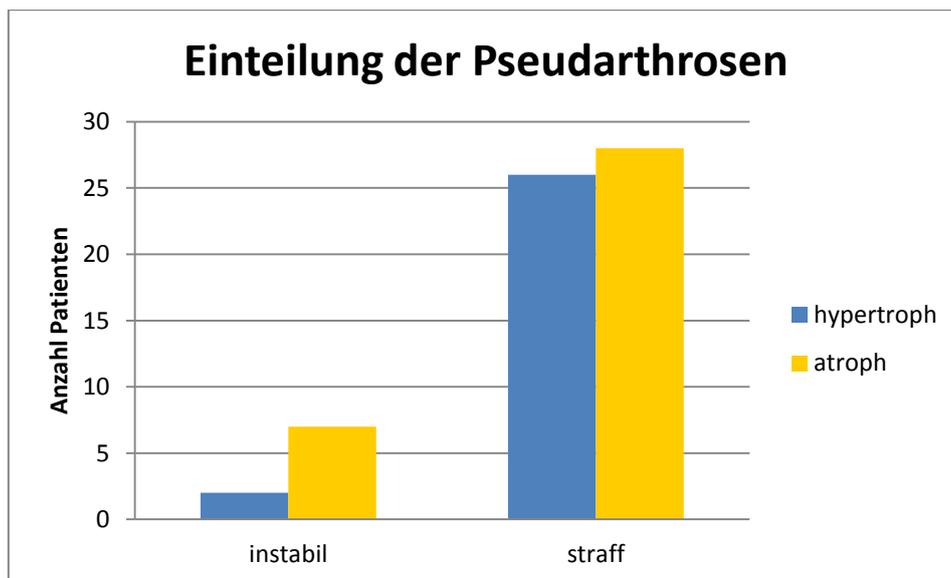


Abb. 8: Einteilung der Pseudarthrosen

### 3.5. Auswertung nach Heilungszeit

#### 3.5.1. In Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

Für eine Auswertung in Abhängigkeit nach den unterschiedlichen Gruppen wurden die Gruppen 4 bis 7 (Aufgebohrte Austausch-/Marknagelung, Segmenttransport, Kompressionsosteosynthese mittels Charnley-Fixateur, Konservativ mit Zuwarten) unter Sonstige zusammengefasst.

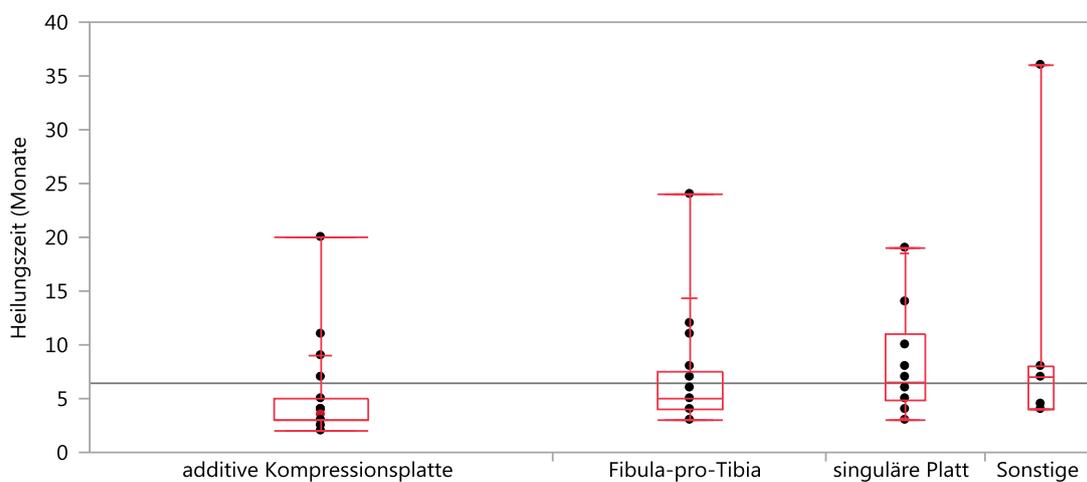


Abb. 9: Einfaktorielle Analyse der Heilungszeit nach den Gruppen

Die jeweiligen Mediane der Heilungszeit liegen für die „additive Kompressionsplatte“ bei 3 Monaten, für „Fibula-pro-Tibia“ bei 5, für die „singuläre Platte“ bei 6,5 und für „Sonstige“ bei 7 Monaten.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,0042. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigt sich eine Signifikanz bei den Vergleichen zwischen den Gruppen „singuläre Platte“ – „additive Kompressionsplatte“ ( $p=0,0075$ ), „Fibula-pro-Tibia“ – „additive Kompressionsplatte“ ( $p=0,0097$ ) und eine Signifikanz zwischen „Sonstige“ und „additive Kompressionsplatte“ ( $p=0,0185$ ).

### 3.5.2. In Abhängigkeit des Alters zum Zeitpunkt des Unfalls

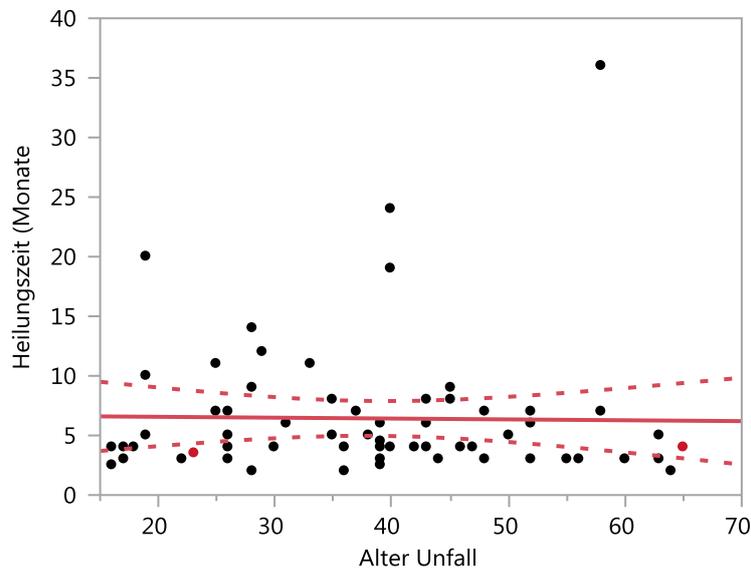


Abb. 10: Bivariate Anpassung der Heilungszeit in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt des Unfalls

Die Bivariate Anpassung der Heilungszeit in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt des Unfalls mittels einer linearen Regressionsgeraden (und Konfidenzbändern) zeigt einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,000302$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem Alter zum Zeitpunkt des Unfalls ein  $p=0,8924$ . Es liegt somit keine Korrelation zwischen Heilungszeit und Alter zum Zeitpunkt des Unfalls vor.

### 3.5.3. In Abhängigkeit des Geschlechts

Die jeweiligen Mediane der Heilungszeit in Abhängigkeit des Geschlechts liegen für „männlich“ bei 4,75 Monaten und für „weiblich“ bei 4 Monaten. Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,6743. Somit spielt das Geschlecht keine Rolle für die Heilungszeit.

### 3.5.4. In Abhängigkeit von Rauchen

Die jeweiligen Mediane der Heilungszeit liegen für „- = Nichtraucher“ bei 4 Monaten und für „+ = Raucher“ bei 4,5 Monaten. Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,5456. Rauchen verändert die Heilungszeit somit nicht signifikant.

### 3.5.5. In Abhängigkeit der Schwere der Fraktur gemäß der AO-Klassifikation

Bei einem Patienten aus Gruppe 1 „additive Kompressionsplatte“ konnte im Nachhinein keine eindeutige Klassifikation gemäß der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen ermittelt werden. So erfolgte der in Abbildung 11 dargestellte Vergleich bei insgesamt n=62 Probanden.

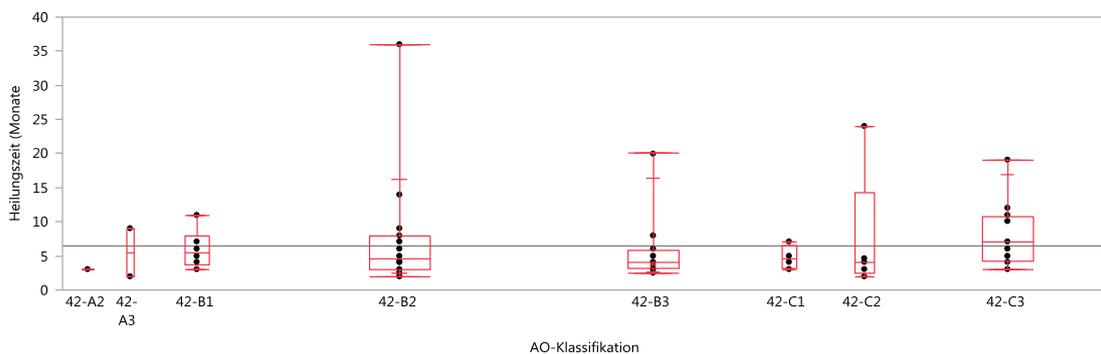


Abb. 11: Einfaktorielle Analyse der Heilungszeit in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Die jeweiligen Mediane für die Heilungszeit sind in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt:

Tab. 2: Mediane der Heilungszeit (in Monaten) in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

		AO-Klassifikation							
		42-A2	42-A3	42-B1	42-B2	42-B3	42-C1	42-C2	42-C3
Heilungszeit (Monate)		3	5,5	5,5	4,5	4	4,5	4	7

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,3267. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich überwiegend nicht signifikante p-Werte deutlich über 0,05. Einzig zwischen Frakturen der AO-Klassifikation 42-C3 und 42-A2 ergibt sich eine nur geringe Signifikanz mit einem  $p=0,0324$ .

### **3.5.6. In Abhängigkeit der Lokalisation**

Die jeweiligen Mediane der Heilungszeit liegen für die Lokalisation „distal“ bei 5 Monaten, für „mitte“ bei 4 und für „proximal“ bei 4,5 Monaten.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,151. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigt sich für „proximal“ – „mitte“ ein  $p=0,2926$ , für „proximal“ – „distal“ ein  $p=1,0000$  und für „mitte“ – „distal“ ein  $p=0,0612$ .

### **3.5.7. In Abhängigkeit von geschlossener versus offener Fraktur**

Aus den jeweiligen Probandendaten sowie der Probandenbefragung konnte bei einem Probanden aus der Gruppe „additive Kompressionsplatte“ keine eindeutige Zuordnung zu einer geschlossenen oder offenen Fraktur gemacht werden. Daher erfolgte die Auswertung für 62 Datensätze.

Die jeweiligen Mediane liegen für „geschlossen“ und für „offen“ bei jeweils 4 Monaten. Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,3709.

### 3.5.8. In Abhängigkeit der Art der Pseudarthrose

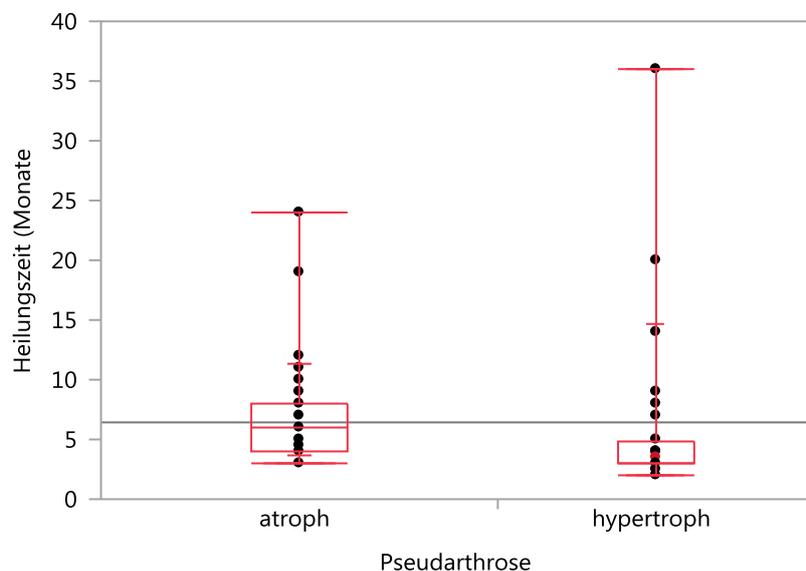


Abb. 12: Einfaktorielle Analyse der Heilungszeit in Abhängigkeit der Pseudarthroseentität

Die jeweiligen Mediane liegen für „atroph“ bei 6 Monaten und für „hypertroph“ bei 3 Monaten. Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergab eine signifikante  $\chi^2$ -Approximation von 0,0007.

### 3.5.9. In Abhängigkeit der Erfahrung des Operateurs

Für diese Arbeit galt ein Operateur als erfahren, wenn er mindestens den Facharztstatus besaß. Zwischen einfachem Facharzt und Oberarzt wurde keine Unterscheidung getroffen. In 3 Fällen („additive Kompressionsplatte“, „singuläre Platte“, „Konservativ mit Zuwarten“) konnte keine eindeutige Zuordnung erfolgen. So umfasst der Stichprobenumfang mit dieser Fragestellung insgesamt  $n=60$  Probanden.

Die jeweiligen Mediane der Heilungszeit liegen für „erfahrene“ Operateure ( $n=48$ ) bei 4 Monaten und für „unerfahrene“ ( $n=12$ ) bei 5 Monaten. Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergab keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation von 0,6137.

### 3.5.9.1. Unter Berücksichtigung der Pseudarthroseentität

Berücksichtigt man bei der Auswertung der Heilungszeit in Bezug auf die Erfahrung des Operateurs die Pseudarthroseentitäten „atroph“ und „hypertroph“, zeigt sich folgendes Ergebnis:

Für erfahrene Operateure ergibt sich bei der Auswertung nach dem Wilcoxon-Test eine signifikante  $\chi^2$ -Approximation von 0,0005 für „atroph“ (Median = 5,5 Monate, n=28) gegenüber „hypertroph“ (Median = 3 Monate, n=20).

Für unerfahrene Operateure zeigt sich eine nicht signifikante  $\chi^2$ -Approximation von 0,4184. Der Median für „atroph“ liegt dabei bei 5,5 Monaten (n=6), für „hypertroph“ bei 4,25 Monaten (n=6).

Korreliert man die erzielten Heilungszeiten für „erfahrene“ und „unerfahrene“ Operateure getrennt nach den Pseudarthroseentitäten, erhält man keine signifikanten Ergebnisse. Die  $\chi^2$ -Approximation für „atroph“ beträgt 0,9818, für „hypertroph“ 0,2320. Für „hypertroph“ zeigt sich damit allenfalls ein leichter Trend Zugunsten der erfahrenen Operateure.

### 3.5.10. In Abhängigkeit der Operationszeit

In 4 Fällen aus verschiedenen Gruppen konnte keine OP-Zeit eruiert werden. Die folgende Korrelation wurde mit einem Datensatz von n=59 errechnet.

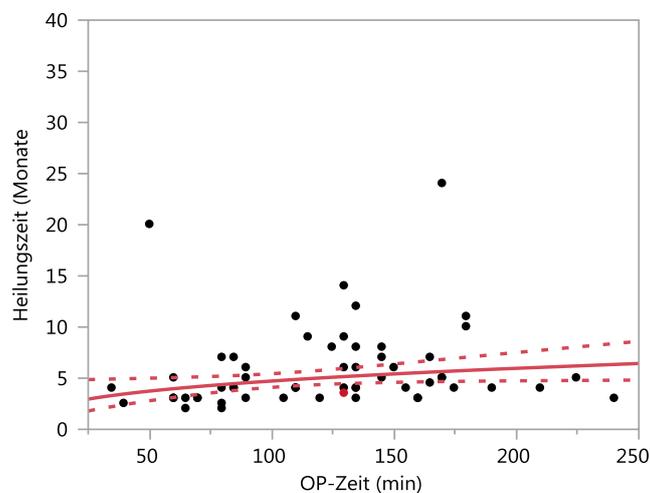


Abb. 13: Bivariate Anpassung der Heilungszeit in Abhängigkeit der Operationszeit

Die Bivariate Anpassung der Heilungszeit in Abhängigkeit von der Operationszeit ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) nach logarithmischer Transformation der Daten einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,073142$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit der Operationszeit ein  $p=0,0383$ .

Nachfolgend überprüfte man die Operationszeit in Abhängigkeit der Erfolgs-OP und der ursprünglichen Schwere der Erkrankung.

### 3.5.10.1. Die OP-Zeit in Abhängigkeit der Erfolgs-OP

Die Auswertung erfolgte anhand eines Datensatzes von  $n=59$ .

