

Aus der  
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
Klinik der Universität München  
Direktor: Prof. Dr. Wolfgang Böcker

**Evaluation der radiologischen und klinischen  
Behandlungsergebnisse nach offener Reposition und  
interner Fixierung von Impressionsspaltbrüchen des  
lateralen Tibiaplateaus**

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

vorgelegt von  
Maximilian Ferdinand Johannes Rieger

aus  
München

Jahr 2024

---

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Wolf Christian Prall  
Mitberichterstatter: PD Dr. Julian Fürmetz  
Prof. Dr. Patrick Weber

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 21.11.2024

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract (English)</b> .....	<b>7</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>10</b>
1.1 Grundlagen .....	12
1.1.1 Anatomie des Kniegelenks.....	12
1.1.2 Die Tibiakopffraktur .....	15
1.1.3 Klassifikationen.....	16
1.1.4 Therapie.....	20
1.1.5 Ziele der Studie.....	26
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>27</b>
2.1 Patienten.....	27
2.1.1 Patientenkollektiv.....	27
2.1.2 Subgruppen und Zielkriterien .....	29
2.2 Datenauswertung und Statistik .....	34
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>35</b>
3.1 Allgemeine Daten des Patientenkollektivs.....	35
3.1.1 Zusammensetzung des Patientenkollektivs .....	35
3.1.2 Demographische Daten des Patientenkollektivs .....	36
3.2 Frakturmorphologie der Studiengruppen .....	36
3.3 Radiologisches Ergebnis.....	38
3.3.1 Der modifizierte radiologische Rasmussen-Score .....	39
3.3.2 Der proximale mediale Tibiawinkel .....	41
3.4 Klinisches Ergebnis .....	42
3.4.1 Der klinische Rasmussen-Score.....	43
3.4.2 Der Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index (WOMAC) .....	44
3.5 Vergleich der Studienpopulation in Jung und Alt.....	45
3.5.1 Ergebnis der Studienpopulation Jung versus Alt.....	45
3.5.2 Vergleich der Implantate innerhalb der jungen vs alten Studiengruppe ..	47
3.5.3 Radiologisches Ergebnis der Studienpopulation Jung versus Alt .....	51

<b>4. Diskussion.....</b>	<b>57</b>
4.1 Studienkollektiv.....	57
4.2 Frakturmorphologie .....	59
4.3 Radiologisches Outcome .....	62
4.4 Klinisches Outcome.....	64
<b>5. Zusammenfassung.....</b>	<b>67</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>69</b>
<b>Anhang A: Patientenfragebogen.....</b>	<b>73</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>77</b>
<b>Affidavit .....</b>	<b>78</b>
<b>Pubilkationsliste .....</b>	<b>79</b>

## Zusammenfassung

Die Behandlung von Impressionsspaltbrüchen des lateralen Tibiaplateaus erfordert häufig eine offene Einrichtung und interne Fixierung. Im Rahmen der Operation wird die imprimierte Gelenkfläche angehoben und das Repositionsergebnis osteosynthetisch stabilisiert. Die bisher gültigen Behandlungsempfehlungen sehen eine konventionelle Osteosynthese mittels Abstützplatte und Zugschrauben vor. Postoperativ entwickeln viele Patienten eine sekundäre Kniegelenksarthrose. Insbesondere das Absintern der angehobenen Gelenkfläche und die damit verbundene Entwicklung eines posttraumatischen Valgus-Malalignements begünstigen die Entstehung der Arthrose und führen zu schlechteren Behandlungsergebnissen. Seit einigen Jahren werden auch moderne, anatomisch vorgeformte und winkelstabile Plattensysteme in der Versorgung von Tibiakopffrakturen verwendet. Diese sollen dem sekundären Korrekturverlust der intraoperativ angehobenen Gelenkfläche besser entgegenwirken. Allerdings fehlen hierzu vergleichende Studien. Es ist bisher nicht gezeigt worden, dass die Verwendung der anatomisch vorgeformten und winkelstabilen Implantate zu einem besseren Behandlungsergebnis führt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher, retrospektiv die radiologischen und klinischen Ergebnisse nach offener Einrichtung und interner Fixierung zu untersuchen. Die Untersuchungsgruppen werden zum einen von Patienten gebildet, die mittels konventioneller Osteosynthese versorgt wurden und zum anderen von Patienten, bei denen anatomisch vorkonturierte winkelstabile Plattensysteme verwendet wurden. Grundlage der Auswertung bilden die Patientenakten mit erfolgten radiologischen Untersuchungen, die Operationsberichte, die vorhandene Dokumentation des postoperativen Verlaufs und die vorhandenen Kontroll-Röntgenuntersuchungen. Primäre Outcome-Parameter sind die modifizierten Rasmussen-Kriterien zur radiologischen Beurteilung der routinemäßig etwa ein Jahr postoperativ durchgeführten Röntgenkontrollen. Sekundäre Outcome-Parameter sind die modifizierten Rasmussen Kriterien zur klinischen Beurteilung, der WOMAC-Index und der mediale proximale Tibiawinkel, welche alle circa ein Jahr postoperativ erhoben wurden.

Die Hypothese ist, dass die Verwendung anatomisch vorgeformter und winkelstabiler Plattensysteme bessere radiologische und klinische Behandlungsergebnisse gewährleistet.

## **Abstract**

The treatment of split depression fractures of the lateral tibial plateau often requires an open reduction and internal fixation. During the operation, the depressed joint line is raised and the reduction result is stabilised osteosynthetically. The current treatment recommendations are for conventional osteosynthesis using a buttress plate and lag screws. Postoperatively, many patients develop secondary knee joint arthrosis. In particular, the descent of the raised joint surface and the associated development of a post-traumatic valgus malalignment favour the development of osteoarthritis and lead to poorer treatment results. For some years now, modern, anatomically pre-shaped and locking plate systems have also been used in the treatment of tibial plateau fractures. These are intended to better counteract the secondary loss of correction of the intraoperatively elevated joint surface. However, there is a lack of comparative studies. It has not yet been shown that the use of anatomically preformed and locking implants leads to a better treatment result.

The aim of this study is therefore to retrospectively investigate the radiological and clinical results after open reduction and internal fixation. The study groups are formed on the one hand by patients who were treated using conventional osteosynthesis and on the other hand by patients in whom anatomically pre-contoured locking plate systems were used. The evaluation is based on the patient files with radiological examinations, surgical reports, the available documentation of the postoperative course and the available control X-ray examinations. The primary outcome parameter is the modified Rasmussen criteria for radiological assessment of the routine X-ray examinations carried out approximately one year after the operation. Secondary outcome parameters are the modified Rasmussen criteria for clinical assessment, the WOMAC index and the medial proximal tibial angle, all of which were assessed approximately one year postoperatively.

The hypothesis is that the use of anatomically pre-shaped and locking plate systems ensures better radiological and clinical treatment results.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: AO Klassifikation: partiell intraartikuläre Tibiakopffrakturen .....	17
Abbildung 2: Schatzker-Klassifikation der Tibiakopffraktur .....	19
Abbildung 3: Klinischer Rasmussen-Score von Tibiakopffrakturen .....	23
Abbildung 4: WOMAC-Score .....	25
Abbildung 5: Radiologischer Rasmussenscore der proximalen Tibiakopffraktur ..	27
Abbildung 6: modifizierte radiologische Kriterien nach Rasmussen .....	28
Abbildung 7: Bildung des Patientenkollektivs .....	31
Abbildung 8: Ausmessung des proximalen medialen Tibiawinkels .....	32
Abbildung 9: Die Kriterien nach Resnick und Niwoyama zur Beurteilung der Entwicklung bzw. das Fortschreiten einer Arthrose .....	33
Abbildung 10: Berechnung des subkortikalen Knochendefektes .....	35
Abbildung 11: Altersverteilung aller Patienten mit einer Schatzker II-Fraktur .....	36
Abbildung 12: Demographische und radiologische Daten .....	39
Abbildung 13: radiologischer und klinischer Outcome .....	42
Abbildung 14: Radiologisches Ergebnis im postoperativen Verlauf mit Auswertung des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score und des medialen proximalen Tibiawinkels .....	43
Abbildung 15: Klinisches Ergebnis im Vergleich der Studiengruppen mit WOMAC und klinischem Rasmussen-Score .....	46
Abbildung 16: Demographische Daten und radiologisches Follow-up .....	48
Abbildung 17: Demographische Daten und Frakturmorphologie der Studiengruppen in Abhängigkeit von Alter und Implantatwahl .....	51
Abbildung 18: Modifizierter radiologischer Rasmussen-Score im Vergleich junges versus älteres Patientenkollektiv, sowie medialer proximaler Tibiawinkel .....	52
Abbildung 19: Radiologisches Ergebnis der jungen und alten Studiengruppe in Abhängigkeit der Implantatwahl – modifizierter radiologischer Rasmussen-Score und medialer proximaler Tibiawinkel .....	57

## Abkürzungsverzeichnis

a.p.	anterior – posterior
Abb.	Abbildung
ACL	Anterior cruciate ligament
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ARIF	Arthroscopic assisted reduction and internal fixation
cm	Zentimeter
cm <sup>2</sup>	Quadratzenimeter
cm <sup>3</sup>	Kubikzentimeter
CT	Computertomographie
HKB	Hinteres Kreuzband
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
KSS	Knee Society Score
LCP	Locking compression plate
LISS	Less invasive stabilization system
mm	Millimeter
mm <sup>3</sup>	Kubikmillimeter
MPTA	Medialer proximaler Tibiawinkel
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl
ORIF	Open reduction and internal fixation
PCL	Posterior cruciate ligament
p-Wert	Signifikanzwert
SMFA	Short musculoskeletal functional assessment
SPSS	Statistical package for social sciences
VAS	Visuelle Analog Skala
VKB	Vorderes Kreuzband
WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

## 1. Einleitung

Frakturen des Tibiaplateaus machen etwa ein Prozent aller Frakturen bei Erwachsenen aus [1] und treten mit einer Inzidenz von 10,3 pro 100 000 Einwohner und Jahr auf [2]. Der häufigste Typ ist charakterisiert durch einen epi- bis metaphysären Spaltbruch in Kombination mit einer Impression der Gelenkfläche am lateralen Tibiaplateau [2]. Abhängig von der angewandten Klassifikation ist dieser Typ als „Fraktur Typ 41B3“ von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO - [www.aofoundation.org](http://www.aofoundation.org)) oder nach Schatzker [3] als „Fraktur Typ II“ definiert. Der Impressionsspaltbruch ist typischerweise die Folge einer überstarken valgischen und axialen Krafteinleitung in das Kniegelenk. Betroffen sind zum einen jüngere Patienten, überwiegend Männer, die ein hochenergetisches Trauma wie einen Verkehrsunfall oder einen Sturz aus größerer Höhe erleiden und zum anderen ältere Patienten, überwiegend Frauen, die ein niedrig energetisches Trauma, wie einen einfachen Sturz, erleiden [2]. Die Behandlung von Schatzker-Typ-II-Frakturen erfordert häufig eine offene Reposition und interne Fixierung, um eine Dislokation und Instabilität der Fraktur sowie mögliche Gelenkinstabilität und Fehlstellungen im Gelenk zu beheben. Im Prinzip umfassen die operativen Verfahren das Anheben der abgesunkenen Gelenkfläche, das Füllen eines ggf. subkortikalen Knochendefektes und das Durchführen einer Osteosynthese. Nach Angaben der AO Foundation ist die Plattenosteosynthese ohne Winkelstabilität immer noch das standardmäßige Behandlungskonzept für diese Frakturen (gültig zum Zeitpunkt der Einreichung). Das Implantat wirkt als Stützplatte, während die Kompression der Gelenkfragmente und der großen metaphysären Fragmente mittels Zugschrauben erreicht wird. Winkelstabile Platten können verwendet werden, werden jedoch bei monokondylären Frakturen als selten notwendig erachtet; ausgenommen hiervon ist das Vorliegen einer Osteoporose.

In den letzten Jahren wurden in mehreren Studien technische Modifikationen hervorgehoben. Dazu zählen die minimalinvasive oder arthroskopisch unterstützte Osteosynthese [4-7], die Verwendung von winkelstabilen Implantaten, wie dem weniger invasiven Stabilisierungssystem (Less invasive stabilization system - LISS) oder die anatomisch vorkonturierten Verriegelungskompressionsplatten (Locking Compression Plate - LCP).

Die Optimierung von Behandlungskonzepten ist sehr gefragt, da sich bei 21–58 % der Patienten nach einer Tibiaplateau-Fraktur eine posttraumatische Arthrose entwickelt [8-12]. Die posttraumatische Valgus-Fehlstellung und -Instabilität, aufgrund einer verbleibenden Sinterung der Gelenkfläche, führen vermehrt zu progredienter Gonarthrose und zu schlechteren funktionellen Ergebnissen [8, 10, 13, 14]. Das anatomisch vorkonturierte LCP wurde entwickelt, um es einer Reihe von subchondralen Verriegelungsschrauben zu ermöglichen, die Reposition der Gelenkfläche zu stützen und aufrechtzuerhalten. Dies sollte, zusätzlich zu der hohen Primärstabilität der winkelstabilen Osteosynthese, ein zukünftiges Absinken der Gelenkfläche verhindern. Aufgrund fehlender Vergleichsstudien wurde jedoch kein verbessertes radiologisches oder klinisches Ergebnis nachgewiesen. Ein systematisches Review der Cochrane-Datenbank ergab zudem, dass die Datenmenge nicht ausreichte, um die beste Methode zur Fixierung bei der Behandlung von Tibiaplateau-Frakturen zu ermitteln [15].

Das Ziel dieser retrospektiven Kohortenstudie besteht darin, die Ergebnisse von Schatzker-Typ-II-Frakturen nach operativer Therapie, unter Verwendung entweder herkömmlicher Platten und Schrauben oder winkelstabiler Plattensysteme, zu bestimmen und zu vergleichen. Das radiologische Ergebnis, welches circa ein Jahr postoperativ erhoben wurde, wurde hierfür als primärer Parameter festgelegt. Für die radiologische Bewertung dienten die modifizierten Rasmussen-Kriterien [14, 16]. Als sekundäre Parameter wurden der mediale proximale Tibiawinkel (MPTA), das klinische Ergebnis, basierend auf dem Osteoarthritis-Index von Western Ontario und der McMaster University (WOMAC® 3.1, [www.womac.org](http://www.womac.org)) und die Rasmussen-Kriterien für die klinische Bewertung herangezogen [14, 16].

Ein weiteres Ziel der Studie ist der Vergleich der implantat-spezifischen radiologischen Behandlungsergebnisse bei älteren und jüngeren Patienten.

## 1.1 Grundlagen

### 1.1.1 Anatomie des Kniegelenks

Das Kniegelenk besteht aus insgesamt zwei Gelenken. Bei diesen Gelenken handelt es sich zum einen um die Artikulation zwischen Oberschenkel und Schienbein, welche auch als *Articulatio femorotibialis* bezeichnet wird und zum anderen um das Gelenk zwischen Oberschenkel und Kniescheibe (*Articulatio patellofemoralis*) [17]. Ein weiteres Gelenk bildet das Schienbein mit dem Wadenbein (*Articulatio tibiofibularis*). Dieses Gelenk wird streng genommen jedoch nicht zum Kniegelenk gezählt [18].

Die mit Knorpel überzogenen Gelenkflächen von Femur und Tibia werden auch als Kondylen bezeichnet. In der Mitte der tibialen Kondylen liegt die nicht überknorpelte *Eminentia intercondylaris*. Das Femur weist zusätzlich eine knorpelige Gelenkfläche für die Kniescheibe auf (*Trochlea* bzw. *Facies patellaris*) [17].

Zwischen den Knochen des Ober- und Unterschenkels liegen die mit der Gelenkkapsel verwachsenen Menisken, medial gelegen der Innenmeniskus, welches der größere der Menisken ist, lateral gelegen der Außenmeniskus. Der Innenmeniskus ist mit dem Innenband verwachsen und ist dadurch der immobilere Meniskus. Die Menisken selbst sind miteinander über die Vorderhörner mit dem *Ligamentum transversum genus* verbunden. Die Funktion der Menisken ist es, die Gelenkfläche zwischen Tibia und Femur zu vergrößern, sowie Inkongruenzen der Gelenkfläche auszugleichen [17, 18].

Da es sich beim Kniegelenk um ein Drehscharniergelenk (sog. *Trochoginglymus*) handelt, sind die ligamentären Strukturen des Kniegelenks komplex [17].

Die Seitenbänder (Kollateralbänder) des Kniegelenks dienen der Stabilisierung des Gelenks gegenüber Varus- und Valgus-Stress. Die Kollateralbänder verhindern während der Extension sowohl die Innen- als auch die Außenrotation im Femorotibial-Gelenk. Zu den Seitenbändern werden das Innenband (*Ligamentum collaterale mediale*), sowie das Außenband (*Ligamentum collaterale laterale*) gezählt. Das Innenband zieht vom Epikondylus medialis des Femurs nach distal und inseriert ca. sieben bis acht Zentimeter unterhalb des Gelenkspaltes an der *Facies media* des Tibiaschaftes. Das Außenband verläuft vom Epikondylus lateralis des Femurs zum Fibulaköpfchen [18].

Die Kreuzbänder liegen zentral im Kniegelenk und stabilisieren das Gelenk bei Rotationsbewegungen. So umwickeln sich die beiden Kreuzbänder bei Innenrotation und weichen dementsprechend bei Außenrotation auseinander. Außerdem verhindern die Kreuzbänder bei Flexion des Kniegelenks ein Abrutschen der Femurkondylen nach ventral bzw. dorsal und stabilisieren das Kniegelenk somit in der Sagittalebene [17].

Es gibt zwei Kreuzbänder: Das vordere Kreuzband (Ligamentum cruciatum anterius, ACL bzw. VKB) verläuft von anterior, inferior medial tibiaseitig nach posterior, superior lateral und setzt dort femoral an. Das hintere Kreuzband (Ligamentum cruciatum posterius, PCL bzw. HKB) verläuft von posterior, inferior lateral tibiaseitig nach anterior, superior medial femoralseitig [18].

Bemerkenswert ist die intraartikuläre Lage der Kreuzbänder. Entwicklungsgeschichtlich bedingt sind diese aber von extraartikulär ins Kniegelenk „eingewandert“, was an dem synovialen Überzug der Kreuzbänder zu sehen ist.

Die ventrale Stabilisierung des Kniegelenks bilden das Ligamentum patellae, welches vom distalen Patellapol an die Tuberositas tibiae zieht, und die Quadrizepssehne, welche die Verlängerung des Musculus quadrizeps femoris darstellt und am proximalen Pol der Patella ansetzt. Zur weiteren Stabilisierung des Kniegelenks tragen lateral der Tractus iliotibialis bei, sowie dorsal die Ligamenta popliteum obliquum und popliteum arcuatum [18].

Die Kapsel des Kniegelenks umfasst alle Gelenkanteile und ist fest mit dem Bandapparat der Patella verwachsen. Distal setzt die Kapsel an den Tibiakondylen an und ist fest mit den Menisken verwachsen. Die Kapsel besteht aus zwei Schichten, der Membrana fibrosa und der Membrana synovialis (= Synovialis). Die Gelenkkapsel dient dem Schutz des Gelenkes und sorgt über die Produktion von Synovialflüssigkeit für die Versorgung des Gelenkknorpels sowie der Reinigung des Gelenks [17].

## **Gefäße und Nerven**

Für die arterielle Versorgung der unteren Extremität ist hauptsächlich die Arteria femoralis communis zuständig, die aus der Arteria iliaca externa entspringt. Die Arteria

femoralis wird nach ihrem Durchtritt durch den Adduktorenkanal zur Arteria poplitea. Bei ihrer Passage durch den Adduktorenkanal gibt die Arteria femoralis eine Arteria descendens genus ab, welche nach distal zum Kniegelenk zieht. Das Kniegelenk wird vor allem über die Arteria poplitea versorgt, aus welcher fünf Arterien entspringen, welche die Blutversorgung des Kniegelenks sicherstellen [17, 18]. Oberhalb der Femurkondylen entspringen aus der Arteria poplitea die Arteria genus media, die Arteria superior medialis genus und die Arteria superior lateralis genus. Auf Höhe der Tibiakondylen gehen zwei weitere Arterien aus der Arteria poplitea ab: die Arteria inferior medialis genus und die Arteria inferior lateralis genus. All diese Arterien bilden multiple Anastomosen untereinander aus und bilden das Rete articulare genus [17, 18].

Der venöse Abfluss aus der Kniegelenksregion erfolgt über die, mit den Arterien verlaufenden, gleichnamigen Venen in die Vena poplitea und die Vena saphena magna, welche zusammen die Vena femoralis bilden [17, 18].

Die Innervation des Kniegelenks erfolgt ventral über den Nervus femoralis, dorsal wird das Kniegelenk über den Nervus ischiadicus versorgt, aus dem der Nervus peroneus communis abgeht, der von dorsal um das Caput fibulae zieht und sich auf Höhe des Fibulaköpfchens verzweigt in einen Nervus peroneus superficialis und Nervus peroneus profundus. Die Peroneus-Nerven sind bei einer operativen Therapie einer Tibiakopffraktur, welche meist über einen lateralen Zugang adressiert wird, besonders gefährdet und möglichst zu schonen [17, 18].

## **Biomechanik**

Beim Kniegelenk handelt es sich um ein Drehscharniergelenk (Trochoginglymus) und ermöglicht somit eine Kombination aus Roll- und Gleitbewegungen. Das Gelenk besitzt vier Freiheitsgrade, somit sind Beugung und Streckung, sowie Innen- und Außenrotation möglich. Der aktive Bewegungsumfang beträgt für die Extension und Flexion ungefähr  $0^{\circ}/0^{\circ}/150^{\circ}$ . Passiv ist auch eine Hyperextension von ca.  $5-10^{\circ}$  möglich. In Extensionsstellung wird durch die Kollateralbänder eine Rotationsbewegung verhindert. Bei gebeugtem Kniegelenk ist eine Außenrotation der Tibia gegenüber dem Femur von ca.  $30^{\circ}$  möglich; die Innenrotation wird durch die Aufwicklung der Kreuzbänder auf ca.  $10^{\circ}$  begrenzt [17, 18].

In der initialen Flexionsphase rollen die Femurkondylen auf dem Tibiaplateau (bis ca. 25°). Bei zunehmender Beugung gleiten die Femurkondylen nach dorsal auf dem Schienbeinkopf. Dementsprechend bewegen sich auch die Menisci bei Flexion nach dorsal. Dabei ist der Außenmeniskus der Mobilere beider Menisken. Bei Rotationsbewegungen bewegen sich die Menisken, abhängig von Außen- bzw. Innenrotation, gegenläufig auf dem Schienbeinkopf nach vorne bzw. nach hinten [17, 18].

### **1.1.2 Die Tibiakopffraktur**

Die proximale Tibiakopffraktur macht circa 1 % aller Frakturen des menschlichen Körpers aus. Die Inzidenz beträgt ca. 10,3 bis 13,3 pro 100 000 Einwohnern jährlich [1, 2, 19].

Bei der Altersverteilung von Tibiaplateaufrakturen zeigt sich eine Zweigipfligkeit. Zum einen erleiden diese Verletzung jüngere Männer durch Hochrasanztraumen, zum anderen sind es im höheren Alter vor allem Frauen, die durch ein Niedrigenergie trauma wie z.B. einen Sturz aus dem Stehen eine solche Verletzung davontragen [2, 20]. Vor allem im höheren Alter ist die Osteoporose ein Risikofaktor für das Auftreten einer Fraktur [1]. Insgesamt ist die Geschlechterverteilung der betroffenen Patienten relativ ausgeglichen (Männer 54 % vs. Frauen 46 %) [1].

Eine Tibiakopffraktur entsteht im jüngeren Alter meist durch eine direkte Gewalteinwirkung auf das Schienbein, wie bei Verkehrsunfällen oder bei einem Sturz aus größerer Höhe. Oft liegt der Verletzung aber auch eine indirekte Gewalteinwirkung (Varus-/ Valgusstress) mit gleichzeitiger axialer Krafteinwirkung, sowie einer möglichen Rotationsbewegung, zu Grunde [21]. Einige Studien zeigen auch, dass es vor allem beim alpinen Skisport vermehrt zu Tibiakopffraktionen kommen kann [19, 22].

Von der Stärke der einwirkenden Kraft auf den Schienbeinkopf bzw. das Kniegelenk hängt die Schwere möglicher Begleitverletzungen ab (ligamentäre Verletzungen, Gefäßverletzungen, Nervenläsionen) [21].

Der Goldstandard zur Diagnostik einer Tibiakopffraktur ist, neben der ausführlichen Anamnese sowie des klinischen Befundes, vor allem das Anfertigen eines Röntgenbildes des Kniegelenks in zwei Ebenen (a.p. und seitlich). Bei nicht sicher auszuschließender Fraktur, bzw. zur besseren Beurteilung der Fraktur, wird eine Computertomographie (CT) des Kniegelenks durchgeführt. Bei Verdacht auf eine begleitende ligamentäre Verletzung ist eine Magnetresonanztomographie (MRT) des Kniegelenks indiziert [23, 24].

### 1.1.3 Klassifikationen

Die gängigsten radiologischen Klassifikationen für die proximale Tibiakopffraktur sind zum einen die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (=AO), zum anderen die Schatzker-Klassifikation.

Die AO-Klassifikation geht aus der Einteilung der Frakturen von Müller et al. hervor [25]. Hierbei handelt es sich um ein logisches und universelles System, welches vor allem die Morphologie und den Schweregrad der Fraktur beschreibt. Diese Klassifikation teilt jeder Fraktur einen vierstelligen Code zu, welcher sowohl die anatomische Region angibt als auch die Schwere der Fraktur beschreibt.

So steht die erste Ziffer für den verletzten Knochen:

- 1 = Humerus
- 2 = Radius und Ulna
- 3 = Femur
- 4 = Tibia und Fibula
- 5 = Wirbelsäule
- 6 = Becken
- 7 = Hand
- 8 = Fuß

Die zweite Ziffer unterteilt den betroffenen Knochen in proximal (1), diaphysär (2) und distal (3). Somit handelt es sich bei einer proximalen Tibiafraktur um den Ziffern-Code, welcher mit einer AO 41 beginnt.

Die dritte Stelle unterteilt die Fraktur nach Schwere, dabei steht A für eine einfache Fraktur oder eine extraartikuläre Fraktur. B steht für eine schwerwiegendere Fraktur wie z.B. eine Keilfraktur oder eine partielle intraartikuläre Fraktur und C für komplexe Frakturen bzw. für vollständig intraartikuläre Frakturen.

Die letzte Ziffer beschreibt unter den bisherigen Vorgaben die Fragmentbeschaffenheit, dabei wird dies mit 1 = leicht, 2 = mittel und 3 = schwer analysiert. In der Abbildung ist dies für die Tibiakopffraktur zu sehen.

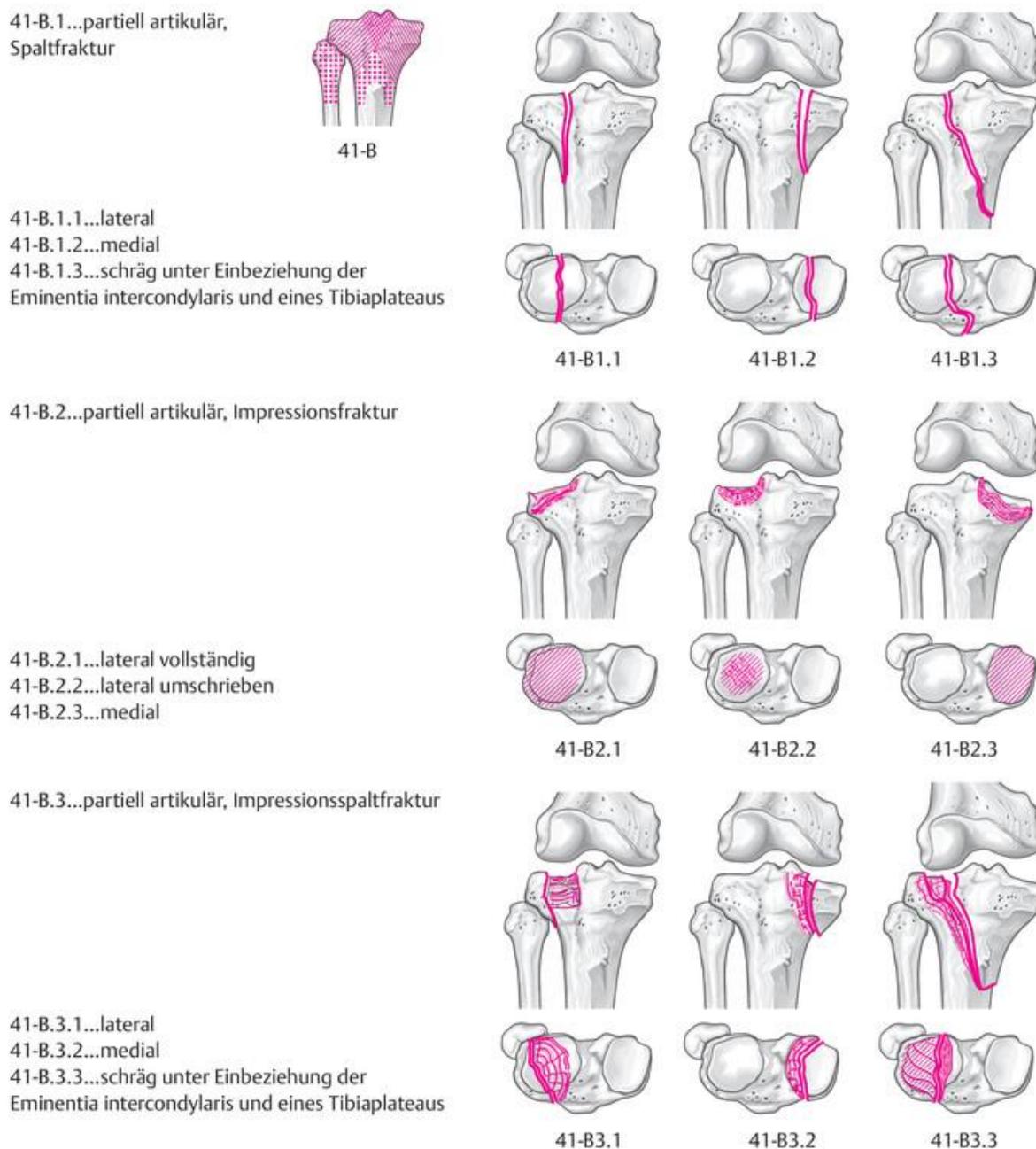


Abbildung 1: AO Klassifikation der B-Verletzungen: partiell intraartikuläre Tibiakopffrakturen [26]

Die Schatzker Klassifikation geht auf Joseph Schatzker zurück, der diese Klassifikation erstmals 1979 beschrieben hat [3]. Dabei werden ausnahmslos intraartikuläre Frakturen betrachtet und diese in sechs Typen unterteilt. Die Unterteilung erfolgt, indem er die Frakturtypen auf die laterale und mediale Tibiakondyle bezieht. So betreffen die Typen I-III das laterale Tibiaplateau. Bei Typ I handelt es sich um einen reinen Spaltbruch des lateralen Tibiaplateaus. Typ II ist ein Spaltbruch des lateralen Tibiaplateaus kombiniert mit einer Impressionszone der Gelenkfläche. Bei Typ III handelt es sich um eine reine Impressionszone des lateralen Tibiaplateaus. Typ IV unterscheidet zwei Subtypen: Typ A ist ein Spaltbruch der medialen Tibiakondyle; Typ B ist ein Impressionsbruch des medialen Tibiaplateaus. Bei beiden Subtypen ist eine zusätzliche Avulsionsfraktur der Eminentia intercondylaris möglich. Bei Typ V handelt es sich um eine Fraktur beider Tibiakondylen. Und Typ VI ist eine Fraktur beider Tibiakondylen mit einer vollständigen Trennung der Tibiadiaphyse zur Metaphyse (siehe Abbildung 2). [27]