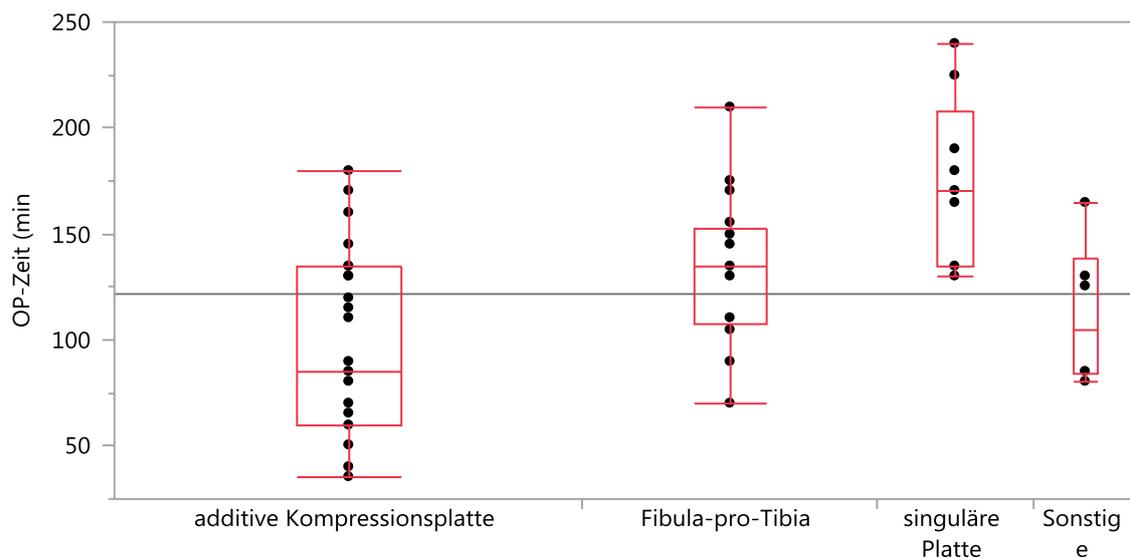


Abb. 14: Einfaktorielle Analyse der OP-Zeit in Abhängigkeit der Erfolgs-OP

Die jeweiligen Mediane liegen für „additive Kompressionsplatte“ bei 85 Minuten, für „Fibula-pro-Tibia“ bei 135 Minuten, für „singuläre Platte“ bei 170 Minuten und für „Sonstige“ bei 105 Minuten.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine signifikante  $\chi^2$ -Approximation von 0,0004.

Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich folgende p-Werte, wie in Tabelle 3 dargestellt:

Tab. 3: p-Werte des nichtparametrischen Vergleichs für jedes Paar

	additive Kompressionsplatte	Fibula-pro-Tibia	singuläre Platte
Fibula-pro-Tibia	0,0094	-	-
singuläre Platte	0,0004	0,0306	-
Sonstiges	0,3739	0,1406	0,0078

Folgendes Mosaikdiagramm (Abbildung 15) zeigt die relative Verteilung der Schwere der ursprünglichen Fraktur gemäß der AO-Klassifikation in Aufteilung nach den Gruppen.

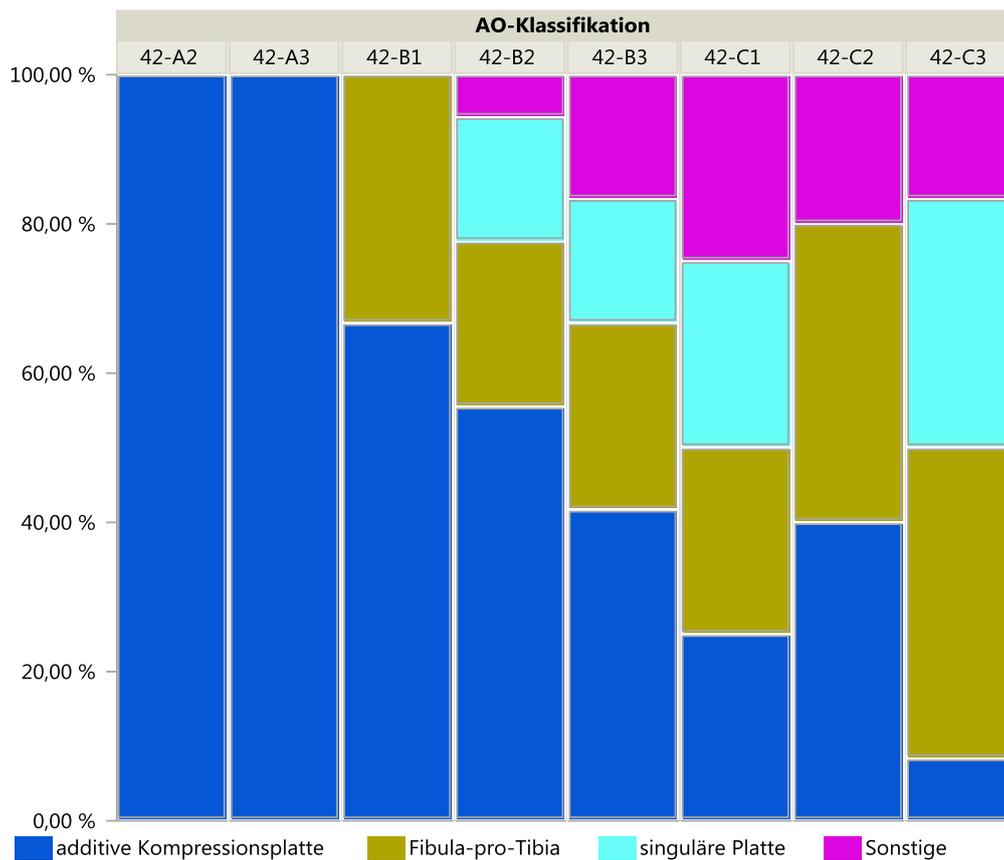


Abb. 15: Mosaikdiagramm zur relativen Verteilung der Schwere der Fraktur in Aufteilung nach den Gruppen

### **3.6. Auswertung nach Bewegungseinschränkung**

Für die Auswertungen des Datenmaterials nach den Bewegungseinschränkungen der angrenzenden Gelenke wurde dasselbe Datenmaterial mit denselben Einschränkungen/Besonderheiten wie unter „3.5. Auswertung nach Heilungszeit“ verwendet. Auf eine Wiederholung derselben Angaben wurde im Folgenden verzichtet.

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Bewegungseinschränkungen in Grade von 0 bis 3 bzw. von normal bis schwer eingeteilt und zusammengefasst.

#### **Bewegungseinschränkungen gegenüber gesund**

##### a.) Im Kniegelenk

Grad 0:	normal:	0/0/120-150
Grad 1:	leicht:	Gesamtabweichung in Flexion und/oder Extension um 0°-15°
Grad 2:	mittel:	Gesamtabweichung in Flexion und/oder Extension um 15°-30°
Grad 3:	schwer:	Gesamtabweichung in Flexion und/oder Extension um >30°

##### b.) Im oberen Sprunggelenk (OSG)

Grad 0:	normal:	20/0/40
Grad 1:	leicht:	Gesamtabweichung in Flexion und/oder Extension um 0°-10°
Grad 2:	mittel:	Gesamtabweichung in Flexion und/oder Extension um 10°-20°
Grad 3:	schwer:	Gesamtabweichung in Flexion und/oder Extension um >20°

c.) Im unteren Sprunggelenk (USG)

(Gesamtabweichung gegenüber gesund)

Grad 0: normal: 0/3

Grad 1: leicht: 1/3

Grad 2: mittel: 2/3

Grad 3: schwer: 3/3

Dabei wird angenommen, dass im Gesundheitsfall beide Seiten dieselben Bewegungsumfänge hätten.

Überbeweglichkeiten werden mit einem normalen Bewegungsumfang gleichgesetzt.

### 3.6.1. In Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

#### 3.6.1.1. Kniegelenk

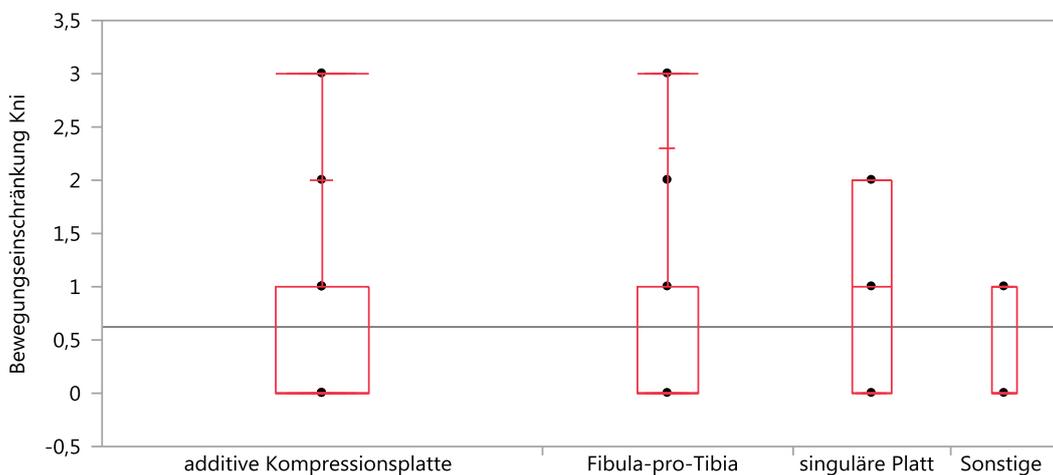


Abb. 16: Einfaktorielle Analyse der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

Die jeweiligen Mediane liegen für die „singuläre Platte“ bei Grad 1 der Bewegungseinschränkung und bei allen anderen Gruppen bei Grad 0 im Kniegelenk.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation.

### 3.6.1.2. Oberes Sprunggelenk (OSG)

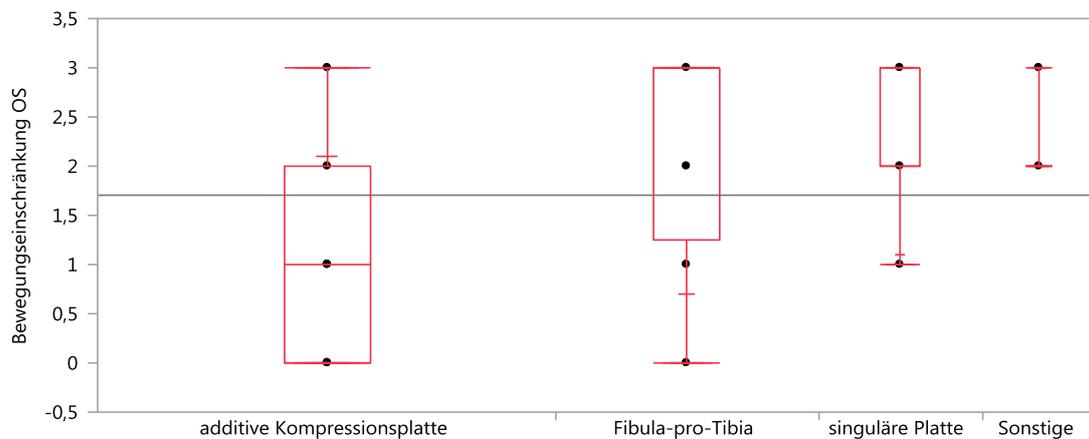


Abb. 17: Einfaktorielle Analyse der Bewegungseinschränkung im OSG in Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

Die jeweiligen Mediane liegen für die „additive Kompressionsplatte“ bei Grad 1, für „Fibula-pro-Tibia“ bei Grad 3, für „singuläre Platte“ bei Grad 2 und für „Sonstige“ bei Grad 2 der Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine signifikante  $\chi^2$ -Approximation mit 0,0002.

Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich folgende p-Werte, wie in Tabelle 4 dargestellt:

Tab. 4: p-Werte des nichtparametrischen Vergleichs für jedes Paar

	additive Kompressionsplatte	Fibula-pro-Tibia	singuläre Platte
Fibula-pro-Tibia	0,0008	-	-
singuläre Platte	0,0012	0,8408	-
Sonstiges	0,0060	0,4273	0,5229

### 3.6.1.3. Unteres Sprunggelenk (USG)

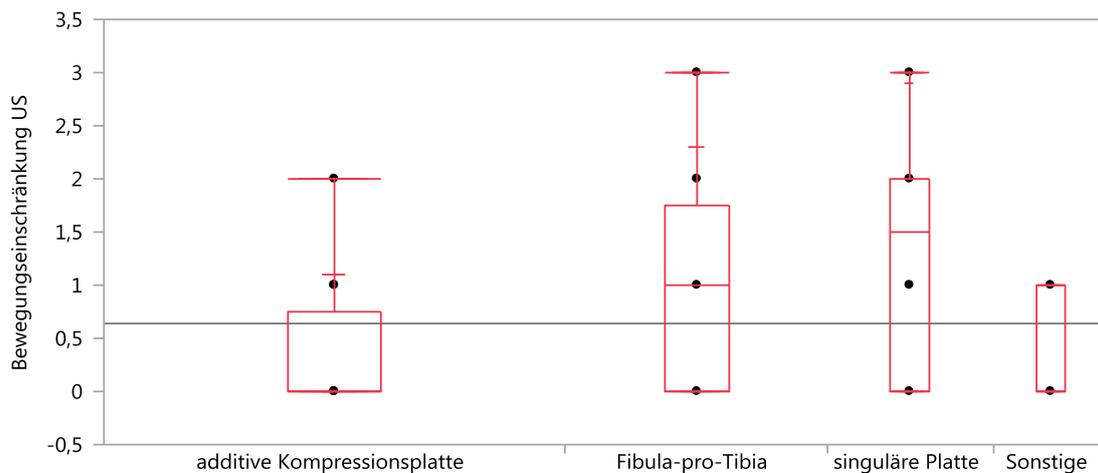


Abb. 18: Einfaktorielle Analyse der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

Die jeweiligen Mediane liegen für die „additive Kompressionsplatte“ bei Grad 0, für „Fibula-pro-Tibia“ bei Grad 1, für „singuläre Platte“ bei Grad 1,5 und für „Sonstige“ bei Grad 0 der Bewegungseinschränkung im unteren Sprunggelenk. Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine gering signifikante  $\chi^2$ -Approximation mit 0,0263.

Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich folgende p-Werte, wie in Tabelle 5 dargestellt:

Tab. 5: p-Werte des nichtparametrischen Vergleichs für jedes Paar

	additive Kompressionsplatte	Fibula-pro-Tibia	singuläre Platte
Fibula-pro-Tibia	0,0128	-	-
singuläre Platte	0,0162	0,5796	-
Sonstiges	0,4648	0,2338	0,1744

### 3.6.2. In Abhängigkeit des Alters zum Zeitpunkt des Unfalls

#### 3.6.2.1. Kniegelenk

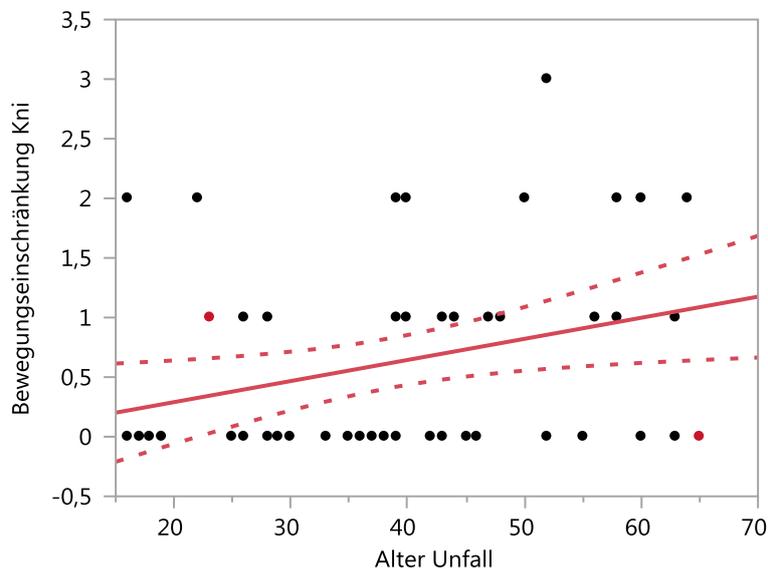


Abb. 19: Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt des Unfalls

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt des Unfalls ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,086715$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem Alter ein signifikantes  $p=0,0212$ .

### 3.6.2.2. Oberes Sprunggelenk (OSG)

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im OSG in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt des Unfalls ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,00349$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem Alter keine Signifikanz.

### 3.6.2.3. Unteres Sprunggelenk (USG)

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt des Unfalls ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,013873$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem Alter keine Signifikanz.