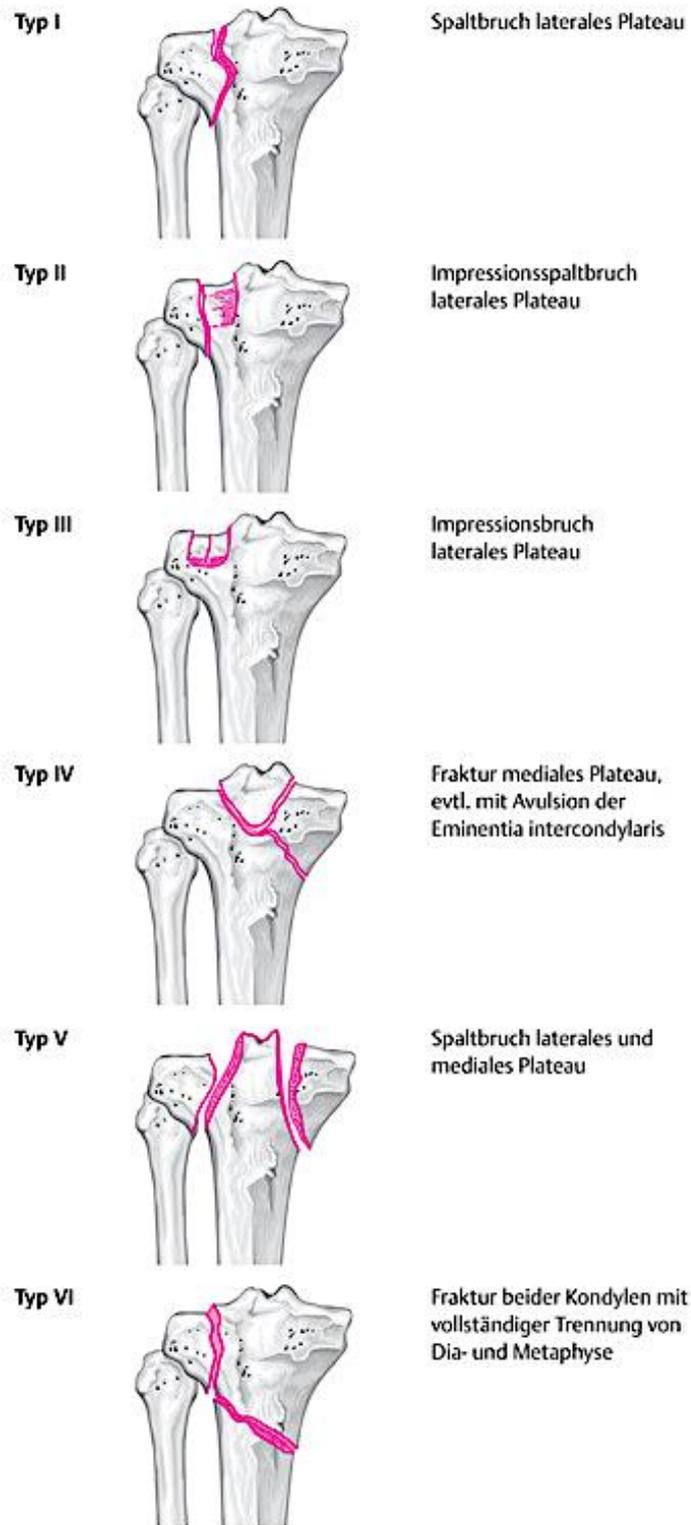


Abbildung 2: Schatzker-Klassifikation der Tibiakopffraktur [26]

#### 1.1.4 Therapie

Für Tibiakopffrakturen gibt es sowohl konservative, als auch operative Behandlungsmöglichkeiten. Ausschlaggebend für die Therapiewahl ist die Frakturmorphologie und -klassifikation. Das Ziel der operativen als auch konservativen Therapie ist eine anatomische Stellung bzw. Rekonstruktion des Gelenkes mit physiologischem Alignment, sowie eine möglichst stabile Versorgung, um eine frühfunktionelle Nachbehandlung zu ermöglichen [24].

Eine konservative Therapie ist bei nicht dislozierten und anatomisch gut stehenden Tibiakopffrakturen möglich [24]. Diese werden durch Ruhigstellung des Kniegelenks mittels einer Orthese und unter Entlastung des verletzten Beines therapiert. Auch kleine Impressionsfrakturen, bei denen die Gelenkstufe nicht zwei Millimeter (mm) überschreitet, können konservativ therapiert werden [28]. Andere Indikationen zur konservativen Therapie, bzw. ein Verfahrenswechsel von einer Osteosynthese zu einem endoprothetischen Gelenkersatz, sind zum Beispiel eine schlechte Weichteilsituation, eine nicht rekonstruierbare Trümmerfraktur, ein vorbestehender Gelenkverschleiß, osteoporotische Knochensubstanz oder eine Kombination aus mehreren der oben genannten Kriterien.

Die operative Therapie mit einer Platten- bzw. Schraubenosteosynthese ist das Mittel der Wahl bei dislozierten Tibiakopffrakturen. Das Therapieverfahren wird in Abhängigkeit des Frakturtyps bestimmt, unter Berücksichtigung möglicher Begleitverletzungen. In bestimmten Situationen ist eine vorübergehende Stabilisierung durch einen Fixateur externe notwendig. Dies trifft vor allem auf hochgradig instabile Frakturen, ausgeprägte begleitende Weichteilverletzungen und multimorbide Patienten, die sich in einem schlechten Allgemeinzustand befinden, zu.

Bei der operativen Therapie werden zwei unterschiedliche OP-Verfahren verwendet; die klassische OP-Technik mit offener Reposition und interner Fixierung (ORIF) und die arthroskopisch assistierte Reposition und interne Fixierung (ARIF) [5, 6].

Die Indikationen für eine offene Reposition mit Platten- bzw. Schraubenosteosynthese sind instabile Frakturen, Tibiakopffrakturen mit einer Gelenklinienstufe größer als zwei Millimeter, Achsenabweichungen und ligamentäre oder neurovaskuläre Begleitverletzungen [29].

Je nach Frakturtyp, Weichteilverletzung und Frakturlokalisierung wird der operative Zugang gewählt. Wichtig sind eine gute Darstellung und Behandelbarkeit der Fraktur und eventueller begleitender Bandverletzungen. Die Zugänge können in Rückenlage in zentraler, medialer oder lateraler Form oder auch als posteriorer Zugang in Bauchlage erfolgen.

Für die operative Therapie des häufiger betroffenen lateralen Tibiaplateaus wird in der Regel der anterolaterale Zugang gewählt. Hierfür erfolgt der Längsschnitt parallel zur vorderen Tibiakante, mit Beginn auf Höhe des Epicondylus lateralis des Femur und einen Querfinger parapatellar zwischen dem Gerdy-Tuberkel und der Tuberositas tibiae. Der Tractus iliotibialis, der unter anderem am Gerdy-Tuberkel ansetzt, wird subperiostal mit den Extensoren vom Knochen getrennt. Auch die meniskotibialen Bänder müssen zur besseren Darstellung des Kniegelenks gespalten werden [30]. Der Meniskus selbst kann nun an der Basis mit einem Faden nach proximal gehalten werden. Der Schnitt kann auch s-förmig nach distal fortgeführt werden und ermöglicht damit ggf. eine weitere Präparation des restlichen Tibiakopfes. Zur besseren Beurteilung des lateralen Kompartiments wird nun ein Varusstress bei gestrecktem oder leicht flektierten Unterschenkel ausgeübt [31].

Für Frakturen des medialen Kondylus wird der anteromediale Zugang gewählt. Hierfür erfolgt der Hautschnitt unmittelbar parapatellar am oberen medialen Patellarwinkel und wird entlang des medialen Randes des Lig. patellae bis etwa zwei bis vier Zentimeter medial der Tuberositas tibiae geführt. Bei ausgeprägter Trümmerzone der Fraktur sollte der Pes anserinus von der Tuberositas tibiae abgelöst werden. Um das intraartikuläre mediale Kompartiment beurteilen zu können, wird eine mediale Arthrotomie durchgeführt und der Innenmeniskus weggeklappt [30].

Bei bikondylären Frakturen kann ein bilateraler Zugang erforderlich sein, um die Fraktur beidseits mit Platten zu stabilisieren. Wird ein bilateraler Zugang gewählt, sollten zwischen dem lateralen und medialen Zugang fünf bis sechs Zentimeter Abstand liegen, um eine angemessene Durchblutung zu gewährleisten. Ein bilateraler Zugang sollte aber sehr zurückhaltend indiziert werden, da dadurch das Risiko für die Entstehung von Hautnekrosen erhöht ist [30].

Als operativer Zugangsweg für posterior gelegene Frakturen bietet sich der Zugang nach Trickey an; über diesen Zugangsweg lassen sich auch Läsionen des hinteren

Kreuzbandes adressieren. Der Patient wird in Bauchlage gelagert und die Inzision erfolgt s-förmig in der Kniekehle. Um das zentral in der Fossa poplitea gelegene Gefäß-Nerven Bündel besser zu lokalisieren bzw. zu identifizieren empfiehlt es sich bei diesem Zugangsweg auf die Anlage einer Blutsperre zu verzichten. Nach Eröffnen der Faszie gilt es den Nervus peroneus aufzusuchen und ggf. mit einem Loop anzuschlingen. Die beiden Köpfe des M. gastrocnemius werden stumpf nach medial und lateral weggehalten. Nun gelangt man auf die dorsale Kapsel des Kniegelenks, welche man eröffnen kann und direkt auf die Eminentia intercondylaris gelangt [30].

Ist der korrekte Zugang erfolgt und die Fraktur ausreichend dargestellt, werden zunächst dislozierte Knochenfragmente reponiert und abgesunkene Knochenteile hochgestößelt, um die tibiale Gelenklinie wieder möglichst anatomisch zu rekonstruieren. Bei Impressionsfrakturen kann ein Unterfütteln mit Spongiosa unabdingbar sein, um die tibiale Gelenkfläche wiederherzustellen [29]. Kirschner-Drähte oder Schrauben können zur vorübergehenden Fixierung der Reposition hilfreich sein [23]. Zur endgültigen Stabilisierung der anatomisch reponierten Gelenkfläche und des achsgerechten Repositionsergebnisses eignen sich Schrauben- oder Plattensysteme.

Eine Therapieindikation mittels alleiniger Schraubenosteosynthese ist bei undislozierten bis minimal dislozierten Spaltbrüchen, Impressionen am Gelenkrand und Randabrisssfrakturen gegeben. Bei nicht ausreichender Stabilität sollte zur Sicherung zusätzlich eine Abstützplatte angebracht werden [24, 31].

Mit der arthroskopisch assistierten OP-Technik können Spalt- oder Impressionsfrakturen des Tibiakopfes therapiert werden. Hierzu wird nach Anlage der Arthroskopieportale mittels anterolateraler und anteromedialer Stichinzision der HämARTHROS aus dem Kniegelenk ausgespült. Nun kann unter visueller und Bildwandlerkontrolle die Fraktur mittels Schraubenosteosynthese versorgt werden. Bei Impressionen der Gelenkfläche kann diese, nach Anlage eines Knochenfensters, hochgestößelt und mittels einer Platte fixiert werden. Außerdem bietet die Arthroskopie den Vorteil eventuelle intraartikuläre Begleitverletzungen zu diagnostizieren und mit zu versorgen [6].

## Klinische Scores

Im Rahmen dieser Studie wurden zur klinischen Nachuntersuchung von Patienten zwei Bewertungssysteme angewendet. Zum einen der klinische Score nach Rasmussen, welcher speziell für Tibiakopffrakturen entwickelt wurde [14], und zum anderen der Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index (WOMAC). Der Rasmussen-Score ist in zwei Teile geteilt, einen subjektiven und einen klinischen Teil. Insgesamt können bei diesem Score maximal 30 Punkte erreicht werden, welche sich auf die Subskalen Schmerz, Gehfähigkeit, Beweglichkeit und die Stabilität des Kniegelenks aufteilen (siehe Abbildung 3).

	Points	Excellent	Acceptable Good	Unacceptable Fair	Poor
A. Subjective complaints					
a. Pain					
No pain	6				
Occasional ache, bad weather pain	5				
Stabbing pain in certain positions	4	5	4	2	0
Afternoon pain, intense, constant pain around the knee after activity	2				
Night pain at rest	0				
b. Walking capacity					
Normal walking capacity (in relation to age)	6				
Walking outdoors at least 1 hour	4	6	4	2	1
Short walks outdoors > 15 minutes	2				
Walking indoors only	1				
Wheel-chair/bedridden	0				
B. Clinical signs					
a. Extension					
Normal	6				
Lack of extension (0–10 degrees)	4	6	4	2	2
Lack of extension > 10 degrees	2				
b. Total range of motion					
At least 140	6				
At least 120	5	5	4	2	2
At least 90	4				
At least 60	2				
At least 30	1				
0	0				
c. Stability					
Normal stability in extension and 20 degrees of flexion	6				
Abnormal instability 20 degrees of flexion	5				
Instability in extension < 10 degrees	4				
Instability in extension > 10 degrees	2				
Sum (minimum)		27	20	10	6

Abbildung 3: Klinischer Rasmussen-Score von Tibiakopffrakturen [14]

Der WOMAC-Score wurde 1982 entwickelt und ist ein Fragebogen mit 24 Fragen, mit dem die Auswirkungen einer Arthrose in Hüft- und Kniegelenk abgefragt werden. Er enthält folgende Kriterien: Schmerz, Steifheit des Gelenks und Gelenkfunktion. Insgesamt können maximal 96 Punkte erreicht werden (siehe Abbildung 4). Diese beiden Fragebögen wurden im Rahmen dieser Studie zu einem Bogen

zusammengefasst und mittels eines Telefonates mit den Patienten postoperativ durchgegangen (siehe Anhang).

Severity, on average, during the last 48 hours, of:

Pain	None	Slight	Moderate	Severe	Extreme
Pain – Walking	<input type="checkbox"/>				
Pain – Stair climbing	<input type="checkbox"/>				
Pain – Nocturnal	<input type="checkbox"/>				
Pain – Rest	<input type="checkbox"/>				
Pain – Weightbearing	<input type="checkbox"/>				

Stiffness:

Morning Stiffness	<input type="checkbox"/>				
Stiffness occurring during the day	<input type="checkbox"/>				

Level of difficulty performing the following functions, on average, during the last 48 hours:

	None	Slight	Moderate	Severe	Extreme
Descending stairs	<input type="checkbox"/>				
Ascending stairs	<input type="checkbox"/>				
Rising from sitting	<input type="checkbox"/>				
Standing	<input type="checkbox"/>				
Bending to the floor	<input type="checkbox"/>				
Walking on flat	<input type="checkbox"/>				
Getting in/out of a car	<input type="checkbox"/>				
Going shopping	<input type="checkbox"/>				
Putting on socks	<input type="checkbox"/>				
Rising from bed	<input type="checkbox"/>				
Taking of socks	<input type="checkbox"/>				
Lying in bed	<input type="checkbox"/>				
Getting in/out of bath	<input type="checkbox"/>				
Sitting	<input type="checkbox"/>				
Getting on/off toilet	<input type="checkbox"/>				
Performing heavy domestic duties	<input type="checkbox"/>				
Performing light domestic duties	<input type="checkbox"/>				

The WOMAC parameters are:

0 – none, 1 – slight, 2 – moderate, 3 – severe, 4 – extreme.

The index is out of a total of 96 possible points, with 0 being the best and 96 being the worst

Abbildung 4: WOMAC-Score [32]

## Radiologischer Score

Ein weiterer radiologischer Score, der im Rahmen dieser Studie verwendet wurde, ist der modifizierte radiologische Score nach Rasmussen. Dieser Score wurde 1973 erstmals von Poul Rasmussen beschrieben, der diesen Index zur Bewertung von unterschiedlichen Tibiakopffrakturen entwickelte [14]. Die Auswertung erfolgt anhand von Röntgenbildern von Kniegelenken und bewertet diese hinlänglich der Gelenkflächenstellung, der Verbreiterung der Tibiakondylen, sowie einer Varus- oder Valgusfehlstellung. Jeder dieser Kriterien wird mit einem Punktesystem bewertet und zu einer Gesamtsumme zusammenaddiert (siehe Abbildung 3).

Subjective	Points
<b>A. Articular depression</b>	
Not present	6
<5 mm	4
6–10 mm	2
>10 mm	0
<b>B. Condylar widening</b>	
Not present	6
<5 mm	4
6–10 mm	2
>10 mm	0
<b>C. Angulation (valgus/varus)</b>	
Not present	6
<10°	4
10–20°	2
>20°	0
Maximum	18
Excellent	18
Good	12–17
Fair	6–11
Poor	<6

Abbildung 5: Radiologische Rasmussenkriterien der proximalen Tibiakopffraktur [14]

1992 wurde durch Honkonen und Järvinen dieser radiologische Score im Vergleich zu anderen gängigen Scores validiert und als zu optimistisch bewertet [33]. Als Reaktion wurde der „klassische“ radiologische Rasmussen-Score 1995 von Biyani modifiziert und angepasst [16]. Diesem modifizierten Score wurde ein weiteres Kriterium hinzugefügt, nämlich die Entwicklung einer möglichen posttraumatischen Arthrose (siehe Abbildung 4). Anhand dieses modifizierten radiologischen Rasmussen-Score wurden die Röntgenbilder dieser Studie, welche ein Jahr postoperativ angefertigt wurden, analysiert und bewertet.

	<i>Points</i>
<b>Articular depression</b>	
None	3
< 5 mm	2
6 – 10 mm	1
> 10 mm	0
<b>Condyle widening</b>	
None	3
< 5 mm	2
	1

6 – 10 mm	0
> 10 mm	
Varus/valgus angulation	
None	3
< 10°	2
10 – 20°	1
> 20°	0
Osteoarthrosis	
None/no progression	1
Progression by one grade	0
Progression by > one grade	-1
Excellent	9 – 10
Good	7 – 8
Fair	5 – 6
Poor	< 5

Abbildung 6: modifizierte radiologische Kriterien nach Rasmussen [16]

### 1.1.5 Ziele der Studie

Ziel dieser retrospektiven Kohortenstudie war es, die Ergebnisse von Schatzker-Typ-II-Frakturen nach Plattenosteosynthese entweder mit konventionellen Platten und Schrauben oder mit anatomisch vorgeformten winkelstabilen Implantaten zu bestimmen und zu vergleichen. Der primäre Ergebnisparameter war das radiologische Ergebnis etwa ein Jahr postoperativ unter Anwendung der modifizierten Rasmussen-Kriterien für die radiologische Beurteilung (19, 21). Der sekundäre Ergebnisparameter war der mediale proximale Tibiawinkel, sowie das klinische Ergebnis auf der Grundlage des Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index (WOMAC® 3.1, [www.womac.org](http://www.womac.org)) und der modifizierten Rasmussen-Kriterien für die klinische Beurteilung.

Als weiteres Ziel wurde systematisch die altersabhängige Auswirkung einer winkelstabilen gegenüber einer nicht verriegelnden Verplattung auf die radiologischen Ergebnisse von AO41B3-Frakturen untersucht. Als primärer Outcome Parameter wurde hierbei der radiologische Rasmussen-Score etwa 12 Monate nach erfolgter Operation von Impressionsspaltbrüchen des lateralen Tibiaplateaus bei jungen Patienten im Vergleich zu einem ältere Patientenkollektiv festgelegt. Die sekundären Outcome Parameter waren der radiologische Rasmussen-Score direkt postoperativ und der mediale proximale Tibiawinkel postoperativ und nach 12 Monaten.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Patienten

#### 2.1.1 Patientenkollektiv

In einer retrospektiven Studie wurden die Daten von 278 Patienten untersucht, bei denen im Zeitraum zwischen dem 01.01.2010 und dem 31.12.2016 ein Bruch des Tibiakopfes diagnostiziert und behandelt wurde. Dafür wurden die Datenbanken der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie am Campus München Großhadern und am Campus München Innenstadt mittels des ICD-10 Codes für Tibiaplateaufrakturen S 82.1 durchsucht und Patienten identifiziert, die stationär behandelt wurden.

Die relevanten Daten wurden aus den Patientenakten, Röntgenuntersuchungen und Operationsberichten generiert.

Als Einschlusskriterien in die Studie wurden definiert:

- Eindeutige Impressionsspaltbrüche des lateralen Tibiaplateaus gemäß der Schatzker-Klassifikation (Schatzker II Frakturen)
- Geschlossene Frakturen
- Volljährigkeit des Patienten
- operative Versorgung der Fraktur mittels offener Reposition und interner Fixierung, unter Verwendung einer konventionellen Abstützplatte mit Zugschrauben oder einer anatomisch vorgeformten, winkelstabilen Platte
- Isolierte Verletzung des Kniegelenks
- Vorhandensein eines komplett radiologischen Datensatzes (Röntgen und CT präoperativ, sowie Röntgen direkt postoperativ und 12 Monate postoperativ)

Als Ausschlusskriterien wurden bestimmt:

- kein eindeutiger Impressionsspaltbruch des Tibiaplateaus
- offene Fraktur
- polytraumatisierte Patienten bzw. Vorliegen von Kettenverletzungen
- Minderjährige und betreute Patienten

Aus dieser Selektion von Patienten wurden folgende Daten erhoben:

- Alter zum Verletzungszeitpunkt in Jahren
- Geschlecht
- radiologische Details des Impressionsspaltbruches, wie Ausmaß der betroffenen Gelenkfläche am lateralen Tibiaplateau und maximale Tiefe der Impression
- Dauer der stationären Behandlung in Tagen
- Dauer vom Zeitpunkt der Verletzung bis zur Operation in Tagen
- Dauer der Operation in Minuten
- eventuelle Versorgung eines subkortikalen Knochendefektes am lateralen Tibiaplateau (void filling)
- eventuelle Versorgung einer Außenmeniskusverletzung
- Art der Osteosynthese und der verwendeten Implantate
- modifizierte Rasmussen-Kriterien zur radiologischen Beurteilung der unmittelbar postoperativ, sowie im weiteren Verlauf angefertigten Röntgenkontrollen
- Dauer der Teilbelastung an Unterarmgehstützen in Wochen
- Dauer der Arbeitsunfähigkeit in Wochen
- Art und Zeitpunkt eventueller Folgeoperationen
- objektive Stabilität
- Bewegungsausmaß des Kniegelenkes und Schmerzangabe bei den Verlaufskontrollen
- Art und Behandlung eventueller Komplikationen
- subjektive Angaben zu Symptomen, Bewegungsausmaß, Stabilität, Kraft, Funktionseinschränkung und Schmerz gemäß der Patientenbefragungsbögen zur Bestimmung der modifizierten Rasmussen Kriterien zur klinischen Beurteilung des WOMAC-Index

Ein positives Votum der Ethikkommission zu der Studie lag vor (Projekt-Nr.: 17-753 vom 18.12.2017).

## 2.1.2 Subgruppen und Zielkriterien

Das gefundene Patientenkollektiv mit der ICD-10 Diagnose S82.1 (Tibiakopffraktur) umfasste 278 Patienten für den Zeitraum vom 01.01.2010 bis einschließlich 31.12.2016. Dieses Kollektiv wurde anhand der Klassifikation nach Schatzker weiter unterteilt. In die Studie eingeschlossen, wurden alle Patienten mit einem eindeutigen Impressionsspaltbruch des lateralen Tibiaplateaus, gemäß der Schatzker Klassifikation Schatzker II Frakturen, welche den häufigsten Subtyp eines Bruchs des Schienbeinkopfes mit circa 40 % darstellt[2, 7, 34].

Diese eingeschlossenen Patienten wurden in Abhängigkeit davon, mit welchem Implantat sie versorgt wurden, in zwei Gruppen unterteilt. Die eine Gruppe wurde gebildet durch Patienten, die mittels der konventionellen OP-Technik mit einer Abstützplatte und/oder Zugschrauben versorgt wurden; die andere Gruppe bestand aus Patienten, welche mit moderneren, anatomisch vorgeformten, winkelstabilen Plattensystemen operiert wurden.

Insgesamt konnten so 59 Patienten identifiziert werden. Nun wurden diese 59 Patienten primär unterteilt nach Implantatwahl der operativen Versorgung. Darauf erfolgte eine Matched pair Analyse mittels des „Best Fit“ Modells beider Gruppen hinsichtlich folgender Parameter:

1. Operative Auffüllung eines subchondralen Knochendefektes (Ja vs. Nein)
2. Alter
3. Impressionstiefe der Fraktur am Tibiaplateau in mm

So wurden insgesamt 50 Patienten in die Studie eingeschlossen und auf zwei Gruppen aufgeteilt; eine Gruppe mit konventioneller Implantatversorgung, sowie eine Gruppe mit anatomisch vorkonturierten, winkelstabilen Plattenosteosynthesen.

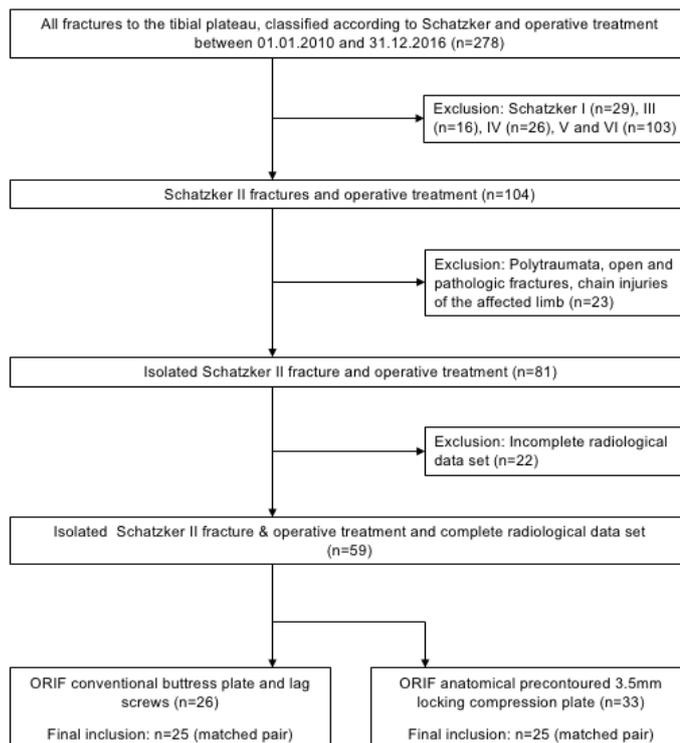


Abbildung 7: Bildung des Patientenkollektivs [35].

Der primäre Outcome-Parameter war die Auswertung der postoperativ angefertigten Röntgenbilder anhand der modifizierten radiologischen Kriterien nach Rasmussen etwa ein Jahr postoperativ. Dieser Score beinhaltet vier Kriterien, welche zusammengezählt maximal zehn Punkte betragen kann (siehe Abbildung 4) [16]. Diese Kriterien sind folgende:

- Impression der Gelenkfläche
- Verbreiterung/Vergrößerung der tibialen Gelenkfläche
- Varus- bzw. Valgusfehlstellung
- Fortschreiten der Arthrose

Die verbliebene Impressionstiefe der Gelenkfläche wurde, nach erfolgter operativer Therapie, anhand der a.p.-Röntgenbilder der Kniegelenke ausgemessen, welche postoperativ angefertigt wurden. Diese Gelenkstufen wurden in mm ausgemessen und anhand des Bewertungssystem des modifizierten radiologischen Rasmussen-Scores beurteilt.

Ebenso wurde mit der Verbreiterung der Gelenkfläche verfahren.

Die Varus- bzw. Valgus-Fehlstellung wurde auch anhand der postoperativ angefertigten a.p.-Röntgenbilder ausgemessen. Hierbei wurde der mediale proximale Tibia-Winkel (MPTA) bemessen, der von der Tibia-Schaftachse und der Gelenkfläche gebildet wird. Bei zunehmender Fehlstellung in den postoperativen Röntgenbildern wurde dies entsprechend den Kriterien nach Rasmussen bewertet. Die Bemessung des medialen proximalen Tibia-Winkels wurde als sekundärer Outcome-Parameter festgelegt.

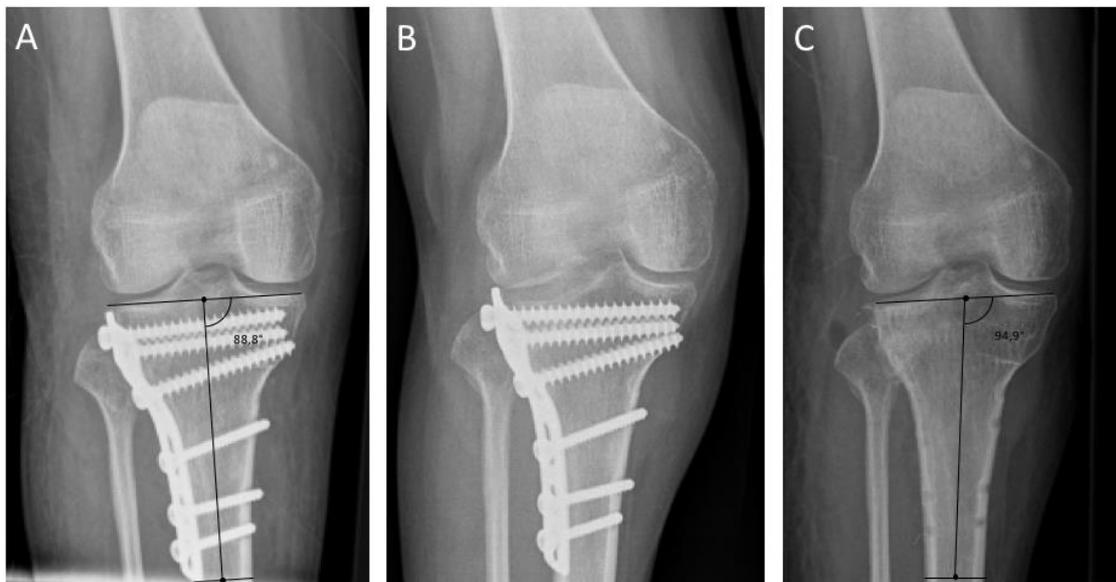


Abbildung 8: Ausmessung des proximalen medialen Tibiawinkels. [35].

Die Entwicklung bzw. das Fortschreiten einer Arthrose wurde unter Anwendung der Resnick- und Niwoyama-Kriterien [16] anhand der postoperativ angefertigten Röntgenbilder bestimmt und in die Bewertung des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score einbezogen.

Zwei Patienten, die im ersten postoperativen Jahr nach osteosynthetischer Versorgung einer Fraktur des Tibia-Plateaus Typ Schatzker II eine Knie-Endoprothese benötigten, wurden als Therapieversager gewertet und bekamen den schlechtesten Score entsprechend den modifizierten radiologischen Kriterien nach Rasmussen zugewiesen.