## 3.6.3. In Abhängigkeit des Geschlechts

### 3.6.3.1. Kniegelenk, oberes Sprunggelenk, unteres Sprunggelenk

Tab. 6: Mediane des Grades der Bewegungseinschränkung in Abhängigkeit des Geschlechts

Grad der Bewegungseinschränkung im	Median für „männlich“	Median für „weiblich“	Chi <sup>2</sup> -Approximation (Wilcoxon-Test)
Kniegelenk	0	0	0,4112
Oberes Sprunggelenk	2	1	0,0075
Unteres Sprunggelenk	0	0	0,8899

Somit ergibt sich nur für die Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk eine Signifikanz in Abhängigkeit des Geschlechts mit einer chi<sup>2</sup>-Approximation von 0,0075.

### 3.6.4. In Abhängigkeit der Schwere der Fraktur gemäß der AO-Klassifikation

#### 3.6.4.1. Kniegelenk

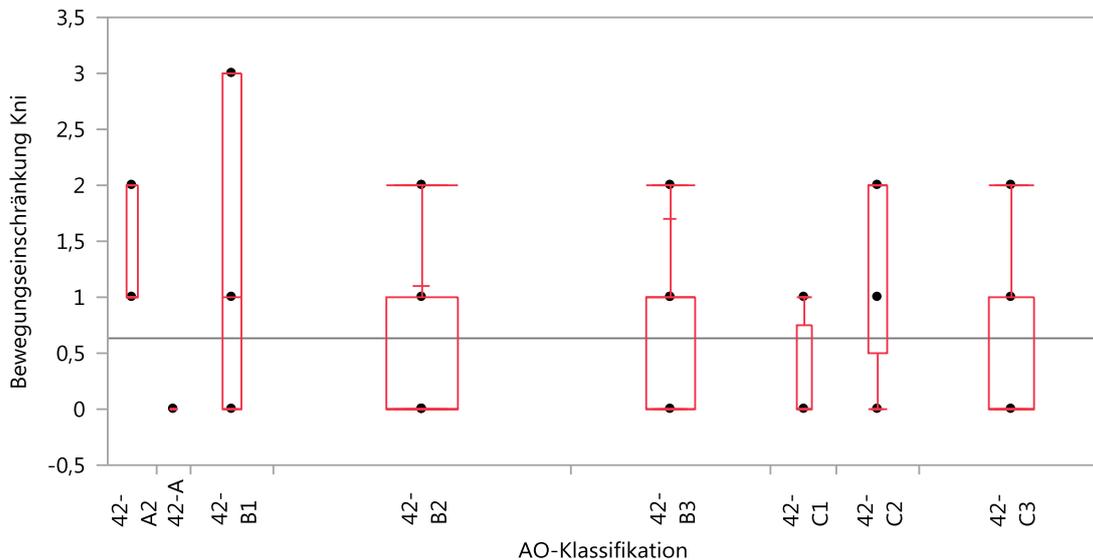


Abb. 20: Einfaktorielle Analyse der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Die jeweiligen Mediane sind in der nachfolgenden Tabelle 7 dargestellt:

Tab. 7: Mediane des Grades der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Grad der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk	AO-Klassifikation							
	42-A2	42-A3	42-B1	42-B2	42-B3	42-C1	42-C2	42-C3
	1	0	1	0	1	0	2	0

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,0470. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich überwiegend nicht signifikante p-Werte deutlich über 0,05. Es ergibt sich eine geringe Signifikanz zwischen

Frakturen der AO-Klassifikation 42-C2 und 42-B2 mit einem  $p=0,0148$ , sowie zwischen 42-B2 und 42-A2 mit einem  $p=0,0195$ .

### 3.6.4.2. Oberes Sprunggelenk (OSG)

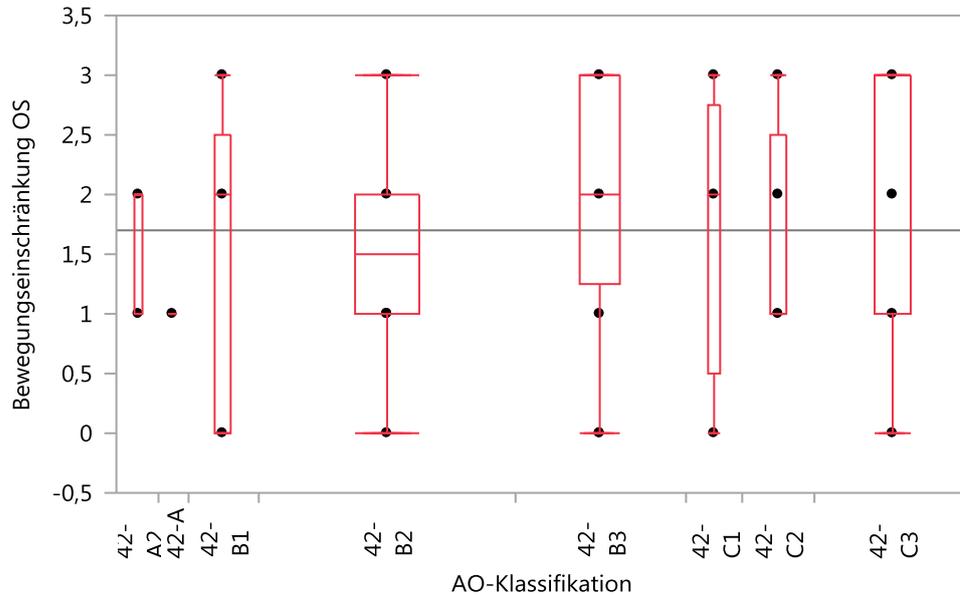


Abb. 21: Einfaktorielle Analyse der Bewegungseinschränkung im OSG in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Die jeweiligen Mediane sind in der nachfolgenden Tabelle 8 dargestellt:

Tab. 8: Mediane des Grades der Bewegungseinschränkung im OSG in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Grad der Bewegungseinschränkung im OSG	AO-Klassifikation							
	42-A2	42-A3	42-B1	42-B2	42-B3	42-C1	42-C2	42-C3
	2	1	2	1,5	2	2	1	3

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,5379. Auch bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

### 3.6.4.3. Unteres Sprunggelenk (USG)

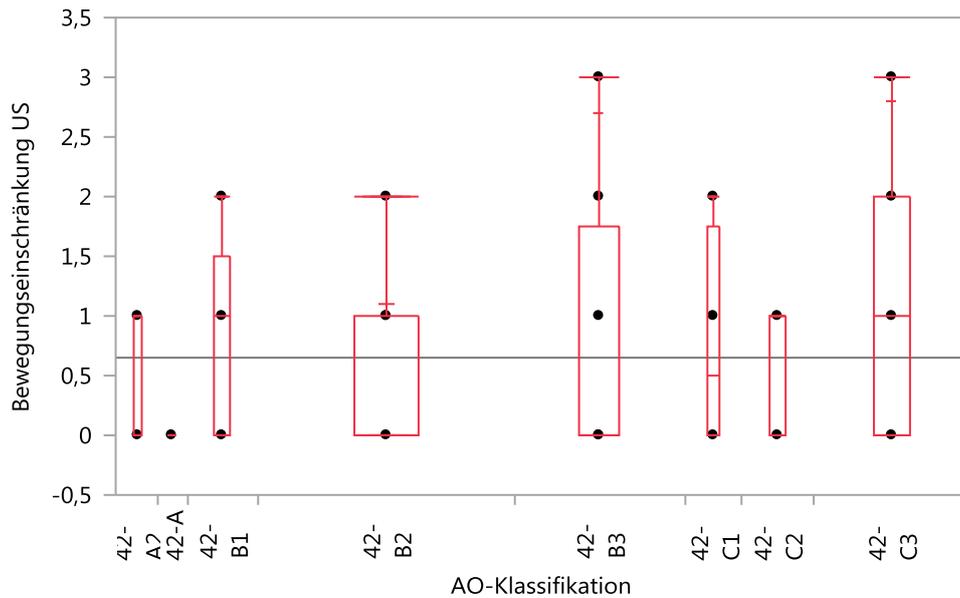


Abb. 22: Einfaktorielle Analyse der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Die jeweiligen Mediane sind in der nachfolgenden Tabelle 9 dargestellt:

Tab. 9: Mediane des Grades der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Grad der Bewegungseinschränkung im USG	AO-Klassifikation							
	42-A2	42-A3	42-B1	42-B2	42-B3	42-C1	42-C2	42-C3
	0	0	1	0	0	0,5	1	1

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,2033. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich überwiegend nicht signifikante p-Werte deutlich über 0,05. Es ergibt sich eine geringe Signifikanz zwischen Frakturen der AO-Klassifikation 42-C3 und 42-B2 mit einem  $p=0,0083$ .

### **3.6.5. In Abhängigkeit der Lokalisation**

#### **3.6.5.1. Kniegelenk**

Die jeweiligen Mediane für die Bewegungseinschränkung liegen für „distal“ bei Grad 0, für „mitte“ bei Grad 0 und für „proximal“ bei Grad 0,5 der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,9969. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

#### **3.6.5.2. Oberes Sprunggelenk (OSG)**

Die jeweiligen Mediane für die Bewegungseinschränkung liegen für „distal“ bei Grad 2, für „mitte“ bei Grad 1 und für „proximal“ bei Grad 1 der Bewegungseinschränkung im OSG.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,0301. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigt sich nur für den Vergleich „mitte“ – „distal“ ein signifikantes  $p=0,0123$ .

#### **3.6.5.3. Unteres Sprunggelenk (USG)**

Die jeweiligen Mediane für die Bewegungseinschränkung liegen für „distal“ bei Grad 1, für „mitte“ bei Grad 0 und für „proximal“ bei Grad 0 der Bewegungseinschränkung im USG.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt eine  $\chi^2$ -Approximation von 0,0444. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

### **3.6.6. In Abhängigkeit von geschlossener versus offener Fraktur**

#### 3.6.6.1. Kniegelenk

Die jeweiligen Mediane für die Bewegungseinschränkung liegen für „geschlossen“ und für „offen“ jeweils bei Grad 0 der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk.

Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation bzw. Unterschiede.

#### 3.6.6.2. Oberes Sprunggelenk (OSG)

Die jeweiligen Mediane für die Bewegungseinschränkung liegen für „geschlossen“ und für „offen“ jeweils bei Grad 2 der Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk.

Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation.

#### 3.6.6.3. Unteres Sprunggelenk (USG)

Die jeweiligen Mediane für die Bewegungseinschränkung liegen für „geschlossen“ und für „offen“ jeweils bei Grad 0 der Bewegungseinschränkung im unteren Sprunggelenk.

Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation.

### 3.7. Auswertung nach Lebensqualität

Die Auswertung nach Lebensqualität erfolgt auf der Basis von zwei bzw. Teilen von zwei Fragebögen, dem Merchant und Dietz Score (MaD-Score) sowie der persönlichen Einschätzung des aktuellen Gesundheitszustandes aus dem EQ-5D Gesundheitsfragebogen.

Die Abb. 23 zeigt die Verteilung der Bewertung des MaD-Scores unabhängig der Gruppenzugehörigkeit. Dabei gründet sich die Auswertung aufgrund von teilweise nicht vollständig ausgefüllten Fragebögen bzw. ungültigen Fragebögen auf eine Gruppengröße von n=51.

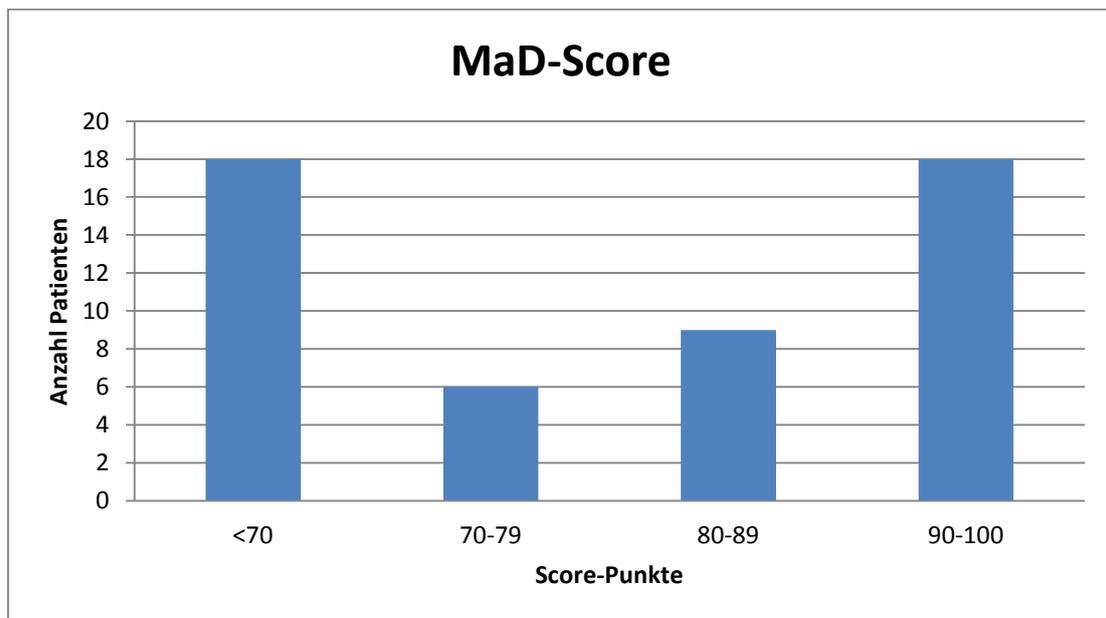


Abb. 23: Anzahl der Patienten aufgeteilt gemäß der Score-Punkte des MaD-Score

Abb. 24 zeigt die Verteilung der persönlichen Einschätzung des Gesundheitszustandes, wie er im EQ-5D erhoben wurde. Er gründet sich auf eine Probandenzahl von n=51.

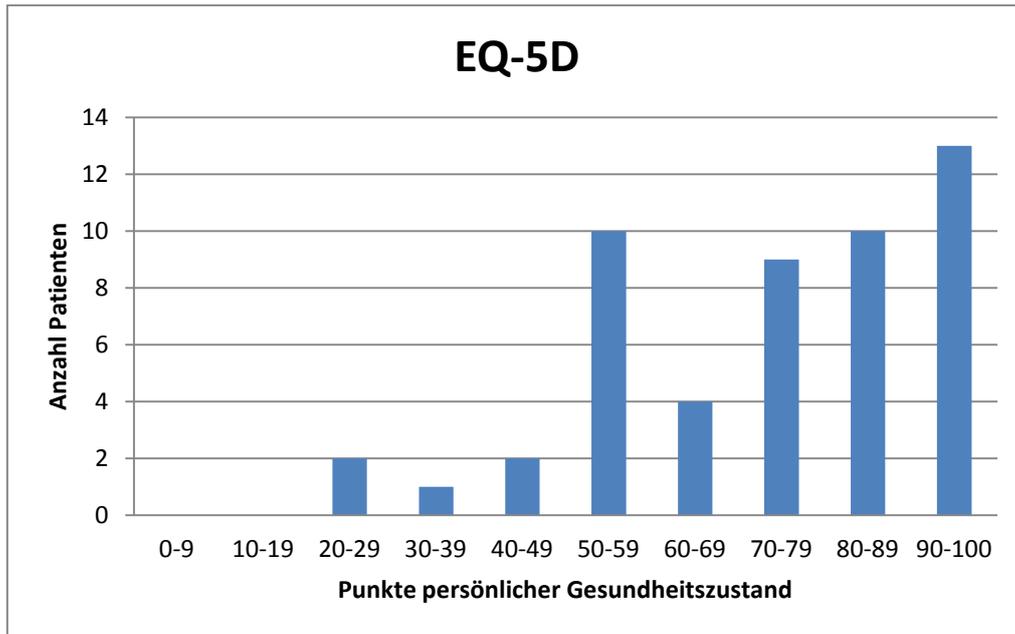


Abb. 24: Anzahl der Patienten aufgeteilt gemäß des persönlichen Gesundheitszustandes nach dem EQ-5D

Dabei gelten für beide Scores folgende Probandenzahlen für die einzelnen Gruppen:

Für die „additive Kompressionsplatte“ gilt  $n=26$ , für die „Fibula-pro-Tibia“ gilt  $n=12$ , für die „singuläre Platte“ gilt  $n=7$  und für „Sonstige“ gilt  $n=6$ .