<i>Grade</i>	
0	None
1	Minimal joint space narrowing Mild sclerosis
2	Moderate narrowing, osteophytes Moderate subchondral sclerosis Moderate bony aberration Intra-articular osseous bodies
3	Marked joint space narrowing Bony collapse Severe subchondral sclerosis Marked deformity Severe bony aberration

Abbildung 9: Die Kriterien nach Resnick und Niwoyama zur Beurteilung der Entwicklung bzw. das Fortschreiten einer Arthrose [16]

Es lag, gemäß den Einschlusskriterien, von allen Patienten präoperativ ein Computertomogramm (CT) des verletzten Kniegelenks vor, um eine genauere Beurteilung der Frakturmorphologie, sowie der imprimierten Gelenkfläche und des ggf. vorliegenden subkortikalen Knochendefektes zu erlangen. Die imprimierte Gelenkfläche wurde in der koronaren und sagittalen Schichtebene beurteilt. Die Fläche A der überwiegend oval geformten Gelenkflächenfragmente wurde dann berechnet als

$$A = \left(\frac{a}{2}\right) \times \left(\frac{b}{2}\right) \times \pi$$

Zusätzlich wurde die maximale Impression (c) des Gelenkflächenfragments quantifiziert. Für die Zwecke dieser Studie wurde das erwartete Hohlraumvolumen V

$$V = A \times \left(\frac{2c}{3}\right)$$

berechnet. Die berechneten Werte wurden den beiden Studiengruppen zugeteilt und miteinander verglichen.

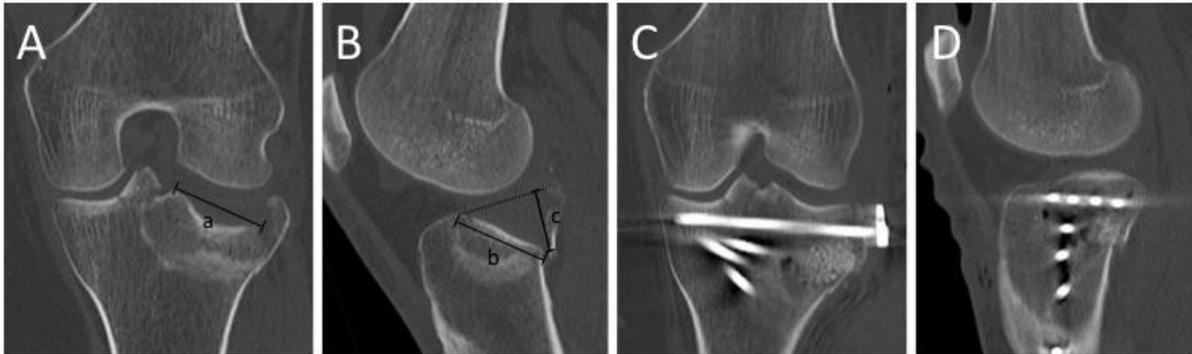


Abbildung 10: Berechnung des subkortikalen Knochendefektes [35]

Die maximale Impressionstiefe der Gelenkfläche, die eventuell erfolgte Auffüllung des subkortikalen Knochendefektes wurden neben dem Patientenalter als Variable für das best-fit matching der beiden Studiengruppen verwendet.

Ein weiteres Ziel der Studie war der klinische Follow-up der Patienten. Die Patienten wurden mindestens drei Jahre postoperativ kontaktiert und das klinische Behandlungsergebnis evaluiert. Die klinische Outcome-Evaluation umfasste den klinischen Rasmussen-Score für Tibia-Kopffrakturen und den Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index (WOMAC). Die subjektiven Kategorien der beiden Scores wurden zu einem Fragebogen zusammengefasst (siehe Anhang A).

Der klinische Rasmussen-Score fragt subjektive Beschwerden ab, wie Schmerz und Gehleistung, beinhaltet jedoch auch klinische Unterpunkte, wie die Streckung des Kniegelenks, den Bewegungsumfang des Knies, als auch die Stabilität des Kniegelenks. Insgesamt kann man bei diesen fünf Kriterien maximal 30 Punkte erreichen (siehe Abbildung 5). Dabei bedeutet je höher der Gesamtwert der erzielten Punkte, desto besser ist das klinische Ergebnis.

Der Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index (WOMAC) ist ein Fragebogen, der entwickelt wurde, um subjektive Beschwerden besser beurteilen zu können, die degenerative Erkrankungen, wie eine Coxarthrose oder eine Gonarthrose verursachen.

Der WOMAC-Score setzt sich aus mehreren Fragen zusammen, zu Schmerz und Steifheit, sowie aus Fragen, welche alltägliche Bewegungen und die Gelenkfunktion abfragen (siehe Abbildung 6). Die Subskalen zu Schmerz, Steifheit sowie zur Gelenkfunktion wurden im Rahmen dieser Studie gesondert ausgewertet. Insgesamt

kann man beim WOMAC-Score maximal 96 Punkte erreichen. Hier jedoch verhält es sich umgekehrt; je geringer die Punktzahl, desto besser ist das klinische Resultat.

## **2.2 Datenauswertung und Statistik**

Die Ergebnisse der Auswertung der postoperativen Röntgenkontrollen wurden tabellarisch in Microsoft Excel 2010 eingetragen. Ebenso wurden die Auswertungen der Fragebögen in Microsoft Excel 2010 notiert.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software SPSS in der Version 25 (IBM Corporation, 1 New Orchard Road, Armonk, New York 10504 – 1722, USA). Die Daten, welche in dieser Studie erhoben wurden, werden als Mittelwerte mit Standardabweichungen angegeben.

Der radiologische Rasmussen-Score wurde als primärer Outcome-Parameter für circa ein Jahr postoperativ festgelegt.

Als sekundäre Outcome-Parameter wurden der mediale proximale Tibiawinkel, die klinischen Rasmussen-Kriterien und der WOMAC-Score festgelegt.

Zur Bestimmung der notwendigen Stichprobengröße wurde eine Poweranalyse durchgeführt.

Es wurden für die statistische Auswertung sowohl parametrische als auch nicht parametrische Tests durchgeführt. Der Mann-Whitney-U-Test und der Student-t-Test wurden für intervall- und verhältnisskalierte Daten verwendet. Für nominale oder ordinale Daten wurde der  $\chi^2$ -Test oder der exakte Fisher-Test angewendet.

Neben der deskriptiven Statistik erfolgt der Gruppenvergleich mittels univariater Varianzanalyse (ANOVA). Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Allgemeine Daten des Patientenkollektivs

Im Studienzeitraum vom 01.01.2010 bis 31.12.2016 wurden 278 Patienten identifiziert, welche stationär mit der Diagnose einer Tibiakopffraktur in der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie am LMU Campus München-Großhadern und am LMU Campus München-Innenstadt behandelt wurden.

Gemäß den Einschlusskriterien der Studie verblieben 104 Patienten, welche eine Schatzker-II-Fraktur erlitten. Von diesen 104 Patienten waren 46 männlich und 58 weiblich. Die Altersverteilung lag zwischen 20 Jahren und 89 Jahren.

In der Studienpopulation zeigte sich ein gehäuftes Auftreten von Tibiakopffrakturen im mittleren Lebensalter zwischen 40 – 60 Jahren.

Dabei kommt es bei männlichen Patienten eher im jüngeren Alter zu dieser Verletzung, wohingegen Frauen sich eher im gehobenen Alter diese Verletzung zuziehen.

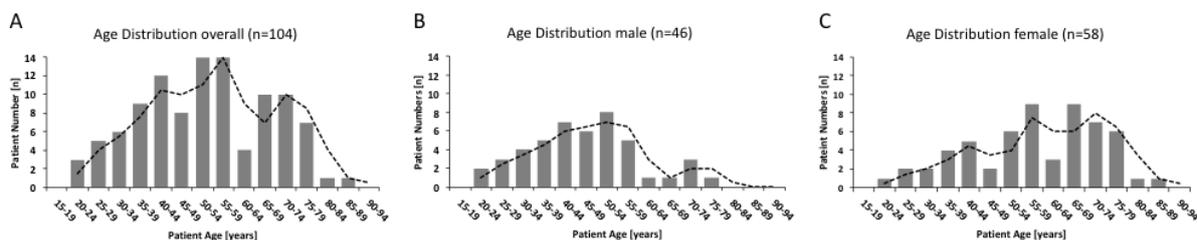


Abbildung 11: Altersverteilung aller Patienten mit einer Schatzker II-Fraktur [36]

##### 3.1.1 Zusammensetzung des Patientenkollektivs

Aus diesem Patientenkollektiv mussten 23 Patienten auf Grund von polytraumatischen Verletzungen, pathologischen oder offenen Frakturen, sowie Mehretagenverletzungen der betroffenen Extremität gemäß den Studienkriterien ausgeschlossen werden.

Weitere 22 Patienten konnten nicht in das Studienkollektiv aufgenommen werden, da eine inkomplette radiologische, postoperative Dokumentation vorlag, welches ausschließlich den primären Outcome-Parameter der radiologischen Ein-Jahres-Kontrolle betraf.

Somit konnten insgesamt 59 Patienten, gemäß den getroffenen Einschlusskriterien, in die Studie eingeschlossen werden. Diese Patienten wurden nun, je nach erfolgter Implantatversorgung in zwei Gruppen unterteilt. Darauf erfolgte eine Matched pair Analyse mittels des „Best Fit“ Modells beider Gruppen.

Die Variablen, welche die Verteilung der Patienten in die entsprechende Studiengruppe nach dem Best fit match-Algorithmus bestimmten, um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten, waren Alter des Patienten, vorliegende maximale Impressionstiefe der tibialen Gelenkfläche und die Auffüllung des subchondral gelegenen Knochendefektes.

Auf diese Weise wurden insgesamt 50 Patienten in die Studie eingeschlossen, 25 Patienten in der Gruppe der konventionellen Implantatversorgung und 25 in der Gruppe mit anatomisch vorkonturierten, winkelstabilen Plattenosteosynthesen (siehe Abbildung 7).

### **3.1.2 Demographische Daten des Patientenkollektivs**

Die beiden untersuchten Patientenstudiengruppen unterschieden sich minimal im durchschnittlichen Alter zum Operationszeitpunkt. So lag das Durchschnittsalter der konventionell versorgten Studiengruppe bei 50,1 Jahren ( $\pm 15,6$  Jahren) im Vergleich zur anatomisch vorkonturierten Gruppe mit einem Durchschnittsalter von 51,3 Jahren ( $\pm 12,7$  Jahren). Dies war statistisch nicht signifikant bei einem  $p=0,76$ .

Ebenso zeigte sich die Geschlechterverteilung beider Studiengruppen statistisch nicht signifikant bei einem  $p=0,77$ . So umfasste die mit einem konventionell versorgten Implantate-Gruppe 14 Männer und elf Frauen; die mit einer winkelstabilen versorgten Studiengruppe bestand aus 15 Männern und zwölf Frauen.

### **3.2 Frakturmorphologie der Studiengruppen**

Die im Mittel imprimierte Gelenkfläche der konventionellen Gruppe war  $4,65 \text{ cm}^2$  ( $\pm 1,7 \text{ cm}^2$ ). Bei der Gruppe mit den winkelstabilen Implantaten betrug die betroffene

Gelenkfläche  $4,58 \text{ cm}^2$  ( $\pm 1,4 \text{ cm}^2$ ). Auch die beteiligte Gelenkfläche zeigte sich als statistisch nicht signifikant mit einem  $p=0,88$ .

Die maximale Tiefe der imprimierten Gelenkfläche betrug bei der konventionellen Studiengruppe  $10,14 \text{ mm}$  ( $\pm 6,5 \text{ mm}$ ), bei der Gruppe, welche mit anatomisch vorkonturierten Implantaten versorgt wurde,  $12,5 \text{ mm}$  ( $\pm 7,4 \text{ mm}$ ). Dies entspricht einem p-Wert von  $0,23$ .

Die durchschnittliche subchondrale Defektzone in der Gruppe, die eine konventionelle operative Versorgung mittels Abstützplatte bekam, war  $32,2 \text{ mm}^3$  ( $\pm 24,3 \text{ mm}^3$ ). Bei der Studiengruppe, welche operativ mit einem winkelstabilen Implantat versorgt wurden, betrug die unterhalb des Knorpels gelegene Trümmerzone im Mittel  $40,6 \text{ mm}^3$  ( $\pm 29,0 \text{ mm}^3$ ). Auch dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem  $p=0,21$ .

Die subchondral gelegene Defektzone wurde in beiden Studiengruppen bei 13 Patienten mit einem Knochenersatzmittel (u.a. Kalziumphosphat, Beta-Tricalciumphosphat, Knochenzementaugmentation) bzw. mittels autologer Spongiosaplastik aus einem Beckenkamm gefüllt, bei zwölf Studienteilnehmern wurde darauf verzichtet. Dies entspricht einem p-Wert von  $1$ .

Im Rahmen der operativen Therapie wurde bei fünf Patienten, welche eine konventionelle Plattenosteosynthese erhielten, eine begleitende Außenmeniskusläsion mitversorgt, bei 20 Patienten war dies nicht notwendig. In der Gruppe, welche eine anatomisch vorkonturierte Platte erhielten, wurde bei vier Patienten ein Außenmeniskusschaden therapiert, bei 21 Patienten zeigte sich der Außenmeniskus intakt. Dies entspricht einem p-Wert von  $0,71$ .

Bei 16 Patienten in der konventionellen Gruppe wurde die Platte wieder entfernt, bei neun Patienten verblieb sie in situ.

Im Vergleich dazu wurden bei den winkelstabilen Implantaten insgesamt 14 Platten wieder entfernt und elf Platten wurden belassen. Dies ergibt einen p-Wert von  $0,56$ .

	<i>Conventional</i>	<i>LCP 3.5mm</i>	<i>p value</i>
Age (years)	50.1 ( $\pm$ 15.6)	51.3 ( $\pm$ 12.7)	0.76
Gender distribution (male:female)	14:11	15:10	0.77
Depressed joint area (cm <sup>2</sup> )	4.65 ( $\pm$ 1.7)	4.58 ( $\pm$ 1.4)	0.88
Max. depression depth (mm)	10.14 ( $\pm$ 6.5)	12.5 ( $\pm$ 7.4)	0.23
Void volume (mm <sup>3</sup> )	32.2 ( $\pm$ 24.3)	40.6 ( $\pm$ 29.0)	0.27
Void filling (yes:no)	13:12	13:12	1.0
Meniscus repair (yes:no)	5:20	4:21	0.71
Implant removal (yes:no)	16:9	14:11	0.56
1. X-ray (days)	2.8 ( $\pm$ 2.6)	2.1 ( $\pm$ 1.3)	0.28
2. X-ray (weeks)	6.8 ( $\pm$ 2.2)	7.7 ( $\pm$ 3.8)	0.31
3. X-ray (weeks)	62.3 ( $\pm$ 41.1)	66.1 ( $\pm$ 28.5)	0.70
Clinical follow up (years)	4.9 (1.2)	4.0 (0.9)	0.01
Clinical follow up (yes:no)	21:4	20:5	0.71

Abbildung 12: Demographische und radiologische Daten [35]

### 3.3 Radiologisches Ergebnis

Als primärer Outcome-Parameter wurde der modifizierte radiologische Rasmussen-Score (siehe Abbildung 4) bestimmt, welcher ein Jahr postoperativ anhand von Röntgenbildern in zwei Ebenen (a.p. und lateral) erhoben wurde. Dieser Score wurde mit den direkt postoperativ angefertigten Röntgenbildern und den Verlaufsbildern verglichen, welche nach sechs bis acht Wochen postoperativ angefertigt wurden.

Ebenso wurde als sekundärer Outcome-Parameter der mediale proximale Tibiawinkel anhand der angefertigten postoperativen Röntgenbilder bemessen und mit den Voraufnahmen verglichen (siehe Abbildung 8).

Im Durchschnitt wurde die erste postoperative Röntgenkontrolle der Studiengruppe, welche ein konventionelles Implantat bekommen hatte, nach 2,8 Tagen ( $\pm$ 2,6 Tage) durchgeführt. Im Vergleich dazu wurde in der Gruppe, welche ein winkelstabiles Implantat bekommen hatten, die radiologische Kontrolle nach 2,1 Tagen ( $\pm$ 1,3 Tage) gemacht. Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant bei einem p-Wert von 0,28.