### 3.7.1. In Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

#### 3.7.1.1. MaD-Score

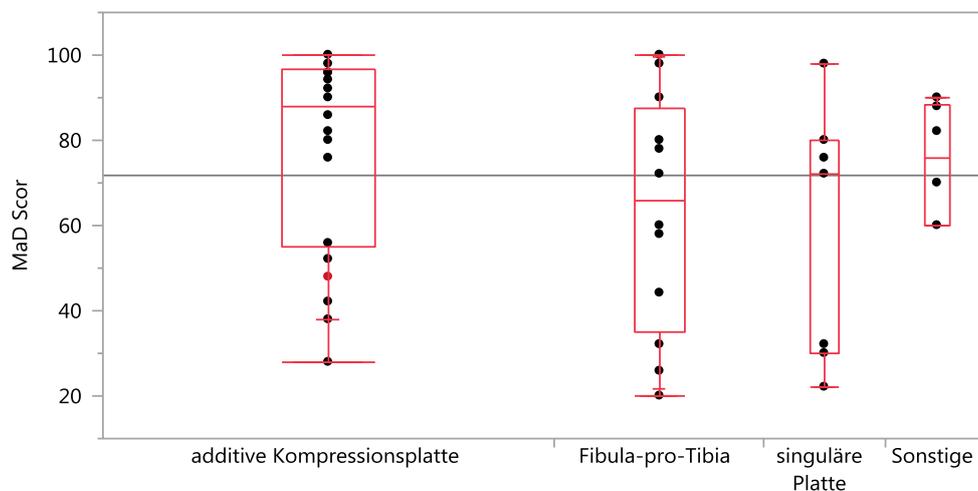


Abb. 25: Einfaktorielle Analyse des MaD-Score in Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

Die jeweiligen Mediane liegen für die „additive Kompressionsplatte“ bei einem Score-Wert von 88, für „Fibula-pro-Tibia“ bei einem Score-Wert von 66, für „singuläre Platte“ bei einem Score-Wert von 72 und für „Sonstige“ bei einem Score-Wert von 76.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation, allerdings einen leichten Trend zugunsten der additiven Plattenosteosynthese.

Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigt sich nur für den Vergleich „singuläre Platte“ zu „additiver Kompressionsplatte“ ein allenfalls gering signifikanter p-Wert von  $p=0,0495$ .

### 3.7.1.2. Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D

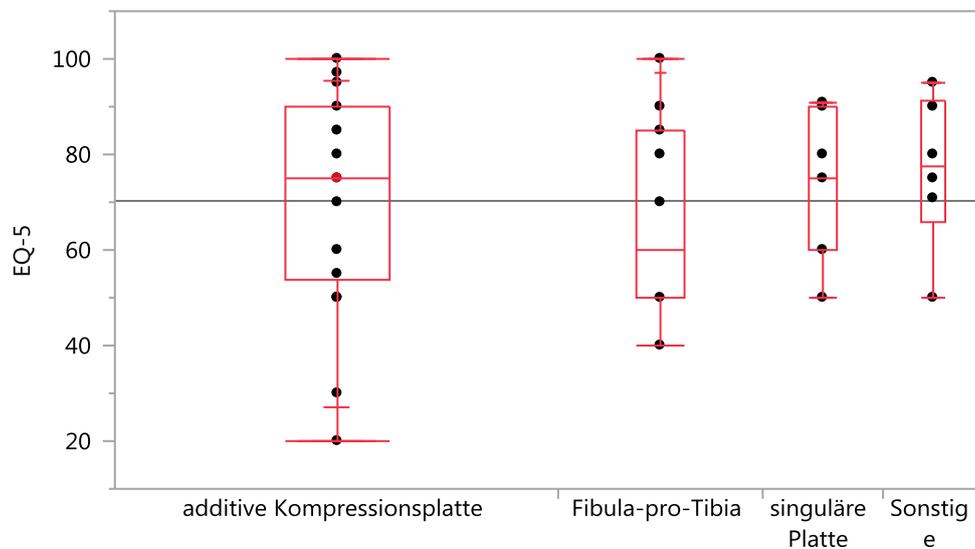


Abb. 26: Einfaktorielle Analyse des persönlichen Gesundheitszustandes nach dem EQ-5D in Abhängigkeit der unterschiedlichen Gruppen

Die jeweiligen Mediane liegen für die „additive Kompressionsplatte“ bei einem Score-Wert von 75, für „Fibula-pro-Tibia“ bei einem Score-Wert von 60, für „singuläre Platte“ bei einem Score-Wert von 75 und für „Sonstige“ bei einem Score-Wert von 77,5.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation.

Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

### 3.7.2. In Abhängigkeit der Schwere der Fraktur gemäß der AO-Klassifikation

#### 3.7.2.1. MaD-Score

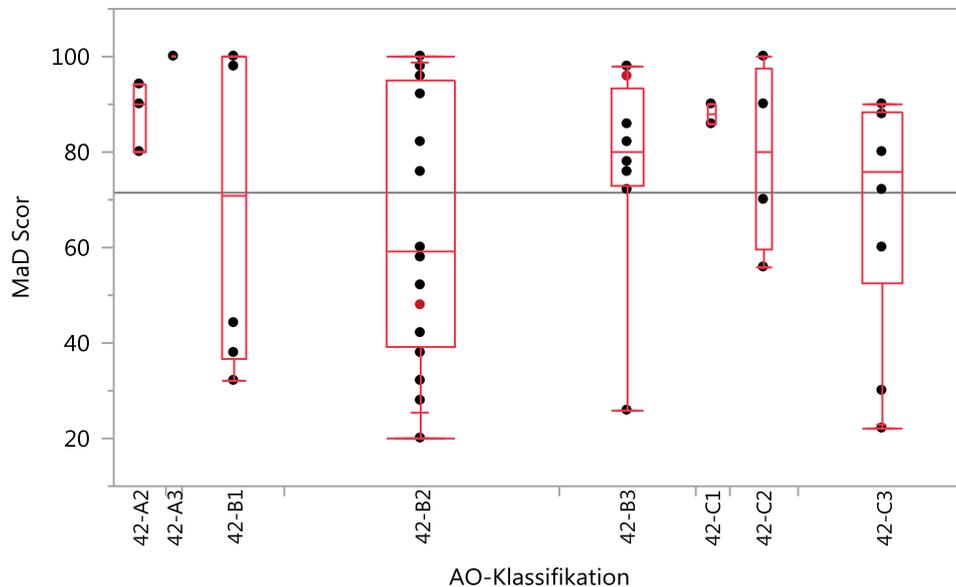


Abb. 27: Einfaktorielle Analyse des MaD-Score in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Die jeweiligen Mediane sind in der nachfolgenden Tabelle 10 dargestellt:

Tab. 10: Mediane der Score-Werte des MaD-Score in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

<b>AO-Klassifikation</b>	
<b>MaD-Score</b>	<b>AO-Klassifikation</b>
	<b>42-A2</b>
90	<b>42-A3</b>
	<b>42-B1</b>
71	<b>42-B2</b>
59	<b>42-B3</b>
80	<b>42-C1</b>
88	<b>42-C2</b>
80	<b>42-C3</b>
76	

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

### 3.7.2.2. Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D

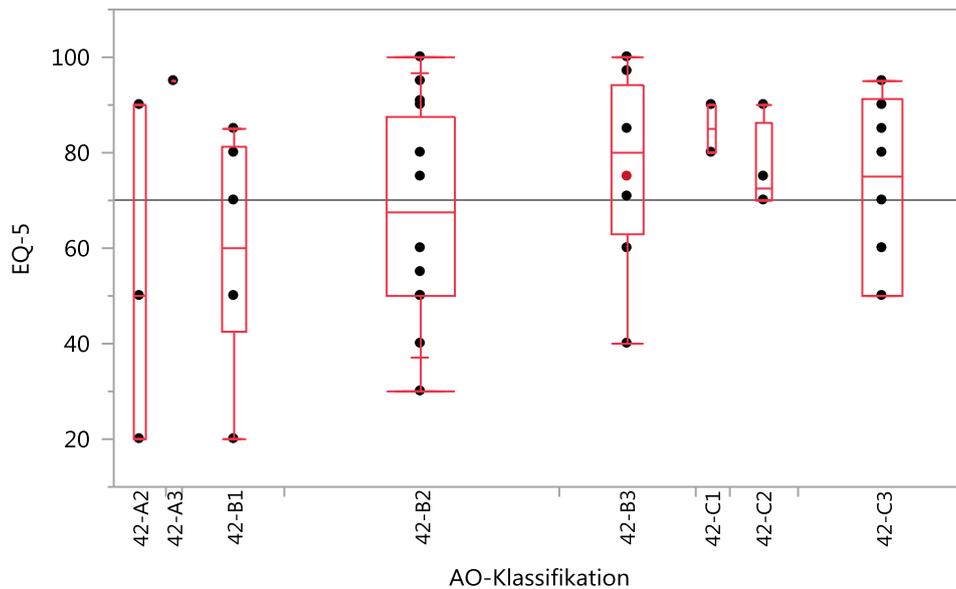


Abb. 28: Einfaktorielle Analyse des persönlichen Gesundheitszustandes nach dem EQ-5D in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

Die jeweiligen Mediane sind in der nachfolgenden Tabelle 11 dargestellt:

Tab. 11: Mediane der Punkt-Werte im EQ-5D in Abhängigkeit der Schwere der Fraktur

	<b>AO-Klassifikation</b>							
	<b>42-A2</b>	<b>42-A3</b>	<b>42-B1</b>	<b>42-B2</b>	<b>42-B3</b>	<b>42-C1</b>	<b>42-C2</b>	<b>42-C3</b>
<b>Punkte im EQ-5D</b>	50	95	60	67,5	80	85	72,5	75

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

### **3.7.3. In Abhängigkeit der Lokalisation**

#### **3.7.3.1. MaD-Score**

Die jeweiligen Mediane liegen für „distal“ bei 79, für „mitte“ bei 81 und für „proximal“ bei 96 Punkten im MaD-Score.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

#### **3.7.3.2. Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D**

Die jeweiligen Mediane liegen für „distal“ bei 80, für „mitte“ bei 70,5 und für „proximal“ bei 75 Punkten im persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D.

Die Auswertung nach dem Kruskal-Wallis-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation. Bei dem folgenden nichtparametrischen Vergleich für jedes Paar mittels der Wilcoxon-Methode zeigen sich keine signifikanten p-Werte.

### **3.7.4. In Abhängigkeit von geschlossener versus offener Fraktur**

#### **3.7.4.1. MaD-Score**

Die jeweiligen Mediane für den MaD-Score liegen für „geschlossen“ bei 81 und für „offen“ bei 80 Scorepunkten.

Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation.

#### **3.7.4.2. Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D**

Die jeweiligen Mediane liegen für „geschlossen“ bei 75 und für „offen“ bei 77,5 Punkten im persönlichen Gesundheitszustand nach dem EQ-5D.

Die Auswertung nach dem Wilcoxon-Test ergibt keine signifikante  $\chi^2$ -Approximation.

### 3.7.5. In Abhängigkeit der Bewegungseinschränkungen

#### 3.7.5.1. MaD-Score

##### 3.7.5.1.1. Kniegelenk

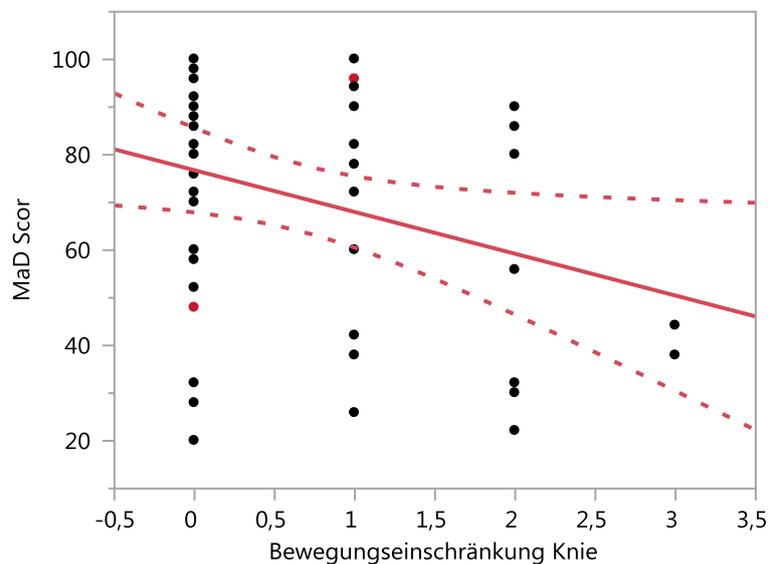


Abb. 29: Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit des MaD-Score

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit vom MaD-Score ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,0923$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit MaD-Score ein gering signifikantes  $p=0,0338$ .

### 3.7.5.1.2. Oberes Sprunggelenk

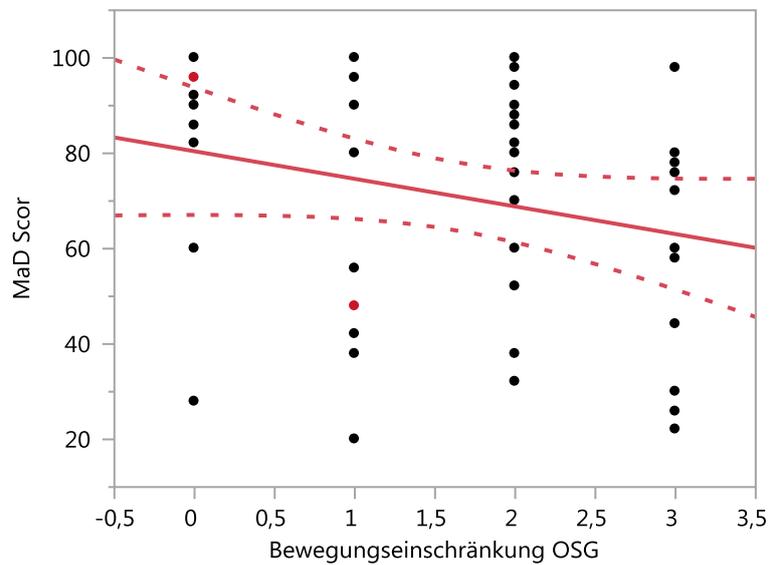


Abb. 30: Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im OSG in Abhängigkeit des MaD-Score

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk in Abhängigkeit vom MaD-Score ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,058164$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit MaD-Score keinen signifikanten p-Wert. Es findet sich ein leichter Trend in Bezug auf die Korrelation zwischen größerer Bewegungseinschränkung und niedrigerem MaD-Score-Wert.

### 3.7.5.1.3. Unteres Sprunggelenk

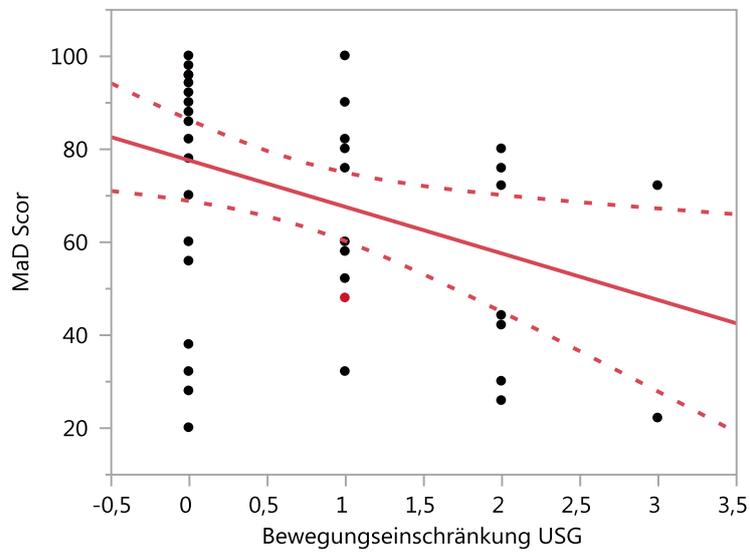


Abb. 31: Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit des MaD-Score

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit vom MaD-Score ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,120528$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem MaD-Score ein signifikantes  $p=0,0145$ .

### 3.7.5.2. Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D

#### 3.7.5.2.1. Kniegelenk

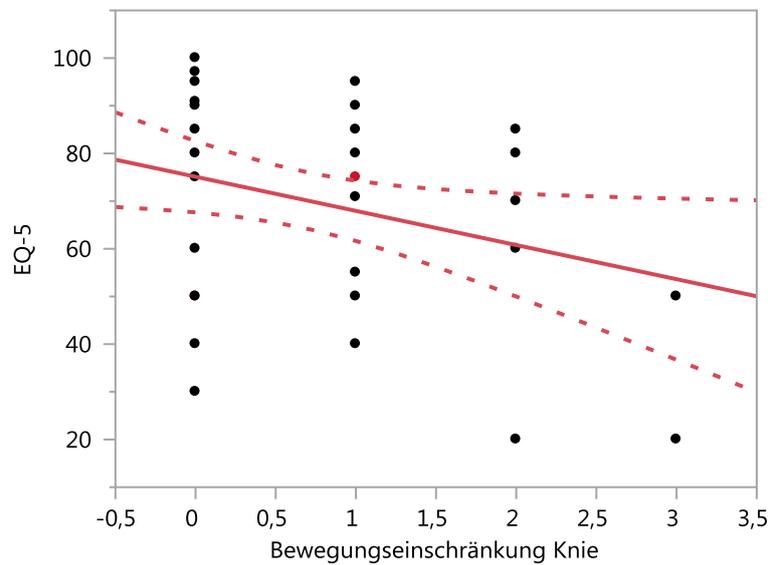


Abb. 32: Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit des persönlichen Gesundheitszustandes nach EQ-5D

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im Kniegelenk in Abhängigkeit des persönlichen Gesundheitszustandes nach EQ-5D ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,08699$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ein signifikantes  $p=0,0397$ .

### 3.7.5.2.2. Oberes Sprunggelenk

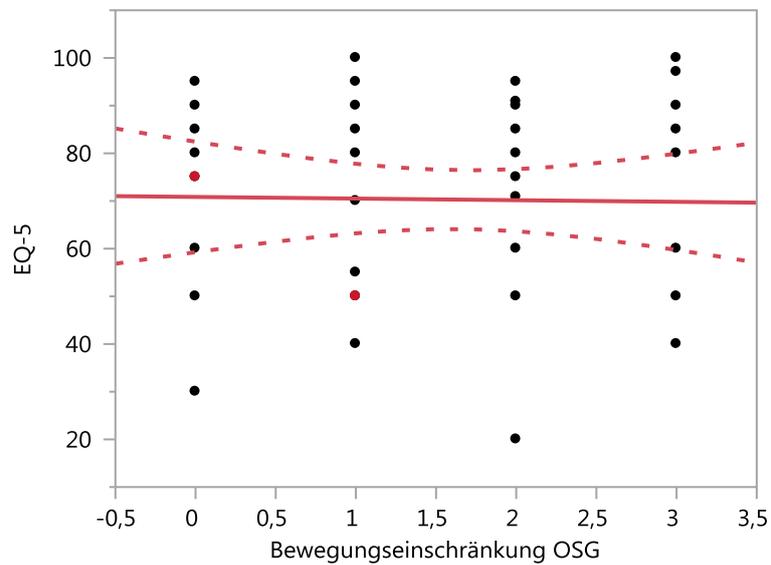


Abb.33: Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im OSG in Abhängigkeit des persönlichen Gesundheitszustandes nach EQ-5D

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im OSG in Abhängigkeit des persönlichen Gesundheitszustandes nach EQ-5D ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,000286$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ein  $p=0,9082$ .

### 3.7.5.2.3. Unteres Sprunggelenk

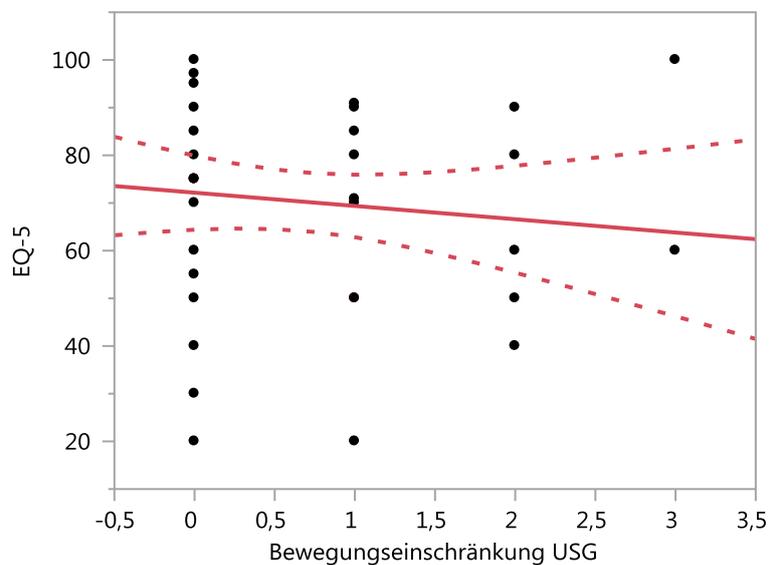


Abb. 34: Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit des persönlichen Gesundheitszustandes nach EQ-5D

Die Bivariate Anpassung der Bewegungseinschränkung im USG in Abhängigkeit des persönlichen Gesundheitszustandes nach EQ-5D ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,013152$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ein  $p=0,4327$ .

### 3.7.6. In Abhängigkeit des muskulären Defizits

#### 3.7.6.1. MaD-Score

##### 3.7.6.1.1. Veränderung im Oberschenkelumfang 20 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes

Die Bivariate Anpassung der Veränderung im Umfang des Oberschenkels 20 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes in Abhängigkeit vom MaD-Score ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,000515$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem MaD-Score ein  $p=0,8783$ .

#### 3.7.6.1.2. Veränderung im Oberschenkelumfang 10 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes

Die Bivariate Anpassung der Veränderung im Umfang des Oberschenkels 10 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes in Abhängigkeit vom MaD-Score ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,00144$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem MaD-Score ein  $p=0,7979$ .

#### 3.7.6.1.3. Veränderung am minimalen Umfang des Unterschenkels

Die Bivariate Anpassung der Veränderung am minimalen Umfang des Unterschenkels in Abhängigkeit vom MaD-Score ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,01676$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem MaD-Score ein  $p=0,3805$ .

#### 3.7.6.2. Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D

##### 3.7.6.2.1. Veränderung im Oberschenkelumfang 20 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes

Die Bivariate Anpassung der Veränderung im Umfang des Oberschenkels 20 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes in Abhängigkeit vom persönlichen

Gesundheitszustand nach EQ-5D ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,001816$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ein  $p=0,7737$ .

#### 3.7.6.2.2. Veränderung im Oberschenkelumfang 10 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes

Die Bivariate Anpassung der Veränderung im Umfang des Oberschenkels 10 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes in Abhängigkeit vom persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,007386$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ein  $p=0,5614$ .

#### 3.7.6.2.3. Veränderung am minimalen Umfang des Unterschenkels

Die Bivariate Anpassung der Veränderung am minimalen Umfang des Unterschenkels in Abhängigkeit vom persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,00291$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ein  $p=0,7158$ .

### 3.7.7. In Abhängigkeit der Beinlängendifferenz

#### 3.7.7.1. MaD-Score

Die Bivariate Anpassung der Beinlängendifferenz in Abhängigkeit vom MaD-Score ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,014938$ . Der Parameterschätzer mit

Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem MaD-Score ein  $p=0,4028$ .

### 3.7.7.2. Persönlicher Gesundheitszustand nach EQ-5D

Die Bivariate Anpassung der Beinlängendifferenz in Abhängigkeit vom persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ergibt mittels einer Regressionskurve (und Konfidenzbändern) einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2=0,000017$ . Der Parameterschätzer mit Standardfehler und Signifikanz ergibt für die Korrelation mit dem persönlichen Gesundheitszustand nach EQ-5D ein  $p=0,9775$ .

## 4. Diskussion

Die Behandlung von Pseudarthrosen der unteren Extremität hat eine wichtige sozioökonomische Bedeutung (Heckmann und Sarasohn-Kahn 1997). Darüber hinaus zeigen auch die reinen Behandlungskosten im Vergleich zu normal heilenden Tibiaschaftfrakturen einen deutlichen Unterschied. Antonova et al. (2013) hat bei 853 Patienten (99 mit Pseudarthrosenbildung, 754 mit normaler Frakturheilung) die gesamten Behandlungskosten verglichen und kam zu dem Ergebnis, dass im Schnitt eine Pseudarthrose mit 53.506,36\$ mehr als doppelt so viel kostet im Vergleich zu 20.983,55\$ bei normaler Frakturheilung.

Die Behandlungsempfehlungen für Unterschenkel pseudarthrosen sind in der Literatur nicht einheitlich. Der Grund dafür ist die Heterogenität der betroffenen Patientenkollektive. Um eine genügend große Patientenzahl zu erhalten, haben viele Autoren unterschiedliche Typen von Pseudarthrosen eingeschlossen. Pseudarthrosen können in die nachfolgenden Typen eingeteilt werden: Aseptisch und septisch, radiologisch in atrophe und hypertrophe sowie biomechanisch in instabile und stabilere (straffe) Pseudarthrosen (Paley et al. 1989). In der Literatur wurden sehr häufig unterschiedliche Operationsmethoden zur Behandlung der Pseudarthrosen erwähnt und empfohlen. Zu nennen sind die aufgebohrte Austausch-Marknagelung, die additive Plattenosteosynthese bei einliegendem Marknagel (zum Teil auch als reine Plattenosteosynthese vorliegend), lokale Spongiosaplastik und die Segmentresektion mit Segmenttransport nach Ilizarov (Sledge et al. 1989, Wiss et al. 1992, Oh et al. 2008, Wu et al. 1999, Templeman et al. 1995, Zelle et al. 2004).

Interessanterweise haben diese Arbeiten die Lebensqualität und die Zeit bis zur knöchernen Ausheilung nicht berücksichtigt.

Die vorliegende Studie soll einen Teil dieser Lücke schließen.

Aufgrund der Tatsache, dass das Haupteinschlusskriterium eine Pseudarthrose des Tibiaschaftes war, kam ein Patientengut mit einer Vielzahl an möglichen Behandlungsmethoden in Frage. Die Auswahl für eine dieser Behandlungsmethoden wurde von den behandelnden Ärzten in Bezug auf das

vorherrschende klinische Bild, den bisherigen Verlauf und das zu erwartende Ergebnis getroffen. Die Möglichkeit der Aufnahme in eine Studie spielte zu diesem Zeitpunkt keine Rolle. Daher ist ein „Selection-Bias“ möglich.

Das Patientengut wurde entsprechend der zur Ausheilung führenden letzten Operationsart in weitere 7 Gruppen unterteilt, dabei besteht die 7. Gruppe aus einem einzigen Probanden, wobei die Pseudarthrose spontan ohne Intervention ausheilte. Durch diese Aufteilung ergaben sich Gruppen mit einer Probandenzahl zwischen 1 und 29. Tibiaschaftpseudarthrosen sind kein allzu häufiges Krankheitsbild. Die Inzidenz beträgt in der Literatur zwischen 5-10% (Praemer et al. 1992, Harris und Lyons 2005), bezogen auf Tibiaschaftfrakturen. Andere Studien zeigen ähnlich niedrige Inzidenzen. So verglichen Janssen et al. (2007) jeweils 12 Patienten mit dynamischer Kompressionsplatte und 12 Patienten mit intramedullärer Marknagelung. Johnson und Marder (1987) untersuchten insgesamt 20 Patienten mit intramedullärer Marknagelung und Spongiosaplastik. Tall et al. (2014) beobachteten den Heilungsverlauf von 50 Patienten mit Pseudarthrosen in unterschiedlichen langen Röhrenknochen, davon 22 an der Tibia. Nach aktuellem Kenntnisstand handelt es sich bei der vorliegenden Studie um die einzige Studie, welche die verschiedenen Behandlungsverfahren in diesem Ausmaß miteinander vergleicht. Um dennoch eine auswertbare Größe zu behalten, wurden die Gruppen 4 bis 7 im Rahmen der statistischen Auswertung zusammengefasst.

Eine weitere mögliche Einschränkung der Allgemeingültigkeit der vorliegenden Studie besteht in der Tatsache, dass das Patientengut eine Vielzahl an Inhomogenitäten aufweist. So variieren die Punkte Verletzungsart, Begleiterkrankungen, Voroperationen/-behandlungen und mögliche Risikofaktoren zum Teil deutlich.

Die einzelnen Voroperationen/-behandlungen und mögliche Risikofaktoren wie z.B. Diabetes wurden im Rahmen der Studie im Einzelnen nicht vollständig erfasst. Daher ist nicht auszuschließen, dass mehrere dieser Punkte erheblichen Einfluss auf das klinische Outcome ausüben könnten, welches sich

in den einzelnen Scores / Fragebögen z.B. bei der subjektiven Schmerzempfindung widerspiegeln oder direkten Einfluss auf die Heilungszeit nehmen könnte.

In der vorliegenden Studie waren 30,2% geschlossene und 68,3% offene Frakturen. In der Literatur zeigen sich ähnliche Prozentzahlen. Johnson und Marder (1987) untersuchten 60 % offene Frakturen, Brinker et al. (2013) 48,6%.

Rauchen wird in der Literatur als Risikofaktor für eine schlechtere Frakturheilung bis hin zu einer Pseudarthrose gesehen. Zu dieser Schlussfolgerung kommen beispielsweise Moghaddam et al. (2011). In der vorliegenden Arbeit waren 22 der 63 Probanden (34,9%) Raucher zum Zeitpunkt des Unfalls. Dabei wurde zwischen starken und weniger starken Rauchern nicht unterschieden. Die Zahl der ehemaligen starken Raucher wurde möglicherweise durch Fehlangaben seitens der Patienten zu wenig berücksichtigt. Die Angabe unterlag insgesamt der freiwilligen Mitarbeit des jeweiligen Probanden. Ein mögliches Bias ist hier daher nicht auszuschließen.

Die klinische Nachuntersuchung erfolgte jeweils unter Kontrolle derselben erfahrenen Ärzte. Eine Konstanz in der Untersuchungsqualität kann daher angenommen werden. Für alle Probanden, die nicht zu einer Nachuntersuchung erscheinen konnten, lag mindestens ein fachärztliches Gutachten vor. Auch hierbei kann von einer hohen Untersuchungsqualität ausgegangen werden, die eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der vorliegenden klinischen Nachuntersuchungen möglich macht.

Zur Bestimmung der Beinlängendifferenz lagen keine Röntgenaufnahmen der gesamten unteren Extremitäten vor. Aus ethischen Gründen wurde auf eine diesbezügliche Strahlenbelastung verzichtet. Die Messung mit einer Beckenwaage und entsprechenden Ausgleichshölzern unterliegt zwar einer im Vergleich etwas größeren Ungenauigkeit, wurde allerdings allen Patienten zugrunde gelegt.

Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte ebenfalls unter Kontrolle jeweils derselben erfahrenen Ärzte. Die Frage, ob und wann eine Ausheilung erfolgte,

wurde mittels Röntgenkontrolle beantwortet. Bezüglich der Tatsache, dass die Röntgenbilder in bestimmten Abständen angefertigt wurden, kann eine mögliche Verzögerung in der Feststellung der Ausheilung erfolgt sein. So kann eine gewisse Schwankungsbreite in der Angabe der Heilungszeit aufgrund verspätet angefertigter Röntgenbilder nicht ausgeschlossen werden.

Neben den klinischen Schwerpunkten dieser Studie flossen in die Ergebnisse auch der Merchant und Dietz Score und die Frage nach dem persönlichen Gesundheitszustand gemäß dem EQ-5D ein. Die Schwachstelle eines jeden subjektiven Fragebogens liegt in dem Probanden und seiner Selbsteinschätzung. Hierbei ergeben sich interindividuelle Unterschiede. Insbesondere Fragen nach der Schmerzfreiheit unterliegen einer erfahrungsgemäß sehr großen Schwankungsbreite innerhalb der Populationen und sind von multiplen Faktoren abhängig. Da neben der Schmerzempfindung auch die Schmerzbewertung individuell unterschiedlich ist, kann bei gleicher Schmerzempfindung eine unterschiedliche Bewertung der jeweiligen subjektiven Situation des Gesundheitszustandes entstehen.

Aus eben diesen Gründen liegt ein großes Augenmerk in dieser Studie nicht nur auf der objektiven Ausheilung der Pseudarthrose, sondern insbesondere auch auf der subjektiven Einschätzung des Gesundheitszustandes. Denn nur in der Zusammenschau der subjektiven und objektiven Bereiche von Gesundheit kann eine ganzheitliche Bewertung der Patientensituation stattfinden. Diesem Grundsatz sollte in dieser Studie auch durch die Fragebögen Rechnung getragen werden.

Allerdings zeigt insbesondere der Score nach Merchant und Dietz eine deutliche Gewichtung des Schmerzes mit 40%. Möglicherweise hat sich hierbei ein Bias entwickelt, welches einen deutlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben könnte.

Ähnlich wie in vielen anderen Publikationen waren auch in dieser Studie mehr Männer als Frauen inkludiert (Heppenstall et al. 1984). So waren es 21 % (13) weibliche und 79 % (50) männliche Probanden.