Die radiologische Verlaufskontrolle nach sechs bis acht Wochen fand in der konventionellen Studiengruppe im Schnitt nach 6,8 Wochen ( $\pm 2,2$  Wochen) statt, in der Gruppe mit der anatomisch vorkonturierten operativen Versorgung wurde die Kontrolle nach 7,7 Wochen ( $\pm 3,8$  Wochen) durchgeführt. Dies entspricht einem  $p=0,31$  und ist damit statistisch nicht signifikant. In der Gruppe mit den konventionellen Implantaten waren von 25 Patienten bei 23 Patienten die zweite postoperative Röntgenkontrolle vorhanden, in der Vergleichsgruppe mit den winkelstabilen Implantaten flossen 21 von 25 Röntgenbilder ein.

Die postoperative „Ein-Jahres-Röntgenkontrolle“ wurde in der Studiengruppe mit den konventionellen Abstützplatten- bzw. Schraubenosteosynthesen nach durchschnittlich 62,3 Wochen ( $\pm 41,1$  Wochen) durchgeführt. Diese radiologische Kontrolle fand in der Gruppe mit den winkelstabilen Implantaten im Schnitt nach 66,1 Wochen ( $\pm 28,5$  Wochen) statt. Der p-Wert beträgt hierfür 0,70.

### **3.3.1 Der modifizierte radiologische Rasmussen-Score**

Der modifizierte radiologische Rasmussen-Score für die erste postoperative Röntgenkontrolle betrug im Durchschnitt bei der konventionellen Studiengruppe 9,17 Punkte ( $\pm 0,70$ ). Die Bewertung gemäß dem modifizierten radiologischen Rasmussen-Score war in dieser Studiengruppe bei 21 Patienten exzellent und bei vier Patienten gut.

Der Score für die Studiengruppe, welche ein winkelstabiles Implantat erhalten hat, war bei der ersten postoperativen Röntgen-Kontrolle 9,24 Punkte ( $\pm 0,83$ ). Der errechnete p-Wert zu diesem Score ist 0,74 und somit statistisch nicht signifikant.

Die Punkte entsprachen bei 21 Patienten einem exzellenten Ergebnis, bei vier Patienten einem guten Ergebnis, somit beträgt der p-Wert der beiden Studiengruppen für das Ergebnis 1.

Für die zweite postoperative Röntgenkontrolle betrug das durchschnittliche Resultat für den modifizierten radiologischen Rasmussen-Score in der konventionellen Gruppe 7,74 Punkte ( $\pm 1,01$ ). Im Vergleich dazu war das Ergebnis der Studiengruppe mit anatomisch vorkonturierten, winkelstabilen Platten im Schnitt 8,86 Punkte ( $\pm 0,86$ ). Dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von  $<0,001$ .

Die Ergebnis-Wertung der zweiten radiologischen Kontrolle gemäß dem modifizierten radiologischen Rasmussen-Score war in der konventionellen Gruppe bei sechs Patienten exzellent, bei 16 gut und bei einem Patienten befriedigend.

In der Gruppe mit der winkelstabilen operativen Versorgung wiesen 15 Patienten ein exzellentes Ergebnis und sieben Patienten ein gutes Resultat auf. Das war statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,02.

Bei der Ein-Jahres-Kontrolle postoperativ zeigte sich in der Gruppe mit Abstützplatten- bzw. Schraubenosteosynthese ein Mittelwert des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score von 6,32 Punkten ( $\pm 1,68$ ). Im Gegensatz dazu betrug der modifizierte radiologische Rasmussen-Score in der Gruppe mit winkelstabiler Plattenosteosynthese bei der dritten radiologischen postoperativen Kontrolle im Schnitt 8,20 Punkte ( $\pm 1,19$ ). Dieses Resultat war im Vergleich zur konventionellen Studiengruppe statistisch signifikant mit einem p-Wert von  $<0,001$ .

Die Bewertung des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score bei der Ein-Jahres-Kontrolle in der Gruppe mit der konventionellen operativen Versorgung ergab bei zwei Patienten ein exzellentes Resultat, bei elf Patienten ein gutes, bei acht Patienten ein befriedigendes und bei zwei Patienten ein schlechtes Ergebnis. Die zwei Patienten, die entsprechend den modifizierten radiologischen Kriterien nach Rasmussen im ersten postoperativen Jahr nach osteosynthetischer Versorgung einer Tibiaplateau-Fraktur vom Typ Schatzker-II eine Knie-Endoprothese benötigten, wurden als Therapieversager gewertet und bekamen den schlechtesten Score von drei Punkten zugewiesen.

In der Gruppe mit anatomisch vorkonturierten, winkelstabilen Plattenosteosynthesen zeigten in der radiologischen Einjahreskontrolle bei neun Patienten ein sehr gutes Ergebnis, bei 15 Patienten ein gutes Resultat und ein Patient mit einem befriedigenden Verlauf. Dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,001.

	<i>Conventional</i>	<i>LCP 3.5mm</i>	<i>p value</i>
<b>Modified Rasmussen Criteria for Radiological Assessment (points)</b>			
1. X-ray	9.17 ( $\pm 0.70$ )	9.24 ( $\pm 0.83$ )	0.74
excellent	21	21	
good	4	4	1.0
fair	0	0	
poor	0	0	
2. X-ray	7.74 ( $\pm 1.01$ )	8.86 ( $\pm 0.83$ )	<0.001
excellent	6	15	
good	16	7	0.02
fair	1	0	
poor	0	0	
3. X-ray	6.32 ( $\pm 1.68$ )	8.20 ( $\pm 1.19$ )	<0.001
excellent	2	9	
good	11	15	0.001
fair	8	1	
poor	4	0	
<b>Medial proximal tibia angle (MPTA (°))</b>			
1. X-ray	88.4 ( $\pm 1.65$ )	88.8 ( $\pm 1.59$ )	0.45
2. X-ray	91.2 ( $\pm 2.42$ )	89.1 ( $\pm 1.83$ )	0.003
3. X-ray	92.0 ( $\pm 3.31$ )	89.5 ( $\pm 1.65$ )	0.001
<b>Modified Rasmussen Criteria for Clinical Assessment (points)</b>			
	22.9 ( $\pm 4.2$ )	27.8 ( $\pm 2.0$ )	<0.001
excellent	3	14	
good	7	5	0.001
fair	7	1	
poor	4	0	
<b>WOMAC (points) overall</b>			
	24.3 ( $\pm 13.5$ )	16.0 ( $\pm 3.1$ )	0.04
pain	22.6 (14.9)	9.5 (5.6)	0.001
stiffness	26.8 (20.7)	7.5 (7.5)	<0.001
function	24.2 (16.6)	14.6 (7.0)	0.02

Abbildung 13: radiologischer und klinischer Outcome [35]

### 3.3.2 Der proximale mediale Tibiawinkel

Anhand der postoperativen Röntgenbilder wurde für alle Patienten der proximale mediale Tibiawinkel bemessen, um das etwaige Abkippen in eine valgische Beinachse bzw. eine Fehlstellung zu beurteilen.

In der direkten postoperativen radiologischen Kontrolle zeigte sich in der mit konventionellen Implantaten versorgten Gruppe ein Mittelwert des proximalen medialen Tibiawinkels von  $88,4^\circ (\pm 1,65^\circ)$ . In der Gruppe mit winkelstabilen Implantaten war in der ersten postoperativen Röntgenkontrolle der proximale mediale Tibiawinkel im Schnitt  $88,8^\circ (\pm 1,59^\circ)$ . Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,45.

Bei der radiologischen Verlaufskontrolle nach ca. sechs Wochen betrug der proximale mediale Tibiawinkel in der konventionellen Studiengruppe durchschnittlich  $91,2^\circ (\pm 2,42^\circ)$ . In der Gruppe mit anatomisch vorkonturierten winkelstabilen Implantaten zeigte sich der proximale mediale Tibiawinkel in der zweiten radiologischen Verlaufskontrolle mit im Mittel  $89,1^\circ (\pm 1,83^\circ)$ . Im Vergleich beider Studiengruppen ergab sich dies als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,003.

In der Patientenkohorte mit den „klassischen“ Implantaten mittels Abstützplatte bzw. Schraubenosteosynthese betrug der proximale mediale Tibiawinkel in der Jahreskontrolle durchschnittlich  $92,0^\circ (\pm 3,31^\circ)$ . Im Vergleich dazu, ergab sich im Schnitt in der dritten postoperativen radiologischen Verlaufskontrolle, der mit einer LCP (locking compression plate) versorgten Studiengruppe, ein proximaler medialer Tibiawinkel von  $89,5^\circ (\pm 1,65^\circ)$ . Dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem  $p=0,001$ .

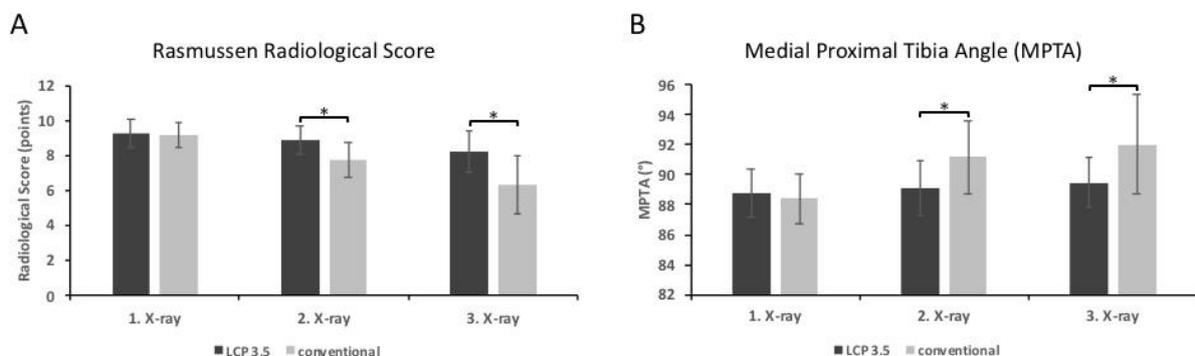


Abbildung 14: Radiologisches Ergebnis im postoperativen Verlauf mit Auswertung des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score und des medialen proximalen Tibiawinkels [35]

### **3.4 Klinisches Ergebnis**

Alle Patienten, die in die Studie eingeschlossen wurden, stimmten einer Nachuntersuchung zu.

Im Schnitt betrug der klinische Follow-up der Patienten aus der Gruppe, die mit konventionellen Implantaten versorgt wurden 4,9 Jahre ( $\pm 1,2$ ). Durchschnittlich wurden die Patienten aus der Vergleichsgruppe mit winkelstabiler osteosynthetischer Versorgung 4,0 Jahre ( $\pm 0,9$ ) nachuntersucht. Dieses klinische Follow-up erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,01 (vgl. Abbildung 12).

Über das ganze Patientenkollektiv der konventionellen Studiengruppe konnten über diesen Zeitraum 21 Patienten nachuntersucht werden. Vier Patienten gingen der Nachbeobachtung verloren. In dem Patientenkollektiv mit der winkelstabilen Versorgung konnten insgesamt 20 Patienten über die gesamte Zeitspanne nachverfolgt werden, fünf wurden als „lost to follow up“ bewertet. Dieses klinische Follow-up erwies sich in Zusammenschau als nicht statistisch signifikant mit einem  $p=0,71$ .

#### **3.4.1 Der klinische Rasmussen-Score**

In der klinischen Nachuntersuchung anhand des klinischen Rasmussen-Scores ergab sich für die mit konventionellen Implantaten versorgte Gruppe ein durchschnittlicher Wert von 22,9 Punkten ( $\pm 4,2$ ). In der Vergleichsgruppe mit anatomisch vorkonturierten Implantaten betrug der durchschnittliche Wert des klinischen Rasmussen-Scores 27,8 Punkte ( $\pm 2,0$ ). Der p-Wert dazu war statistisch signifikant mit  $p < 0,001$ .

In der Bewertung des klinischen Rasmussen-Scores erzielten in der konventionellen Studiengruppe drei Patienten ein exzellentes Ergebnis, sieben Patienten ein gutes Ergebnis, sieben Patienten ein befriedigendes Ergebnis und vier Patienten ein schlechtes Ergebnis. Von den vier Patienten mit dem klinisch schlechten Ergebnis, erhielten zwei im Verlauf des ersten postoperativen Jahres eine Knie-Endoprothese. In den Studiengruppen mit der operativen Versorgung mittels LCP (locking compression plate) wurden in der Beurteilung des klinischen Rasmussen-Score 14 Patienten mit einem exzellenten Ergebnis bewertet, fünf Patienten mit einem guten

Resultat und ein Patient mit einem befriedigenden Ergebnis. Bei keinem dieser Patienten war ein künstlicher Gelenkersatz innerhalb des ersten postoperativen Jahres nötig. Das klinische Assessment mittels des Rasmussen-Score erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,001.

### **3.4.2 Der Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index (WOMAC)**

Während des klinischen Follow-up wurden alle Patienten auch mittels des WOMAC Fragebogens nachuntersucht. Dabei zeigte sich ein durchschnittlicher Punktwert von 24,3 Punkten ( $\pm 13,5$ ) in der konventionellen Studiengruppe. Im Vergleich dazu erzielte die Gruppe mit anatomisch vorkonturierten winkelstabilen Platten im Schnitt 16,0 Punkte ( $\pm 3,1$ ). Das erwies sich als statistisch signifikant mit einem  $p=0,04$ .

Zusätzlich wurden mit Hilfe des WOMAC-Scores weitere klinische Unterpunkte (Schmerz, Steifheit und Gelenkfunktion) ausgewertet. So beklagten Patienten aus der Gruppe mit der operativen Therapie mittels Abstützplatten bzw. Schraubenosteosynthese deutlich mehr Schmerzen im klinischen Verlauf mit einem durchschnittlichen Punktescore von 22,6 ( $\pm 14,9$ ). Die Patienten der Studiengruppe mit den winkelstabilen Implantaten hingegen kamen, was die Schmerzen betraf, auf einen Punktwert im Schnitt von 9,5 Punkten ( $\pm 3,1$  Punkten). Dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,001.

Bezüglich der Bewegungseinschränkung bzw. Steifheit des Kniegelenks kamen die Patienten aus der konventionellen Studiengruppe auf einen Durchschnittspunktwert von 26,8 ( $\pm 20,7$ ). Die winkelstabile Patientengruppe dahingegen kamen auf einen Punkteschnitt von 7,5 Punkte ( $\pm 7,5$ ). Dies zeigte sich statistisch signifikant mit einem p-Wert von  $<0,001$ .

Bezüglich der Gelenkfunktion kamen die Patienten der Studiengruppe mit Abstützplattenosteosynthese oder Schraubenosteosynthese auf einen durchschnittlichen Wert von 24,2 Punkten ( $\pm 16,6$ ). Die Patienten mit anatomisch vorkonturierten, winkelstabilen Implantaten erzielten einen mittleren Punktwert von 14,6 ( $\pm 7,0$ ). Auch diese klinische Auswertung war statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,02.

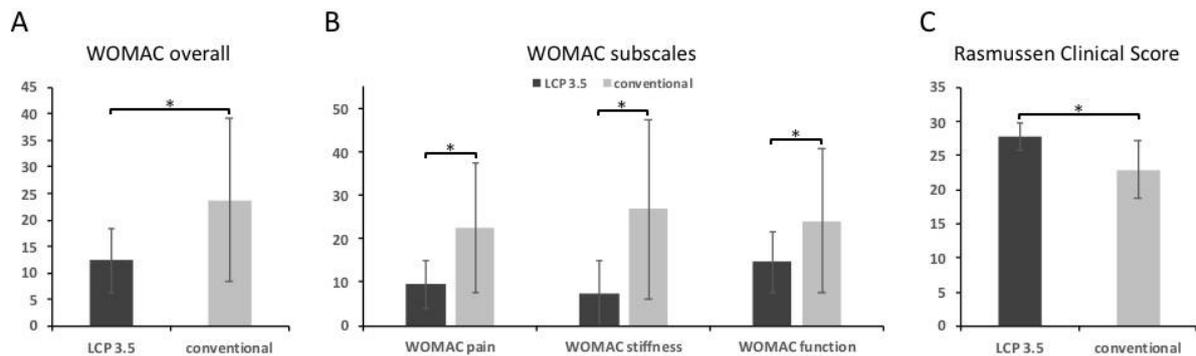


Abbildung 15: Klinisches Ergebnis im Vergleich der Studiengruppen mit WOMAC und klinischem Rasmussen-Score [35]

### 3.5 Vergleich der Studienpopulation in Jung und Alt

Zusätzlich wurde die Studienpopulation, welche mit einem Impressionsspaltbruch des Tibiakopfes operativ behandelt wurde, hinsichtlich des Patientenalters verglichen und in zwei Gruppen unterteilt - zum einen in eine Gruppe mit jüngeren Patienten, zum anderen in eine Gruppe mit älteren Patienten. Die jüngere Gruppe wurde definiert < 50 Jahren, in die andere Gruppe wurden Patienten eingeschlossen, welche über 50 Jahre alt sind. So wurden aus dem Patientenkollektiv mit insgesamt 59 Patienten (siehe Abbildung 7), 26 Patienten der jüngeren Studiengruppe und demnach 33 Patienten der älteren Gruppe zugewiesen.