In der durchgeführten Fallkontrollserie wurden insgesamt 68,3 % (43) offene und 30,2 % (19) geschlossene Frakturen untersucht. Bei einem Probanden konnte die Ursprungsfraktur retrospektiv weder als geschlossen noch als offen klassifiziert werden.

Offene Frakturen gelten gemeinhin als assoziiert mit einem höheren Risiko für Komplikationen wie Pseudarthrose, Infektion und Kompartment-Syndrom (Papakostidis et al. 2011, Fong et al. 2013). In der Literatur nicht ausreichend beschrieben ist die Frage, ob nach Entstehung einer Pseudarthrose auch die Heilungszeit in der Folge im Vergleich zu einer geschlossenen Fraktur signifikant unterschiedlich ist. In dieser Studie lagen die jeweiligen Mediane bei 4 Monaten, es zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Diese Tatsache lässt den Schluss vermuten, dass es nach Entstehung einer Pseudarthrose keine gewichtige Rolle spielt, ob es sich ursprünglich um eine offene oder eine geschlossene Fraktur gehandelt hat.

Dennoch zeigten die Ergebnisse eine Tendenz dazu, dass eine leichte Ursprungsverletzung (42-A2 gemäß AO) gegenüber einer schwerwiegenderen (42-C3) einen Vorteil hinsichtlich einer schnelleren Ausheilung hat ( $p=0,0324$ ). Bei den weiteren Klassifikationen ließen sich keine signifikanten Unterschiede erkennen.

Einen deutlichen Unterschied in der Heilungszeit ergab sich im Hinblick auf die Entität der Pseudarthrose. Atrophe Pseudarthrosen zeigten im Vergleich zu hypertrophen eine deutlich prolongierte Heilungszeit ( $p=0,0007$ ). In der Literatur gilt eine atrophe Pseudarthrose im Gegensatz zu einer hypertrophen meist auch als avaskulär (Runkel und Rommens 2000), was die längere Heilungszeit erklären soll. Diese Ansicht wird von anderen Studien widerlegt (Reed et al. 2002). Dieser sehr interessante Punkt sollte durch weitere Studien überprüft werden.

Ein besonderes Augenmerk richtete man in dieser Studie auch auf die Erfolgs-Operation an sich. Von den in dieser Studie angewandten Operationsmethoden ergaben sich nur geringe Unterschiede in Bezug auf die Heilungszeit. So zeigte die additive Kompressionsplattenosteosynthese eine signifikant kürzere

Heilungszeit als die anderen Verfahren wie die singuläre Plattenosteosynthese ( $p=0,075$ ), die Fibula-pro-Tibia-Operation ( $p=0,0097$ ) oder Sonstige ( $p=0,0185$ ). Dieser Effekt beruht möglicherweise hauptsächlich auf der Kombination von geringerer Frakturschwere mit geringerem Weichteilschaden und additiver Kompressionsplattenosteosynthese mit daraus resultierender erhöhter biomechanischer Stabilität.

Nach den vorliegenden Informationen zeigt keine andere Studie einen Vergleich zwischen der Heilungszeit und der Erfahrung des ausführenden Operateurs sowie der Operationsdauer.

Man teilte die Operateure in die Gruppen „erfahren“ und „unerfahren“ ein. Dabei galten alle Operateure ab einem Facharztstatus als erfahren. Es sei denn, sie haben ihren Facharzt in einem auswärtigen Haus gemacht, in welchem diese Operationen nicht oder nicht in dem hier vorherrschenden Maße durchgeführt wurden. Die traumatologische Abteilung der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen wird mit dem Krankheitsbild der Tibiaschaftpseudarthrose öfters konfrontiert. Bei der Auswertung ergab sich kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Heilungszeit. Unter Berücksichtigung der Pseudarthroseentität erzielten erfahrene Operateure signifikant kürzere Heilungszeiten bei hypertrophen Pseudarthrosen gegenüber atrophen. Im Vergleich zu unerfahrenen Operateuren zeigte sich ein geringer, jedoch nicht signifikanter Trend zugunsten der erfahrenen Operateure. Allerdings nur in Bezug auf hypertrophe Pseudarthrosen.

Die Überprüfung der Operationsdauer ergab mit einem Korrelationskoeffizienten  $r^2=0,073142$  keinen signifikanten Zusammenhang mit der Heilungszeit. Erst die Aufschlüsselung nach den einzelnen Gruppen zeigte eine Abhängigkeit der Operationsdauer von der erfolgten Revisionsoperation. Dabei besaß die additive Kompressionsplattenosteosynthese mit einem Median von 85 Minuten die kürzeste Dauer. Allerdings korrelierte diese Operationsart auch mit der geringsten Schwere der Fraktur, denn 100% der als A2 und A3 klassifizierten Frakturen wurden mit der Kompressionsplatte behandelt.

Dieses Ergebnis erscheint einem eher überraschend, hätte man doch einen klaren Benefit aus Sicht der erfahrenen Operateure und der kürzeren

Operationszeiten erwartet. Eine mögliche Erklärung ist die Tatsache, dass die erfahrenen Operateure diese Eingriffe mit Einhaltung der Qualitätsstandards assistierten. Einen direkten Vergleich zwischen Heilungszeit und Grad der Erfahrung des Operateurs konnte man in der Literatur nicht finden. Allerdings werden im Allgemeinen immer wieder peri- und intraoperative Unterschiede bei Eingriffen der unteren Extremität in Bezug auf die Erfahrung des Operateurs beschrieben. So gibt Bosch et al. (2003) bei der Behandlung von medialen Schenkelhalsfrakturen eine doppelt so hohe allgemeine Komplikationsrate für unerfahrene versus erfahrene Operateure an. Blattert et al. (2004) zeigte bei der Marknagelung nach Frakturen langer Röhrenknochen eine deutlich erhöhte Strahlenexposition bei längeren Durchleuchtungszeiten von unerfahrenen Operateuren.

Als bedeutende Komplikationen in der vollständigen Ausheilung von Tibiaschaftpseudarthrosen gelten das postoperative Vorliegen von Beinverkürzungen, Achsfehlstellungen und Bewegungseinschränkungen.

Eine sehr wichtige Rolle für das spätere allgemeine Gesundheitsempfinden und die allgemeine soziale Teilhabe des jeweiligen Patienten an der Gesellschaft spielt das Maß der verbleibenden Bewegungseinschränkung in den angrenzenden Gelenken. Entscheidend ist aus Sicht der vorliegenden Studie dabei nicht das absolute Maß an Bewegung, gemessen an den in der Literatur üblichen Freiheitsgraden für das Kniegelenk und das obere und das untere Sprunggelenk, sondern letztlich der Vergleich zwischen dem gesunden und dem kranken Bein. Man hat versucht, die Beweglichkeit bzw. die Bewegungseinschränkung in Grade einzuteilen, welche die Schwere der Bewegungseinschränkung widerspiegeln soll.

Diese Bewegungseinschränkungen sind letztlich entscheidend, ob eine signifikante Minderung der Erwerbsfähigkeit vorliegt oder nicht. Daher ist die ökonomische Relevanz dieser Gradeinteilung gegeben. Um eine belastbare Aussage über die Korrelation einer möglichen Stadieneinteilung der Bewegungseinschränkung und einer Einschränkung im Arbeitsleben treffen zu

können, wären jedoch weitere Studien nötig. Der American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score wird auch bei der Beurteilung des klinischen Outcomes bei Tibiafrakturen verwendet (Zhang et al. 2016), er enthält eine Berücksichtigung der Beweglichkeit im Sprunggelenk.

In der vorliegenden Arbeit hat man die Bewegungseinschränkung in jeweils 4 Grade eingeteilt. Durch diese Einteilung sollte durch die Ermittlung der Sprunggelenksbeweglichkeiten die Beeinträchtigung quantifiziert werden. Eine solche Einteilung scheint im Hinblick auf die reale Einschränkung in der Lebensqualität von größerem Vorteil zu sein.

Im Kniegelenk hatten 35 (55,6%) Patienten keine nachweisbare Bewegungseinschränkung (Grad 0), 16 (25,4%) Grad 1, 8 (12,7%) Grad 2 und 2 (3,2%) Grad 3. Die Annahme, dass die Sprunggelenksbeweglichkeit deutlich häufiger beeinträchtigt ist, konnte durch die vorliegenden Ergebnisse klar bestätigt werden. Hier wurden 10 (15,9%) Probanden gemäß Grad 0, 14 (22,2%) gemäß Grad 1, 21 (33,3%) gemäß Grad 2 und 16 (25,4%) gemäß Grad 3 für das obere Sprunggelenk eingestuft. Das untere Sprunggelenk zeigte ein ähnliches Bild vergleichbar mit dem Kniegelenk: 35 (55,6%) Grad 0, 15 (23,8%) Grad 1, 9 (14,3%) Grad 2 und 2 Patienten (3,2%) Grad 3. Eine vergleichbare Analyse der Bewegungseinschränkungen in den angrenzenden Gelenken nach Tibiaschaftpseudarthrose findet sich in der Literatur bisher interessanterweise noch nicht. Megas et al. (2001) berichtet lediglich über Bewegungseinschränkungen im Sprunggelenk bei einigen seiner Patienten nach Marknagelung.

Im Vergleich der Operationsmethoden zeigten sich in Bezug auf die Freiheitsgrade des Kniegelenkes keine signifikanten Unterschiede der unterschiedlichen Operationsmöglichkeiten. Jedoch im oberen und unteren Sprunggelenk zeigten sich insbesondere beim Vergleich zwischen der additiven Kompressionsplatte und den übrigen Operationsmöglichkeiten (Fibula-pro-Tibia-Operation und singuläre Plattenosteosynthese) eine Signifikanz ( $p < 0,02$ ). Die Ursache scheint darin zu liegen, dass die operationstechnisch bedingten Adhäsionen nach Fibula-pro-Tibia-Operation erwartungsgemäß ausgeprägter sind, mit der Folge von funktionellen Beeinträchtigungen des

Sprunggelenks. Die eingebrachte Spongiosa liegt direkt ventral an der Membrana interossea, so dass es unweigerlich zu Adhäsionen des „Knochen-Weichteil-Interfaces“ kommt und damit zu Gelenkbeeinträchtigungen. Da die kniespezifische Muskulatur dabei nicht betroffen ist, sind die ermittelten unbeeinträchtigten Kniefunktionswerte nicht überraschend.

Im Kniegelenk und dem unteren Sprunggelenk zeigten sich kleine Tendenzen in Bezug auf eine mögliche Korrelation mit der Schwere der Fraktur.

Im Hinblick auf die Lokalisation zeigten distale Tibiaschaftpseudarthrosen im Vergleich zu Pseudarthrosen im mittleren Drittel einen Zusammenhang mit einer höheren Bewegungseinschränkung im oberen Sprunggelenk ( $p=0,0123$ ).

Da offene Frakturen in der Regel als aufwändiger in der Behandlung und als Risikofaktor für die Entwicklung einer Pseudarthrose gelten, ist der Verdacht naheliegend, dass es ebenfalls einen Zusammenhang mit der Affektion anliegender Gelenke gibt. Diese Vermutung lässt sich durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigen. Alle p-Werte lagen deutlich über 0,05.

Auch dieses Ergebnis scheint ein Hinweis darauf zu sein, dass eine offene Fraktur nur im Hinblick auf die Entwicklung einer Pseudarthrose einen bedeutsamen Risikofaktor darstellt (Gaebler et al. 2001, Antonova et al. 2013). In Beziehung auf die Ausheilung einer Pseudarthrose spielt die Schwere der Fraktur an sich eine größere Rolle, wobei insbesondere der Weichteilschaden bei offenen Frakturen die entscheidende Rolle spielt. Eine Korrelationsbestimmung war in dieser Studie aufgrund der zu geringen Zahlen nicht möglich gewesen.

Für eine Verlängerung der knöchernen Konsolidierung bzw. Ausheilung nach Pseudarthrosenbildung konnten in dieser Analyse nur wenige Risikofaktoren ermittelt werden. Entgegen anderer Publikationen wie z.B. bei Moghaddam et al. (2011) gehörte Rauchen nicht dazu. Vorerkrankungen wie z.B. Diabetes mellitus wurden nicht erfasst. Dennoch konnten zwei Variablen als Risikofaktoren in dieser Arbeit ermittelt werden. Dazu zählen die ursprüngliche Verletzungsschwere gemäß der AO-Klassifikation und die Entität der Pseudarthrose. Hypertrophe Pseudarthrosen zeigten eine deutlich günstigere

Outcome-Prognose. In der Literatur konnten keine vergleichbaren Untersuchungen identifiziert werden.

Allein eine knöchernen Überbrückung der Fraktur führt noch nicht zu einer vollkommenen Wiederherstellung des Patienten. Entscheidend ist der Wiedereintritt in einen normalen Alltag und die Teilhabe an allen Gesellschaftsbereichen.

Die zur Verfügung stehenden Behandlungsmethoden von Frakturen haben sich in den letzten hundert Jahren erheblich weiterentwickelt. Doch trotz aller Möglichkeiten der modernen Chirurgie lässt sich die Rehabilitation nach Frakturen langer Röhrenknochen der unteren Extremität immer noch nicht unter einem Jahr realisieren (Tay et al. 2014). Bei Patienten mit verzögerter Frakturheilung oder sogar Pseudarthrose besteht eine deutlich prolongierte Rehabilitation. Dieser Umstand wurde durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt, da die dokumentierte knöchernen Konsolidierung nicht automatisch mit einer vollständigen Rehabilitation gleichgesetzt werden kann.

Die Aufarbeitung des Merchant und Dietz Scores sollte mit seinen 4 Anteilen (Schmerzfreiheit, Funktion, Bewegungsumfang und Gang) die Alltagsfähigkeit bzw. das Rehabilitationsergebnis differenzierter beschreiben, als nur das radiologische Bild der knöchernen Konsolidierung

Die Frage nach der subjektiven Einschätzung des heutigen Gesundheitszustandes sollte an Hand des validierten EQ-5D Fragebogens erfolgen.

Beim Merchant und Dietz Score fielen zwei Peaks auf. Je 18 (35,3%) Probanden lagen in der Gesamtauswertung dieses Fragebogens unter der 70 Punktemarke und über der 90 Punktemarke. 6 (11,8%) Probanden lagen zwischen 70 und 80 Punkten und 9 (17,6%) Probanden lagen zwischen 80 und 90 Punkten.

In Abhängigkeit von der Gruppe bzw. der Erfolgs-Operation zeigte sich kein relevanter Zusammenhang. Jedoch lag auch hier die höchste Punktzahl und damit das Beste Ergebnis mit einem Durchschnittswert von 88 Zählern bei der „additiven Kompressionsplatte“. Erwartungsgemäß zeigte sich auch keine

Abhängigkeit von der ursprünglichen Frakturkomplexität gemäß der AO-Klassifikation. Ebenso bestand kein wesentlicher Unterschied der erreichten Lebensqualität durch das gewählte operative Verfahren.

Ein eben solches Ergebnis zeigte sich auch im Hinblick auf die Lokalisation der Fraktur und dem Vergleich zwischen offener und geschlossener Fraktur.

Insgesamt war das Ergebnis des Merchant und Dietz Scores eher ernüchternd, da mit 24 (47,1%) bei fast jedem 2. Proband nur ein mittleres bzw. schlechtes klinisches Ergebnis vorlag. Mit diesen Ergebnissen kann man nicht zufrieden sein.

Lediglich unter Berücksichtigung der subjektiven Einstufung des heutigen Gesundheitszustandes (6. Frage des EQ-5D Fragebogens) verschob sich der Gesamteindruck in die positive Richtung.

So gaben nur 5 (8,9%) Probanden an, ihr Gesundheitszustand läge auf einer Skala zwischen 0 und 100 bei unter 50 Punkten. 14 (27,5%) Probanden lagen zwischen 50 und 70 Punkten und mit 33 (64,7%) lagen fast 2/3 der Patienten zwischen 70 und 100 Prozentpunkten. Nur 2 (3,9%) Patienten gaben den Höchstwert mit 100 Punkten an. Hier zeigte sich, dass die allermeisten Patienten mit ihrem aktuellen Gesundheitszustand einen hohen Grad an Zufriedenheit haben.

In den Vergleichen zwischen der Einschätzung des heutigen Gesundheitszustandes und den verschiedenen Parametern zeigte sich keine relevante Signifikanz. Die persönliche Selbsteinschätzung des aktuellen Gesundheitszustandes der Probanden schien nicht von der Erfolgs-Operation, der Schwere der Fraktur, der Lokalisation oder der Frage nach geschlossener oder offener Fraktur abhängig zu sein.

Zusammenfassend lässt sich damit sagen, dass nach Behandlung einer Unterschenkelschaftpseudarthrose subjektiv bei den meisten Patienten mit einer guten Lebensqualität zu rechnen ist. Nichtsdestotrotz ist bei genauerer Analyse, insbesondere unter Berücksichtigung des Merchant und Dietz Scores, eine Verbesserung der Behandlungsprognose durch Verbesserungen der Fraktur- und Pseudarthrosentherapie notwendig.

#### 4.1. Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie zeigt, dass das klinische Outcome weniger von der Art der Behandlung bzw. Operation abhängig ist, als vielmehr von der Pseudarthrosenentität. Hypertrophe Pseudarthrosen zeigen dabei einen klaren Vorteil im Heilungsverlauf gegenüber atrophen. Die operationsspezifischen Weichteiladhäsionen nach Fibula-pro-Tibia-Operation treten auf Grund der Indikationsstellung ausschließlich im Zusammenhang atropher Pseudarthrosen auf. Demgegenüber hat die Schwere der Fraktur einen weitaus geringeren Einfluss auf die Heilungszeit. Zwischen offenen und geschlossenen Frakturen besteht in dieser Studie kein signifikanter Unterschied.

Als bedeutende Komplikationen verbleiben Beinverkürzungen, Achsfehlstellungen und Bewegungseinschränkungen angrenzender Gelenke. Das obere Sprunggelenk ist insbesondere bei distalen Unterschenkelpseudarthrosen betroffen. Zukünftige Behandlungskonzepte sollten daher die Verbesserung der Gelenkbeweglichkeiten beinhalten, insbesondere, da die alleinige knöcherne Ausheilung der Pseudarthrose nicht automatisch mit einer vollständigen Wiederherstellung bzw. subjektiven Zufriedenheit gleichzustellen ist.

Die subjektive Einschätzung der Lebensqualität liegt bei fast 2/3 der Probanden bei über 70%. Ein direkter Unterschied durch die gewählten operativen Verfahren gibt es dabei weder im Hinblick auf die erreichte subjektive Lebensqualität noch auf die Heilungszeit. Die Heilungszeit selbst ist abhängig von der Entität der Pseudarthrose und der Schwere der Ursprungsverletzung, und damit indirekt vom operativen Verfahren sowie der Operationsdauer. Es besteht kein Zusammenhang zu der Erfahrung des Operateurs, wobei einschränkend erwähnt werden muss, dass die Assistenz immer von einem erfahrenen Chirurgen gewährleistet wurde. Rauchen stellt in dieser Studie kein Risikofaktor für eine Verlängerung der Heilung dar.

Die sozioökonomische Bedeutung der Tibiaschaftpseudarthrose wird bei den Behandlungsoptionen meist unterschätzt. Der Fokus dieser Arbeit auf Lebensqualität, subjektivem Gesundheitszustand und Heilungszeit zeigt, dass

die Patienten bei aus chirurgischer Sicht erfolgreicher Behandlung mit knöcherner Konsolidierung tatsächlich zum Teil erhebliche Einschränkungen im Alltag oder eine eingeschränkte Lebensqualität beklagen. Weitere Studien zur Ableitung von Behandlungskonzepten mit Ziel verbesserter Behandlungsergebnisse sind notwendig.

## 5. Zusammenfassung

Mit Hilfe der Operationsbücher aus den Jahren 1996 bis 2005 der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen wurden 63 Patienten in diese Studie eingeschlossen, welche eine posttraumatische Pseudarthrose entwickelten. Davon waren 50 (79,4%) männlich und 13 (20,6%) weiblich. Das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt des Unfalls 38,3 Jahre, der letzten operativen Maßnahme 39,2 Jahre und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 44,4 Jahre.

Diese 63 Patienten wurden in folgende 7 Gruppen gemäß der zur Ausheilung führenden operativen Maßnahme unterteilt:

Gruppe 1: additive Kompressionsplattenosteosynthese

Gruppe 2: Fibula-pro-Tibia-Operation

Gruppe 3: singuläre Plattenosteosynthese

Gruppe 4: Aufgebohrte Austausch-/Marknagelung

Gruppe 5: Segmenttransport

Gruppe 6: Kompressionsosteosynthese mittels Charnley-Fixateur

Gruppe 7: Konservativ mit Zuwarten

Die Gruppen 4-7 wurden im Rahmen der statistischen Auswertung teilweise zusammengefasst. Die Auswertung erfolgte nach 3 Hauptkriterien: Heilungszeit, Bewegungseinschränkung und Lebensqualität.

Das Ziel der Studie lag in der Untersuchung einzelner Parameter in Bezug auf die oben genannten 3 Hauptkriterien. Die Parameter beinhalteten die Abhängigkeit von der Operationsart, dem Alter zum Unfallzeitpunkt, dem Geschlecht, dem Risikofaktor „Rauchen“, Fraktur-Schwere, der Lokalisation, der Pseudarthrosenentität und der Erfahrung des Operateurs sowie der Operationszeit. Signifikante Zusammenhänge bzw. Risikofaktoren sollten identifiziert werden. Dies erfolgte durch Analyse der Nachuntersuchungsergebnisse unter Verwendung der Scores und Fragebögen

sowie der gesamten ärztlichen Dokumentation und radiologischen Verlaufskontrollen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten einerseits ein erfreuliches Resultat in Bezug auf die knöchernen Heilung der Pseudarthrosen, andererseits zeigten die Ergebnisse einen relevanten Verbesserungsbedarf. So konnte bei jedem der untersuchten Patienten eine knöchernen Ausheilung der Tibiaschaftpseudarthrose erzielt werden. Die ursprüngliche Schwere der Fraktur korrelierte dabei mit dem Behandlungsergebnis. Die jeweiligen Behandlungsmethoden zeigten allenfalls geringe Unterschiede. Signifikant war hauptsächlich die Frage nach der Art der Pseudarthrose. Hypertrophe Pseudarthrosen zeigten dabei einen signifikanten Prognose-Vorteil in Bezug auf die Ausheilung gegenüber atrophischen Pseudarthrosen. Kein relevanter Unterschied in der Heilungszeit ergab sich im Hinblick auf die Erfahrung des Operateurs oder die Operationsdauer.

Der subjektive Gesundheitszustand wurde von 23 Patienten (45%) mit über 80% angegeben, von 32 (63%) mit über 70%. Der Merchant und Dietz Score zeigte jedoch bei 18 Patienten (35%) ein schlechtes Ergebnis von unter 70%. Dies zeigte, dass die Patienten zwar einerseits zufrieden mit ihrem Gesundheitszustand waren, aber andererseits noch teils erhebliche Alltagsprobleme bzw. objektive Einschränkungen haben. Gleichzeitig ergab die Auswertung eine zum Teil deutlich verbliebene Bewegungseinschränkung des oberen Sprunggelenks.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Behandlungsergebnisse von Pseudarthrosen insbesondere in 2 Punkten verbessert werden müssen. Zum einen könnte in Zukunft bei der Wahl und Entwicklung von Behandlungsmethoden noch mehr Rücksicht auf die Entität der Pseudarthrose (atroph/hypertroph) genommen werden. Zum anderen scheint die Bewegungseinschränkung insbesondere im oberen Sprunggelenk entscheidend für eine schnellere und ein qualitativ besseres Rehabilitationsergebnis zu sein.

Zukünftige Behandlungskonzepte sollten die Gelenkfunktionen daher schon früh besonders berücksichtigen.

Die sozioökonomische Bedeutung der Tibiaschaftpseudarthrose stellt weiterhin eine besondere Herausforderung an die Unfallchirurgie und die fachübergreifenden Disziplinen dar.

## 6. Literaturverzeichnis

Allgöwer M (1982) Die Behandlung der Tibiaschaftfraktur im Wandel der Zeit. Hefte Unfallheilkd 158: 417-421.

Angele P, Weigel B (2005) Knie und Unterschenkel, 593-682, Herausgeber: Weigel B, Nerlich M, Praxisbuch Unfallchirurgie, Verlag: Springer, Berlin – Heidelberg - New York.

Antonova E, Le TK, Burge R, Mershon J (2013) Tibia shaft fractures: costly burden of nonunions. BMC Musculoskelet Disord 14: 42.

Ateschrang A, Ochs BG, Lüdemann M, Weise K, Albrecht D (2009) Fibula and tibia fusion with cancellous allograft vitalised with autologous bone marrow: first results for infected tibial non-union. Arch Orthop Trauma Surg 129 (1): 97-104.

Bell A, Templeman D, Weinlein JC (2016) Nonunion of the Femur and Tibia: An Update. Orthop Clin North Am 47 (2): 365-375.

Blattert TR, Fill UA, Kunz E, Panzer W, Weckbach A, Regulla DF (2004) Skill dependence of radiation exposure for the orthopaedic surgeon during interlocking nailing of long-bone shaft fractures: a clinical study. Arch Orthop Trauma Surg 124 (10): 659-664.

Bosch U, Schreiber T, Skutek M, Cserhádi R, Károly P, Fekete K, Krettek C (2003) Minimalinvasive Schraubenosteosynthese der medialen Schenkelhalsfraktur bei betagten Patienten. Trauma Berufskrankh 5: 35-41.

Böhler L (1943) Die Technik der Knochenbruchbehandlung im Frieden und im Kriege, 9.-11. umgearbeitete und vermehrte Auflage, 2 Bd., Verlag: Wilhelm Maudrich Verlag, Wien.

Brinker MR, Hanus BD, Sen M, O'Connor DP (2013) The devastating effects of tibial nonunion on health-related quality of life. J Bone Joint Surg Am 95 (24): 2170-2176.

Cierny G 3<sup>rd</sup>, Mader JT, Penninck JJ (2003) A clinical staging system for adult osteomyelitis. Clin Orthop Relat Res (414): 7-24.

Court-Brown CM, Keating JF, Christie J, McQueen MM (1995) Exchange intramedullary nailing. Its use in aseptic tibial nonunion. J Bone Joint Surg Br 77 (3): 407-411.

Dehne E, Metz CW, Deffer PA, Hall RM (1961) Nonoperative treatment of the fractured tibia by immediate weight bearing. J Trauma 1: 514-535.

DeLee JC, Heckman JD, Lewis AG (1981) Partial fibulectomy for ununited fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg Am* 63 (9): 1390-1395.

Ditzen W, Börner M (2002) Konservative Behandlung von Unterschenkelschaftfrakturen. *Trauma Berufskrankh* 4: 72-79.

Fong K, Truong V, Foote CJ, Petrisor B, Williams D, Ristevski B, Sprague S, Bhandari M (2013) Predictors of nonunion and reoperation in patients with fractures of the tibia: an observational study. *BMC Musculoskelet Disord* 14: 103.

Gaebler C, Berger U, Schandelmaier P, Greitbauer M, Schauwecker HH, Applegate B, Zych G, Vécsei V (2001) Rates and odds ratios for complications in closed and open tibial fractures treated with unreamed, small diameter tibial nails: a multicenter analysis of 467 cases. *J Orthop Trauma* 15 (6): 415-423.

von Garrel T, Gotzen L (1998) Allogene Knochentransplantation und Knochenbanking. *Unfallchirurg* 101: 713-727.

Garrison KR, Shemilt I, Donell S, Ryder JJ, Mugford M, Harvey I, Song F, Alt V (2010) Bone morphogenetic protein (BMP) for fracture healing in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 6. Art. No.: CD006950. DOI: 10.1002/14651858.CD006950.pub2.

Harris I, Lyons M (2005) Reoperation rate in diaphyseal tibia fractures. *ANZ J Surg* 75: 1041-1044.

Heckman JD, Sarasohn-Kahn J (1997) The economics of treating tibia fractures. The cost of delayed unions. *Bull Hosp Jt Dis* 56 (1): 63-72.

Heitemeyer U, Hierholzer G (1991) Die Fibula-pro-Tibia-Operation – Indikation, Ergebnisse. *Unfallchirurgie* 17 (5): 280-286.

Heppenstall RB, Brighton CT, Esterhai JL Jr, Muller G (1984) Prognostic factors in nonunion of the tibia: an evaluation of 185 cases treated with constant direct current. *J Trauma* 24 (9): 790-795.

Janssen KW, Biert J, van Kampen A (2007) Treatment of distal tibial fractures: plate versus nail: a retrospective outcome analysis of matched pairs of patients. *Int Orthop* 31 (5): 709-714.

Johnson EE, Marder RA (1987) Open intramedullary nailing and bone-grafting for non-union of tibial diaphyseal fracture. *J Bone Joint Surg Am* 69 (3): 375-380.

Küsswetter W, Teschner M (1999) Gentechnisch induziertes Knochenwachstum. *Dt Arztebl* 96: A-1891–1896 [Heft 28-29].

Kwasny O, Dannbauer F (2011) Pseudarthrosen – Einteilung, Ursachen, Therapiekonzepte. Script zum Vortrag im Rahmen des 42. ÖGU – Fortbildungsseminar: Grundlagen der operativen Frakturbehandlung, [http://www.unfallchirurgen.at/download/agenda/42\\_Kwasny\\_Pseudarthrosen.pdf](http://www.unfallchirurgen.at/download/agenda/42_Kwasny_Pseudarthrosen.pdf) [Zugriff 20.04.2011].

Mayr E, Wagner S, Ecker M, Rüter A (1999) Die Ultraschalltherapie bei Pseudarthrosen. Unfallchirurg 102: 191-196.

Megas P, Panagiotopoulos E, Skriviliotakis S, Lambiris E (2001) Intramedullary nailing in the treatment of aseptic tibial nonunion. Injury 32 (3): 233-239.

Merchant TC, Dietz FR (1989) Long-term follow-up after fractures of the tibial and fibular shafts. J Bone Joint Surg Am 71 (4): 599-606.

Moghaddam A, Zimmermann G, Hammer K, Bruckner T, Grützner PA, von Recum J (2011) Cigarette smoking influences the clinical and occupational outcome of patients with tibial shaft fractures. Injury 42 (12): 1435-1442.

Nadkarni B, Srivastav S, Mittal V, Agarwal S (2008) Use of locking compression plates for long bone nonunions without removing existing intramedullary nail: review of literature and our experience. J Trauma 65 (2): 482-486.

Oh JK, Bae JH, Oh CW, Biswal S, Hur CR (2008) Treatment of femoral and tibial diaphyseal nonunions using reamed intramedullary nailing without bone graft. Injury 39: 952-959.

Paley D, Catagni MA, Argnani F, Villa A, Benedetti GB, Cattaneo R (1989) Ilizarov treatment of tibial nonunions with bone loss. Clin Orthop Relat Res (241): 146-165.

Papakostidis C, Kanakaris NK, Pretel J, Faour O, Morell DJ, Giannoudis PV (2011) Prevalence of complications of open tibial shaft fractures stratified as per the Gustilo-Anderson classification. Injury 42 (12): 1408-1415.

Praemer A, Furner S, Rice DP (1992) Costs of musculoskeletal injury. Musculoskeletal conditions in the United States. American Academy of Orthopedic Surgeons: Park Ridge, Illinois.

Rabin R, de Charro F (2001) EQ-5D: a measure of health status from the EuroQol Group. Ann Med 33 (5): 337-343.

Reed AA, Joyner CJ, Brownlow HC, Simpson AH (2002) Human atrophic fracture non-unions are not vascular. J Orthop Res 20 (3): 593-599.

Reed LK, Mormino MA (2008) Distal tibia nonunions. Foot Ankle Clin 13 (4): 725-735.

Rompe JD, Eysel P, Hopf C, Vogel J, Küllmer K (1997) Extrakorporale Stoßwellenapplikation bei gestörter Knochenheilung. Unfallchirurg 100: 845-849.

Runkel M, Rommens PM (2000) Pseudarthrosen. Unfallchirurg 103: 51-63.

Russell TA (1996) Fractures of the tibial diaphysis. 171-179, In: Levine AM, Orthopedic Knowledge Update: Trauma. American Academy of Orthopedic Surgeons: Rosemont Illinois.

Sarmiento A, Sharpe FE, Ebramzadeh E, Normand P, Shankwiler J (1995) Factors influencing the outcome of closed tibial fractures treated with functional bracing. Clin Orthop Relat Res 315: 8-24.

Sledge SL, Johnson KD, Henley MB, Watson JT (1989) Intramedullary nailing with reaming to treat non-union of the tibia. J Bone Joint Surg Am 71 (7): 1004-1019.

SPRINT Investigators, Bhandari M, Guyatt G, Tornetta P 3<sup>rd</sup>, Schemitsch E, Swintkowski M, Sanders D, Walter SD (2008) Study to prospectively evaluate reamed intramedullary nails in patients with tibial fractures (S.P.R.I.N.T.): Study rationale and design. BMC Musculoskelet Disord 9: 91.