Zusätzlich wurden diese beiden Altersgruppen auch im Hinblick auf die verwendeten Implantate untersucht und miteinander verglichen.

#### 3.5.1 Ergebnis der Studienpopulation Jung versus (vs.) Alt

##### Demographische Daten der Studiengruppen Jung vs. Alt

Das Durchschnittsalter in der Gruppe mit dem jüngeren Patientenkollektiv betrug 38,2 Jahre ( $\pm 7,8$  Jahre), das in der älteren Studiengruppe betrug 61,3 Jahre ( $\pm 9,4$  Jahre). Die Geschlechterverteilung in der jüngeren Gruppe ergab 18 männliche Patienten und acht weibliche Patientinnen. Die ältere Studiengruppe umfasste hingegen 15 Männer und 18 Frauen. Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem  $p=0,07$ .

## **Frakturmorphologie der Gruppen**

Die imprimierte Gelenkfläche betrug in der Gruppe der jüngeren Patienten im Durchschnitt  $4,1 \text{ cm}^2$  ( $\pm 0,8 \text{ cm}^2$ ); in der älteren Studiengruppe war die betroffene Gelenkfläche im Schnitt  $4,8 \text{ cm}^2$  ( $\pm 2,0 \text{ cm}^2$ ). Der p-Wert dazu war statistisch nicht signifikant mit 0,58.

Die maximale Impressionstiefe in der Gruppe der jüngeren Studienteilnehmer betrug durchschnittlich  $10,4 \text{ mm}$  ( $\pm 6,3 \text{ mm}$ ). In der Vergleichsgruppe mit den älteren Patienten zeigte sich die größte Impressionstiefe der Fraktur im Schnitt bei  $11,00 \text{ mm}$  ( $\pm 7 \text{ mm}$ ). Dies erwies sich ebenfalls als statistisch nicht signifikant mit einem  $p=0,92$ .

Der subchondrale Knochendefekt bei den jüngeren Patienten war durchschnittlich  $29,6 \text{ mm}^3$  groß ( $\pm 20,0 \text{ mm}^3$ ). Im Gegensatz dazu betrug der unter der Gelenkfläche liegende ossäre Defekt bei der älteren Studiengruppe im Schnitt  $36,8 \text{ mm}^3$  ( $\pm 29,4 \text{ mm}^3$ ). Bei einem p-Wert von 0,69 ist dies als statistisch nicht signifikant anzusehen.

Der subchondral gelegene Knochendefekt wurde in der Studiengruppe mit den jüngeren Patienten zehnmal mit Knochenersatzmittel befüllt. Bei den anderen 16 Patienten der Gruppe wurde kein Knochenersatzmittel implantiert. Dahingegen wurden in der Gruppe der älteren Patienten bei 24 Patienten die Defektzone aufgefüllt und nur bei neun Patienten verzichtete man auf eine Defektfüllung. Dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,02.

## **Radiologisches Follow-up**

Die erste postoperative Röntgenkontrolle in der Gruppe der jüngeren Patienten fand im Schnitt nach 2,4 Tagen ( $\pm 2,3$  Tage) statt. In der Gruppe der älteren Studienteilnehmer erfolgte die radiologische Kontrolle durchschnittlich nach 2,2 Tagen ( $\pm 1,7$  Tage). Bei einem p-Wert von 0,79 erwies sich dies als statistisch nicht signifikant.

Die zweite radiologische Kontrolle der jungen Studiengruppe wurde durchschnittlich nach 6,9 Wochen ( $\pm 2,3$  Wochen) durchgeführt, die der älteren Patienten nach 7,7

Wochen ( $\pm 4,0$  Wochen). Dies war statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,42.

Die dritte Röntgenkontrolle fand im Schnitt nach 65,4 Wochen ( $\pm 38,0$  Wochen) in der jüngeren Studiengruppe statt. In der älteren Vergleichsgruppe erfolgte die radiologische Jahreskontrolle durchschnittlich nach 66,0 Wochen ( $\pm 33,5$  Wochen). Der errechnete p-Wert dazu war 0,95 und damit statistisch nicht signifikant.

	<i>young (n=26)</i>	<i>elderly (n=33)</i>	<i>p</i>
Age (years)	38.2 ( $\pm 7.8$ )	61.3 ( $\pm 9.4$ )	n/a
Gender distribution (m : f)	18 : 8	15 : 18	0.07
Depressed joint area (cm <sup>2</sup> )	4.1 ( $\pm 0.8$ )	4.7 ( $\pm 2.0$ )	0.58
Max. depression depth (mm)	10.4 ( $\pm 6.3$ )	11.0 ( $\pm 7.0$ )	0.92
Void volume (mm <sup>3</sup> )	29.6 ( $\pm 20.0$ )	36.8 ( $\pm 29.4$ )	0.69
Void filling (yes : no)	10 : 16	24 : 9	0.02
1. X-ray (days)	2.4 ( $\pm 2.3$ )	2.2 ( $\pm 1.7$ )	0.79
2. X-ray (weeks)	6.9 ( $\pm 2.3$ )	7.7 ( $\pm 4.0$ )	0.42
3. X-ray (weeks)	65.4 ( $\pm 38.0$ )	66.0 ( $\pm 33.5$ )	0.95

Abbildung 16: Demographische Daten und radiologisches Follow-up [36]

### 3.5.2 Vergleich der Implantate innerhalb der jungen und alten Studiengruppe

Nun wurden die beiden Alters-Studiengruppen (jung vs. Alt) weiter unterteilt in jeweils zwei Subgruppen, abhängig davon, welches Implantat eingesetzt wurde. Außerdem wurden die demographischen Daten, sowie die Frakturmorphologie der Subgruppen miteinander verglichen.

#### Analyse der demographischen Daten und der Frakturmorphologie der jungen Studiengruppe in Abhängigkeit von der Implantatwahl

Von den 26 Patienten in der jungen Gruppe bekamen 13 Patienten ein konventionelles, nicht winkelstabiles Implantat, den anderen 13 Studienteilnehmern wurde ein winkelstabiles Implantat eingesetzt.

Der Altersdurchschnitt bei den Patienten, die eine Abstützplatte oder eine Schraubenosteosynthese implantiert bekamen, lag bei 37,8 Jahren ( $\pm 8,3$  Jahre). In der Gruppe mit der winkelstabilen Versorgung betrug das durchschnittliche Alter 38,7 Jahre ( $\pm 7,6$  Jahre). Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant bei einem p-Wert von 0,78.

In der jungen konventionellen Implantatgruppe waren acht Patienten männlich und fünf Patienten weiblich. Die Subgruppe der jungen Patienten mit winkelstabiler Implantatversorgung bestand aus zehn Männern und drei Frauen. Bei einem  $p = 0,67$  war dies statistisch nicht signifikant.

Die durchschnittliche imprimierte Gelenkfläche in der jungen Patientengruppe mit konventioneller Implantatversorgung betrug im Schnitt  $4,3 \text{ cm}^2$  ( $\pm 0,8 \text{ cm}^2$ ). In der jungen Vergleichsgruppe mit der winkelstabilen Versorgung zeigte sich eine durchschnittliche Impression der Gelenkfläche von  $4,0 \text{ cm}^2$  ( $\pm 0,8 \text{ cm}^2$ ). Dies resultierte in einem p-Wert von 0,39 und war somit statistisch nicht signifikant.

Die maximale Impressionstiefe der Fraktur war bei der jungen Studiengruppe mit der konventionellen operativen Versorgung mittels Abstützplatte und/oder Schraubenosteosynthese durchschnittlich  $8,7 \text{ mm}$  ( $\pm 4,3 \text{ mm}$ ) tief; bei der jungen Vergleichsgruppe mit der winkelstabilen Versorgung betrug die Impressionstiefe im Schnitt  $12,2 \text{ mm}$  ( $\pm 7,5 \text{ mm}$ ). Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,15.

Der zugezogene subchondrale Knochendefekt in der jungen Gruppe mit der konventionellen Implantatversorgung zeigte im Schnitt eine Größe von  $25,3 \text{ mm}^3$  ( $\pm 16,4 \text{ mm}^3$ ); bei den Patienten mit der winkelstabilen Plattenversorgung war der Defekt durchschnittlich  $33,9 \text{ mm}^3$  ( $\pm 22,3 \text{ mm}^3$ ). Auch dies war statistisch nicht signifikant mit einem  $p=0,28$ .

Auch eine Füllung des subchondral gelegenen Knochendefektes erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,42. In der Gruppe mit der konventionellen Versorgung wurden vier Substanzdefekte aufgefüllt, neun nicht. In der jungen Gruppe mit der winkelstabilen Versorgung wurde die subchondral gelegene Trümmerzone bei sechs Patienten aufgefüllt; bei sieben Patienten wurde dies nicht durchgeführt.

### **Analyse der demographischen Daten und der Frakturmorphologie der alten Studiengruppe in Abhängigkeit von der Implantatwahl**

Von den 33 Patienten, welche der älteren Studiengruppe zugeteilt wurden, bekamen 13 Patienten ein konventionelles Implantat eingesetzt und 20 Patienten eine winkelstabile operative Versorgung.

Das durchschnittliche Alter in der älteren Studiengruppe mit den Patienten, welche ein konventionelles Implantat bekamen, betrug 62,9 Jahre ( $\pm 8,7$  Jahre). Der Altersschnitt in der Gruppe der älteren Patienten, welche eine winkelstabile Plattenosteosynthese erhielten, war 60,2 Jahre ( $\pm 9,8$  Jahre). Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,42.

Die Geschlechtsverteilung in der älteren Studiengruppe mit der operativen Versorgung mittels Abstützplatte bzw. Schraubenosteosynthese umfasste sechs Männer und sieben Frauen. Im Vergleich dazu waren in der älteren Studiengruppe mit der winkelstabilen Versorgung neun Männer und elf Frauen. Dies zeigte sich statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,77.

Die durchschnittliche imprimierte Gelenkfläche in der älteren Studiengruppe mit der konventionellen Implantatversorgung betrug  $4,9 \text{ cm}^2$  ( $\pm 2,2 \text{ cm}^2$ ). In der älteren Vergleichsgruppe mit den anatomisch vorkonturierten Plattenosteosynthesen war die durchschnittlich betroffene Gelenkfläche  $4,6 \text{ cm}^2$  ( $\pm 1,8 \text{ cm}^2$ ). Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem  $p=0,68$ .

Die maximale Impressionstiefe in der älteren Studiengruppe mit Abstützplatten- bzw. Schraubenosteosynthese betrug durchschnittlich 11,6 mm ( $\pm 7,8$  mm). In der Vergleichsgruppe mit den winkelstabilen Implantaten zeigte sich die durchschnittliche Impressionstiefe bei 10,6 mm ( $\pm 6,7$  mm). Mit einem p-Wert von 0,7 war dies statistisch nicht signifikant.

Der durchschnittliche subchondral gelegene Knochendefekt in der älteren Gruppe mit der konventionellen Implantatversorgung betrug  $38,2 \text{ mm}^3$  ( $\pm 28,8 \text{ mm}^3$ ). In der Gruppe mit der winkelstabilen Implantatversorgung zeigte sich dieser Defekt im Schnitt  $35,9 \text{ mm}^3$  ( $\pm 30,5 \text{ mm}^3$ ). Bei einem p-Wert von 0,83 erwies sich dies als statistisch nicht signifikant.

In dem älteren Patientenkollektiv mit der operativen Versorgung mittels Abstützplatte bzw. Schraubenosteosynthese wurde der subchondral gelegene Knochendefekt bei neun Patienten mit Knochenersatzmittel aufgefüllt, bei vier Patienten verzichtete man auf eine Auffüllung. In der älteren Vergleichsgruppe mit den winkelstabilen Plattenosteosynthesen wurde bei 15 Patienten der subchondrale Substanzdefekt aufgefüllt, bei fünf Patienten wurde dies nicht durchgeführt. Dies war mit einem p-Wert von 0,72 statistisch nicht signifikant.

	<i>young</i>			<i>elderly</i>		
	<i>precont. LCP</i> (n=13)	<i>conventional</i> (n=13)	<i>p</i>	<i>precont. LCP</i> (n=20)	<i>conventional</i> (n=13)	<i>p</i>
Age (years)	38.7 ( $\pm 7.6$ )	37.8 ( $\pm 8.3$ )	0.78	60.2 ( $\pm 9.8$ )	62.9 ( $\pm 8.7$ )	0.42
Gender distribution (m : f)	10 : 3	8 : 5	0.67	9 : 11	6 : 7	0.77
Depressed joint area (cm <sup>2</sup> )	4.0 ( $\pm 0.8$ )	4.3 ( $\pm 0.8$ )	0.39	4.6 ( $\pm 1.8$ )	4.9 ( $\pm 2.2$ )	0.68
Max. depression depth (mm)	12.2 ( $\pm 7.5$ )	8.7 ( $\pm 4.3$ )	0.15	10.6 ( $\pm 6.7$ )	11.6 ( $\pm 7.8$ )	0.7
Void volume (mm <sup>3</sup> )	33.9 ( $\pm 22.3$ )	25.3 ( $\pm 16.4$ )	0.28	35.9 ( $\pm 30.5$ )	38.2 ( $\pm 28.8$ )	0.83
Void filing (yes : no)	6 : 7	4 : 9	0.42	15 : 5	9 : 4	0.72

Abbildung 17: Demographische Daten und Frakturmorphologie der Studiengruppen in Abhängigkeit von Alter und Implantatwahl [36]

### 3.5.3 Radiologisches Ergebnis der Studiengruppen jung vs. alt

#### Modifizierter radiologischer Rasmussen-Score

Als primärer Outcome-Parameter wurde der modifizierte radiologische Rasmussen-Score festgelegt (vgl. Abbildung 4), welcher mit den postoperativ angefertigten Röntgen-Kontrolle direkt postoperativ, nach ca. sechs Wochen und nach ca. einem Jahr postoperativ bestimmt wurde. Dieser Parameter wurde nun im Vergleich junge Studiengruppe zur älteren Vergleichsgruppe angewendet.