Tall M, Bonkougou D, Sawadogo M, Da SC, Toe MF, Bone and Joint Trauma Study Group (GETRAUM) (2014) Treatment of nonunion in neglected long bone shaft fractures by osteoperiosteal decortication. Orthop Traumatol Surg Res 100 (6 Suppl): S299-303.

Tay WH, de Steiger R, Richardson M, Gruen R, Balogh ZJ (2014) Health outcomes of delayed union and nonunion of femoral and tibial shaft fractures. Injury 45 (10): 1653-1658.

Templeman D, Thomas M, Varecka T, Kyle R (1995) Exchange reamed intramedullary nailing for delayed union and nonunion of the tibia. Clin Orthop Relat Res (315): 169-175.

Weber BG, Brunner C (1981) The treatment of nonunions without electrical stimulation. Clin Orthop Relat Res 161: 24-32.

Weber BG, Cech O (1973) Pseudarthrosen. Pathophysiologie, Biomechanik, Therapie, Ergebnisse. 1-327, Verlag: Hans Huber, Bern – Stuttgart - Wien.

Wiss DA, Johnson DL, Miao M (1992) Compression plating for non-union after failed external fixation of open tibial fractures. J Bone Joint Surg Am 74 (9): 1279-1285.

Wu CC, Shih CH, Chen WJ, Tai CL (1999) High success rate with exchange nailing to treat a tibial shaft aseptic nonunion. *J Orthop Trauma* 13: 33-38.

Zhang JW, Ebraheim NA, Li M, He XF, Schwind J, Zhu LM, Yu YH (2016) Distal tibial fracture: An ideal indication for external fixation using locking plate. *Chin J Traumatol* 19 (2): 104-108.

Zelle BA, Gruen GS, Klatt B, Haemmerle MJ, Rosenblum WJ, Prayson MJ (2004) Exchange reamed nailing for aseptic nonunion of the tibia. *J Trauma* 57: 1053-1059.

## 7. Anhang

### 7.1. Anlage 1: Patientenfragebogen



# Pseudarthrosen

eine klinische Studie an der BG Unfallklinik Tübingen

#### 1. Fall Identifikationsnummer

Name:	Fallnummer:
Geb.Datum:	Datum d. Befragung:
Tel-Nr.:	
Adresse:	
Versicherung:	

#### 2. Komorbiditäten

Nein

<input type="checkbox"/> Neurologisch	<input type="checkbox"/> Tumoren	<input type="checkbox"/> erhöhter Alkoholkonsum	<input type="checkbox"/> Raucher
<input type="checkbox"/> Diabetes mellitus	<input type="checkbox"/> Sonstiges:	<input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> Kardial			
<input type="checkbox"/> Vaskulär			

#### 3. Details der Fraktur

**Ursache:**  traumatisch  pathologisch (Ausschluss)

Unfalltag:

Unfallhergang:

**Seite:**  rechts  links

**Tibiaschaft:**  prox. Drittel  mittl. Drittel  dist. Drittel

#### AO-Klassifikation für Schaftfrakturen:

einfache Fraktur:	Keilfraktur:	komplexe Fraktur:
<input type="checkbox"/> 42-A1	<input type="checkbox"/> 42-B1	<input type="checkbox"/> 42-C1
<input type="checkbox"/> 42-A2	<input type="checkbox"/> 42-B2	<input type="checkbox"/> 42-C2
<input type="checkbox"/> 42-A3	<input type="checkbox"/> 42-B3	<input type="checkbox"/> 42-C3

**offene Fraktur**

Wenn ja, welcher TYP?

Klassifikation nach Gustilo und Anderson (anglo-amerik.)

- Typ I (offene Fraktur, Wunde <1cm, leichte Verschmutzung)
- Typ II (offene Fraktur, Wunde >1cm, verschmutzt)
- Typ III A (Adäquate Weichteildeckung der Fraktur trotz ausgedehntem Weichteilschaden oder Lappenbildung, oder Hochgeschwindigkeitstrauma ungeachtet der Wundgröße)
- Typ III B (Ausgedehnter Weichteildefekt mit periostalem Schaden und Knochenaustritt. Gewöhnlich assoziiert mit ausgedehnter Verschmutzung der Wunde)
- Typ III C (Offene Fraktur mit arterieller Verletzung, die einen gefäßchirurgischen Eingriff benötigt.)

Klassifikation nach Tscherny und Oestern (BG Tübingen immer danach)

- Typ I (Durchspießung der Haut, unbedeutende Verschmutzung/Kontaminat., einfache Frakturform)
- Typ II (Durchtrennung der Haut, umschriebene Haut- und Weichteilkontusion, mittelschwere Kontamination, alle Frakturformen)
- Typ III (Ausgedehnte Weichteildestruktion, häufig Gefäß- und Nervenverletzung, starke Wundkontamination, ausgedehnte Knochenzertrümmerung)
- Typ IV (subtotale Amputationsverletzung, wobei weniger als 1/4 des Weichteilmantels intakt ist und ausgedehnte Verletzungen von Nerven und Blutgefäßen vorliegen)

**geschlossene Fraktur**

Wenn ja, welcher TYP?

- Typ C 0 (Leichter Weichteilschaden mit einfacher Fraktur)
- Typ C I (Ablederung der Haut, einfache Fraktur)
- Typ C II (Ablederung der Haut mit erheblicher Verschmutzung, örtliche Haut- oder Muskelkontusion, ungeachtet der Art der Fraktur)
- Typ C III (Ausgedehnter Weichteildefekt mit periostalem Schaden und Knochenaustritt. Gewöhnlich assoziiert mit ausgedehnter Verschmutzung der Wunde)

**4. primäre Versorgung**

- Abstand Unfall -> primäre Versorgung:**  unter 24 h  
 24 - 48 h  
 über 48 h

- prim. Versorgung:**  konservativ (Gips)  Platte  
 Fixateur externe  Nagel
- Datum:

- sek. Versorgung:**  Verfahrenswechsel auf interne Stabilisierung
- Datum:
- Platte Operateur:  erfahren (min Facharzt)  
 unerfahren
- Nagel
- Fibula mit Platte versorgt:  prox. Drittel  
 mittl. Drittel  
 dist. Drittel

- Krankengymnastik:**  Ja  Nein

- 2-3 E/Woche  
 4-5 E/Woche  
 Sonstiges:

- Komplikationen:**  Ja  Nein

- Infektion = Osteomyelitis (siehe unten)  
 Refraktur  
 Sonstiges:

Klassifikation der Osteomyelitis nach Cierny + Mader:

- anatomisch  1 medulläre Osteomyelitis  
 2 oberflächliche Osteomyelitis  
 3 locale Osteomyelitis  
 4 diffuse Osteomyelitis
- physiologisch  A host gesund  
 B host  
 Bs systemischer Schaden  
 BI lokaler Schaden  
 Bis lokaler + systemischer Schaden  
 C host durch Behandlung verschlechtert

Faktoren betreffend die immunologische Überwachung, den Metabolismus und die lokale Durchblutung:

systemische Faktoren (Bs): Malnutrition, Nieren-/Leberversagen, Diab. mel., chronische Hypoxie, Immunologische Erkrankungen, extremes Alter, Immunsuppression, Immunschwäche

lokale Faktoren (BI): chronische Lymphödeme, venöse Stasis, Schäden der großen Gefäße, Arteriitis, extensive Narbenbildung, radiologische Fibrosierung, Erkrankungen der kleinen Gefäße, Neuropathie, Nikotinabusus

**5. Weichteilplastische Maßnahmen im Rahmen d. prim./sek. Versorgung**  Nein

**lokale Myoplastik:**  Soleus  Visierlappen (Schwenklappen)

**gestielte Myoplastik:**  Suralislappen

**freie Myoplastik:**  Latissimus dorsi  Parascapularlappen

**6. Entwicklung Pseudarthrose**

**ICD-9:**  733,8  andere (Ausschluss)

**ICD-10:**  M84.16  andere (Ausschluss)

**Merkmale:**  aseptisch  septisch (Ausschluss)

atroph  hypertroph

instabil  straff

**7. Röntgendiagnostik**

**Dystrophie:**  ja  nein

**wenn ja: Verbesserung bei Ausheilung:**

ja  nein

## 8. tertiäre Versorgung / Revision wegen Pseudarthrose

Abstand sek. -> tertiäre Versorgung (in Wochen/Monaten):

Datum

tert. Versorgung:

- atroph:**
- Spongiosaplastik (autolog) +  Re-Osteosynthese
- Beckenkamm li / re  Fixateur ext.
- andere  Platte
- Segmenttransport nach Ilisarow  Nagel
- Fibula pro Tibia

Länge:

spätere Probleme:

- Regenerat --> welcher Art?

- Andockstelle --> welcher Art?

zusätzl. Platte

Spongiosaplastik

- hypertroph:**
- Re-Marknagel
- Additive Platte

- Operateur:**
- erfahren (min. Facharzt)
- unerfahren

**OP-Dauer:**

- Komplikationen:**
- Ja  Nein

Infektion (siehe unter 4.: Osteomyelitis nach Cierny + Mader)

Refraktur

Sonstiges:

## 9. KG / Reha im Anschluss an tertiäre Versorgung

- Krankengymnastik:**  Ja  Nein

2-3 E/Woche

4-5 E/Woche

Sonstiges:

Reha:  Ja  Nein

Belastung:  Ja  Nein

wie:

ab wann:

Sportfähig:  Ja  Nein

ab wann:

### 10. Scoring

Merchant und Dietz Score:

EuroQol (EQ-5D):

SF-36:

eigener Score:

### 11. Endergebnis

Ausheilung:  Ja  Nein

Zeitdauer von Revision bis Heilung:

Begutachtung:  Ja  Nein

Datum:

- 1. Rentengutachten
- 2. Rentengutachten
- unfallchir. Fachgutachten

Ergebnis: wie lange post Trauma:

wie lange post Revision:

<b>Gelenke:</b>	<b>Muskelumfänge:</b>
Knie: <input type="text"/>	20 cm: <input type="text"/>
OSG: <input type="text"/>	ob.inn.Kniegelenkspalt
USG: <input type="text"/>	10 cm: <input type="text"/>
	Unterschenkel: <input type="text"/>
	kleinster Umfang
re      li	re      li
Beinlänge: <input type="text"/>	Sonstiges: <input type="text"/>
MDE: <input type="text"/>	

7.2. **Anlage 2: Klinisches Untersuchungsprotokoll**

**Untersuchungsprotokoll**

Name: \_\_\_\_\_

Geb.datum: \_\_\_\_\_

Fallnummer: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

**Muskelumfänge**

20 cm: <small>ob. inn. Kniegelenkspalt</small>		
10 cm:		
Unterschenkel: <small>kleinster Umfang</small>		
	rechts	links

**Gelenke**

Knie		
OSG		
USG		
	rechts	links

**Sonstiges**

Torsions- abweichung <small>Rotationsabweichung bei 90° Beugung im Kniegelenk</small>		
Länge d. Tibia <small>Innenknöchel - med. Gelenkspalt</small>		
Beinlänge		
	rechts	links

### 7.3. Anlage 3: Merchant und Dietz Score

## Merchant und Dietz Score

Name:

Fallnummer:

#### **1. Funktion (max. 40 Punkte)**

	<b>Nein</b>	Punkte	<b>Ja</b>	<b>Gesamt</b>
Ausübung von Hausarbeit/Beruf ohne Beeinträchtigung	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Treppensteigen:				
Stufe für Stufe	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
auf irgendeine Weise noch möglich	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Tragen von schweren Gegenständen wie z.B. Koffer	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Leichtathletik / Ausübung von Schwerstarbeit	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Großer Bewegungsradius mit völliger Unabhängigkeit	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Hof-/Gartenarbeit, Rasenmähen möglich	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Problemloses Ein-/Aussteigen mit dem Auto	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
				<input type="text"/>

#### **2. Schmerzfreiheit (max. 40 Punkte)**

	<b>Nein</b>	Punkte	<b>Ja</b>	<b>Gesamt</b>
Keine Schmerzen	<input type="checkbox"/>	40	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Schmerzen nur bei Müdigkeit / zu langem Gebrauch	<input type="checkbox"/>	30	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Schmerzen beim Gewichtstragen	<input type="checkbox"/>	20	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Schmerzen bei Bewegung	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Schmerzen in Ruhe	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
				<input type="text"/>

**3. Gang (max. 10 Punkte)**

	<b>Nein</b>	<b>Punkte</b>	<b>Ja</b>	<b>Gesamt</b>
kein Hinken	<input type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
leichtes Hinken	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mit Stock / Krücke	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Rollstuhl, unfähig zu laufen	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
				<input type="text"/>

**4. Bewegungsumfang (max. 10 Punkte)**

	<b>Bew.umfang</b>	<b>Punkte</b>	<b>Gesamt</b>
Voller Umfang bei Dorsalextension und Plantarflexion (Grundlage dieser Studie: 30°-0°-70°) - für jede 20° Abweichung 2 Punkte weniger	<input type="text"/>	10	<input type="text"/>
			<input type="text"/>

**5. Endergebnis (max. 100 Punkte)**

Punktzahl:

- 90 - 100 Punkte  hervorragend
- 80 - 89 Punkte  gut
- 70 - 79 Punkte  mittel
- <70 Punkte  schlecht

## 7.4. Anlage 4: Fragebogen EQ-5D



**Gesundheitsfragebogen**

**(Deutsche Version)**

*(German version)*

Bitte geben Sie an, welche Aussagen Ihren heutigen Gesundheitszustand am besten beschreiben, indem Sie ein Kreuz in ein Kästchen jeder Gruppe machen.

**Beweglichkeit/Mobilität**

- Ich habe keine Probleme herumzugehen
- Ich habe einige Probleme herumzugehen
- Ich bin ans Bett gebunden

**Für sich selbst sorgen**

- Ich habe keine Probleme, für mich selbst zu sorgen
- Ich habe einige Probleme, mich selbst zu waschen oder mich anzuziehen
- Ich bin nicht in der Lage, mich selbst zu waschen oder anzuziehen

**Alltägliche Tätigkeiten** (z.B. Arbeit, Studium, Hausarbeit, Familien- oder Freizeitaktivitäten)

- Ich habe keine Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen
- Ich habe einige Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen
- Ich bin nicht in der Lage, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen

**Schmerzen/Körperliche Beschwerden**

- Ich habe keine Schmerzen oder Beschwerden
- Ich habe mäßige Schmerzen oder Beschwerden
- Ich habe extreme Schmerzen oder Beschwerden

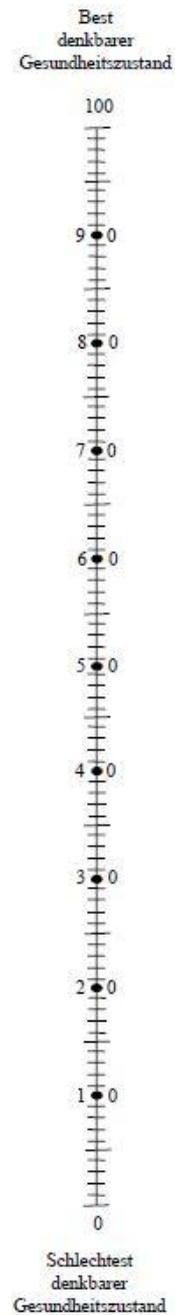
**Angst/Niedergeschlagenheit**

- Ich bin nicht ängstlich oder deprimiert
- Ich bin mäßig ängstlich oder deprimiert
- Ich bin extrem ängstlich oder deprimiert

Um Sie bei der Einschätzung, wie gut oder wie schlecht Ihr Gesundheitszustand ist, zu unterstützen, haben wir eine Skala gezeichnet, ähnlich einem Thermometer. Der best denkbare Gesundheitszustand ist mit einer "100" gekennzeichnet, der schlechteste mit "0".

Wir möchten Sie nun bitten, auf dieser Skala zu kennzeichnen, wie gut oder schlecht Ihrer Ansicht nach Ihr persönlicher Gesundheitszustand heute ist. Bitte verbinden Sie dazu den untenstehenden Kasten mit dem Punkt auf der Skala, der Ihren heutigen Gesundheitszustand am besten wiedergibt.

**Ihr heutiger  
Gesundheitszustand**



## **8. Erklärungen zum Eigenanteil**

### **Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift**

Die Arbeit wurde in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen unter Betreuung von Herrn Privatdozent Dr. A. Ateschrang durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. Ateschrang, Betreuer.

Sämtliche Versuche wurden von mir mit Unterstützung durch Dr. Ateschrang durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig durch mich.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den

(Benjamin Kelbsch)