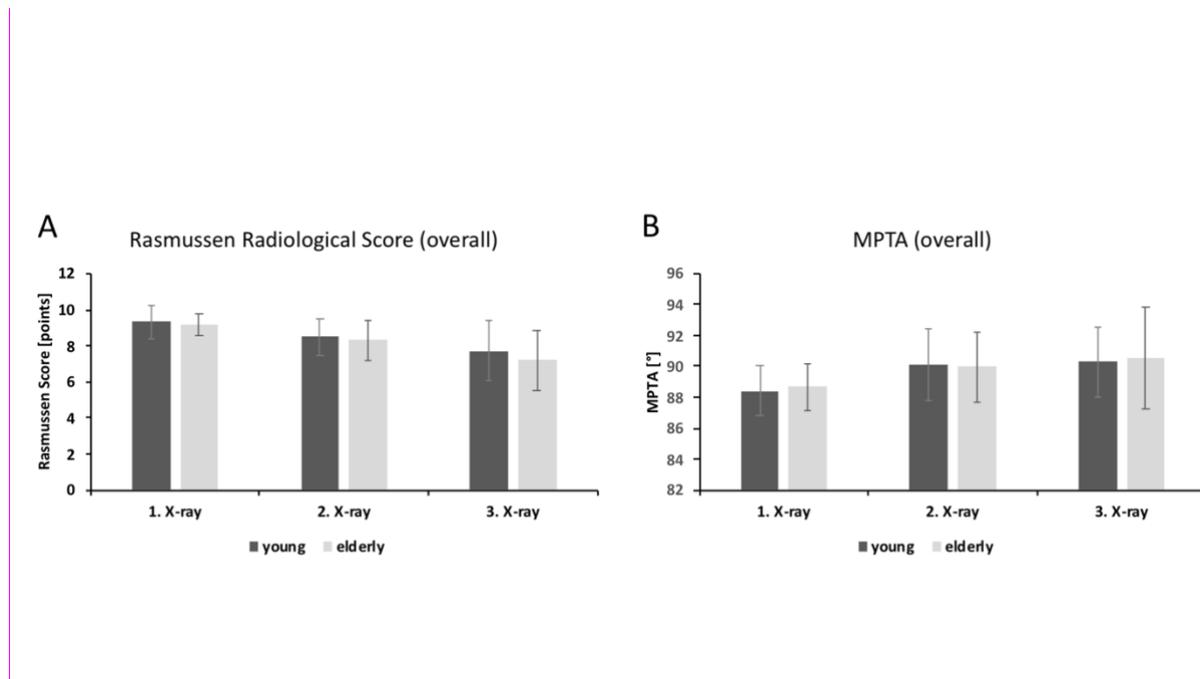


Abbildung 18: Modifizierter radiologischer Rasmussen-Score im Vergleich junges vs. älteres Patientenkollektiv, sowie medialer proximaler Tibiawinkel [36]

#### Radiologisches Ergebnis der jungen Studiengruppe in Abhängigkeit von der Implantatwahl – modifizierter radiologischer Rasmussen-Score

Auf den erfolgten Vergleich der festgelegten jungen vs. alten Studiengruppe wurde nun sowohl die junge Patientenkohorte als auch die ältere Vergleichsgruppe, in Abhängigkeit von der erhaltenen Implantatwahl, subgruppiert und miteinander verglichen. Dieser Vergleich erfolgte radiologisch anhand des erhobenen modifizierten radiologischen Rasmussen-Score, sowie des medialen proximalen Tibiawinkels, die

anhand der vorliegenden radiologischen postoperativen Röntgenkontrollen bestimmt wurden.

Der durchschnittliche Rasmussen-Score in der jungen Studiengruppe, welche mit den konventionellen Implantaten versorgt wurden, betrug bei der ersten postoperativen radiologischen Kontrolle 9,3 Punkte ( $\pm 0,8$  Punkte). In der jungen Vergleichsgruppe mit der winkelstabilen Versorgung lag der erhobene Rasmussen-Score bei der ersten postoperativen Röntgenkontrolle im Schnitt bei 9,3 Punkten ( $\pm 1,0$  Punkt). Mit einem errechneten p-Wert von 1 erwies sich dies als statistisch nicht signifikant.

Bei der zweiten postoperativen Röntgenkontrolle zeigte sich ein durchschnittlicher Punktwert des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score in der jungen Patientengruppe mit den konventionellen Implantaten von 8,0 Punkten ( $\pm 0,8$  Punkte). Der durchschnittlich erhobene Wert des modifizierten radiologischen Rasmussen-Scores in der jungen Vergleichsgruppe, welche mit den anatomisch vorkonturieren winkelstabilen Plattenosteosynthese versorgt wurden, betrug bei der zweiten Röntgenkontrolle postoperativ 9,0 Punkte ( $\pm 1,0$  Punkt). Dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,016.

Der durchschnittliche Wert des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score lag in der jungen Gruppe, bei der letzten Röntgenkontrolle nach circa einem Jahr, welche mit einer Abstützplatte bzw. eine Schraubenosteosynthese versorgt wurden, bei 6,9 Punkten ( $\pm 1,6$  Punkte). Im Vergleich dazu war der Mittelwert des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score in der jungen Studiengruppe mit den winkelstabilen Implantaten in der letzten radiologischen Kontrolle nach ca. einem Jahr bei 8,5 Punkten ( $\pm 1,5$  Punkte). Dies zeigte sich statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,015.

In der nominalen Bewertung der erhobenen Punkte des modifizierten radiologischen Rasmussen-Scores (vgl. Abbildung 4) bei der letzten radiologischen Verlaufskontrolle erbrachte dies in der jungen Gruppe der Patienten, welche mit einem konventionellen Implantat versorgt wurden, bei zwei Patienten ein exzellentes Ergebnis, bei sieben Patienten ein gutes Ergebnis, bei drei Patienten ein befriedigendes Resultat und bei einem Patienten ein schlechtes Outcome.

In der Vergleichsgruppe der jungen Patienten mit der winkelstabilen Osteosynthese zeigte sich in der nominalen Bewertung des modifizierten Rasmussen-Scores, in der dritten postoperativen Röntgenkontrolle nach circa einem Jahr, bei acht Patienten ein exzellentes Ergebnis, bei vier Patienten ein gutes Resultat, bei einem Patienten ein befriedigendes Ergebnis und bei keinem Patienten ein schlechtes. Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,09.

### **Radiologisches Ergebnis der jungen Studiengruppe in Abhängigkeit von der Implantatwahl – medialer proximaler Tibiawinkel**

Zusätzlich wurde als sekundärer radiologischer Outcome-Parameter der mediale proximale Tibiawinkel anhand der postoperativ angefertigten Röntgenkontrollen ausgemessen (vgl. Abbildung 8).

In der ersten postoperativen Röntgenkontrolle der jungen Studiengruppen mit den konventionellen Implantaten betrug der mittlere proximale Tibiawinkel 88,2 Grad ( $\pm 0,8$  Grad). In der jungen Vergleichsgruppe mit den winkelstabilen Implantaten betrug in der ersten postoperativen radiologischen Kontrolle 88,6 Grad ( $\pm 2,2$  Grad). Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,60.

In der Gruppe der jungen Patienten, welche mit einer Abstützplatte bzw. einer Schraubenosteosynthese versorgt wurden, zeigte sich bei der zweiten postoperativen Röntgenkontrolle ein mittlerer medialer proximaler Tibiawinkel von 91,1 Grad ( $\pm 2,0$  Grad). In der Studiengruppe mit den winkelstabilen Implantaten betrug der mittlere mediale proximale Tibiawinkel in der zweiten radiologischen Kontrolle 89,1 Grad ( $\pm 2,2$  Grad). Dies war statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,04.

Bei der dritten postoperativen Röntgenkontrolle des jungen Patientenkollektivs, welches mit den konventionellen Implantaten versorgt wurde, betrug der durchschnittliche mediale proximale Tibiawinkel 91,5 Grad ( $\pm 1,9$  Grad). Im Vergleich dazu war der mittlere proximale Tibiawinkel in der Gruppe mit den jungen Patienten, welche mit einem winkelstabilen Implantat versorgt wurden, bei der letzten radiologischen Verlaufskontrolle 89,1 Grad ( $\pm 2,1$  Grad). Auch dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,01.

## **Radiologisches Ergebnis der alten Studiengruppe in Abhängigkeit von der Implantatwahl – modifizierter radiologischer Rasmussen-Score**

In der Gruppe der alten Patienten, die mit einer Abstützplatten- bzw. Schraubenosteosynthese versorgt wurden, betrug der durchschnittliche modifizierte Rasmussen-Score in der ersten postoperativen Röntgenkontrolle 9,0 Punkte ( $\pm 0,6$  Punkte). In der Vergleichsgruppe der alten Patienten, welche ein winkelstabiles Implantat bekommen hatte, zeigte sich in der ersten postoperativen radiologischen Kontrolle ein mittlerer Wert des modifizierten Rasmussen-Scores von 9,3 Punkten ( $\pm 0,6$  Punkten). Dies erwies sich als statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,28.

Bei der zweiten postoperativen Röntgenkontrolle betrug der durchschnittliche modifizierte Rasmussen-Score in der alten Patientengruppe mit den konventionellen Implantaten 7,5 Punkte ( $\pm 1,1$  Punkte). In der Gruppe der alten Patienten mit den anatomisch vorkonturierten, winkelstabilen Plattenosteosynthesen war der durchschnittliche modifizierte Rasmussen-Score bei der zweiten radiologischen Verlaufskontrolle 8,9 Punkte ( $\pm 0,7$  Punkte). Dies war statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,0003.

Der mittlere modifizierte Rasmussen-Score der alten Patientengruppe mit den Abstützplatten bzw. Schraubenosteosynthesen betrug bei der letzten postoperativen Röntgenkontrolle nach circa einem Jahr 5,7 Punkte ( $\pm 1,6$  Punkte). In der Vergleichsgruppe der älteren Patienten mit der winkelstabilen Versorgung lag der durchschnittliche modifizierte Rasmussen-Score in der dritten postoperativen radiologischen Verlaufskontrolle bei 8,2 Punkten ( $\pm 0,8$  Punkte). Auch dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,0000009.

Bei der nominalen Bewertung des modifizierten radiologischen Rasmussen-Score der letzten postoperativen Röntgenkontrolle zeigte sich in der Gruppe der älteren Patienten mit der konventionellen operativen Versorgung mittels Abstützplatte bzw. Schraubenosteosynthese bei keinem Patienten ein exzellentes Ergebnis. Bei vier

Patienten ergab es ein gutes Resultat, bei sechs Teilnehmern ein befriedigendes und bei drei Patienten ein schlechtes Ergebnis. Im Vergleich dazu war die Einordnung der Patienten der älteren Vergleichsgruppe mit den winkelstabilen Implantaten anhand des erhobenen radiologischen Rasmussen-Scores bei fünf Patienten exzellent, bei 15 Patienten gut, bei keinem der Studienteilnehmer befriedigend oder schlecht. Auch dies war statistisch signifikant mit einem p-Wert  $<0,01$ .

### **Radiologisches Ergebnis der alten Studiengruppe in Abhängigkeit von der Implantatwahl – medialer proximaler Tibiawinkel**

Der mediale proximale Tibiawinkel in der alten Patientengruppe, welcher eine Abstützplatte bzw. eine Schraubenosteosynthese implantiert wurde, war im Durchschnitt bei der ersten postoperativen Röntgenkontrolle  $88,6^\circ (\pm 0,8^\circ)$ . In der Vergleichsgruppe der alten Patienten mit den winkelstabilen Implantaten betrug der durchschnittliche mediale proximale Tibiawinkel in der ersten postoperativen radiologischen Kontrolle  $88,7^\circ (\pm 0,9^\circ)$ . Dies zeigte sich statistisch nicht signifikant mit einem p-Wert von 0,76.

In der zweiten postoperativen Röntgenkontrolle der alten Studiengruppe mit den konventionellen Implantaten betrug der mittlere mediale proximale Tibiawinkel  $91,2^\circ (\pm 2,7^\circ)$ . In der Vergleichsgruppe mit den anatomisch vorkonturierten winkelstabilen Plattenosteosynthesen zeigte sich der durchschnittliche mediale proximale Tibiawinkel in der zweiten radiologischen Verlaufskontrolle mit  $89,1^\circ (\pm 1,4^\circ)$ . Dies erwies sich als statistisch signifikant mit einem p-Wert von 0,007.

In der Studiengruppe der alten Patienten mit operativer Versorgung mittels Abstützplatte bzw. Schraubenosteosynthese war der durchschnittliche mediale proximale Tibiawinkel in der dritten postoperativen Röntgenkontrolle  $92,6^\circ (\pm 4,2^\circ)$ . In der Vergleichsgruppe mit den winkelstabilen Implantaten betrug der mediale proximale Tibiawinkel in der letzten radiologischen Verlaufskontrolle im Schnitt  $89,2^\circ (\pm 1,4^\circ)$ . Der p-Wert betrug 0,0017 und war somit statistisch signifikant.

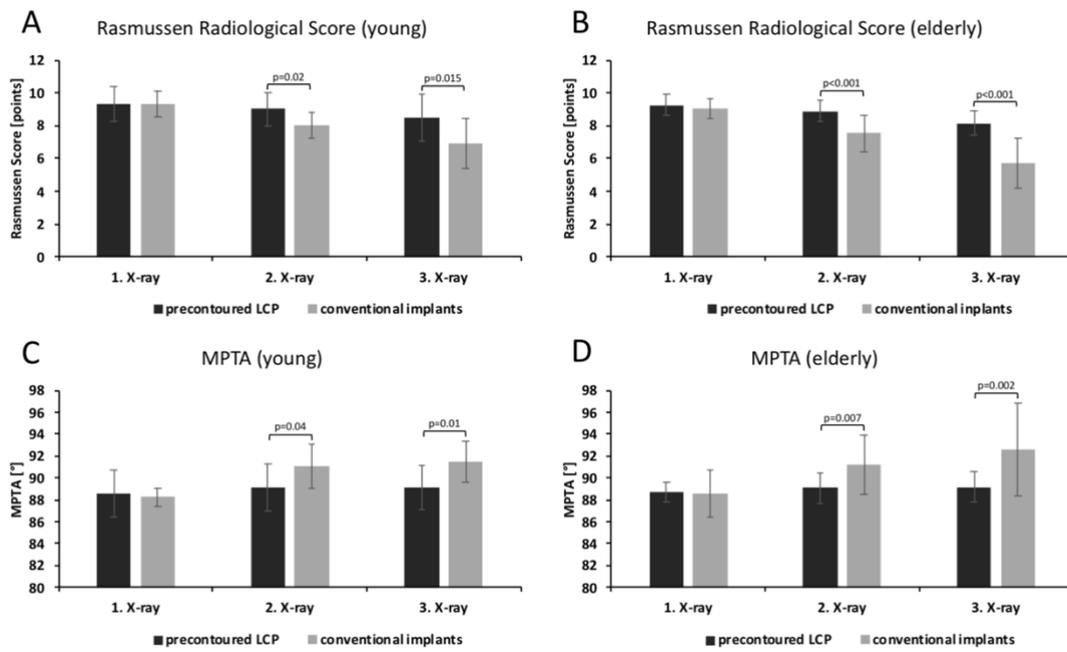


Abbildung 19: Radiologisches Ergebnis der jungen und alten Studiengruppe in Abhängigkeit der Implantatwahl – modifizierter radiologischer Rasmussen-Score und medialer proximaler Tibiawinkel [36]

## **4. Diskussion**

Die Therapie von Tibiakopffrakturen vom Typ Schatzker II bzw. AO 41 B3 erfordert häufig eine Plattenosteosynthese. Im Zuge der operativen Versorgung wird die eingedrückte Gelenklinie angehoben, ein möglicherweise vorliegender subchondraler Defekt mit Knochen oder Knochenersatzmittel gefüllt und mittels einer Platten- oder Schraubenosteosynthese fixiert. Die bis heute geltenden Therapieempfehlungen z.B. der Arbeitsgruppe Osteosynthese (AO) sehen eine operative Versorgung mittels konventioneller Osteosynthese mit einer Abstützplatte und/oder Zugschrauben als ausreichend an. Die Studien von Rademakers et al und Honkonen et al [9, 10] verdeutlichen jedoch das postoperative Risiko, eine posttraumatische Gonarthrose zu entwickeln. Diese wird oft durch einen Repositionsverlust und ein Abkippen des Tibiaplateaus hervorgerufen. Dies führt zu einem Valgus-Malalignment, welches wiederum eine Gonarthrose fördert.

Dieses bestehende Risiko kann aber durch die Verwendung von anatomisch vorkonturierten winkelstabilen Plattensystemen reduziert werden. Diese winkelstabilen Implantate sollen dem Korrekturverlust entgegenwirken und somit zu einem besseren postoperativen Ergebnis führen. Jedoch fehlen dazu bisher Studien, die einen Vorteil bei der Verwendung von winkelstabilen Implantaten bei Tibiplateaufrakturen zeigen. Das Ziel dieser Arbeit und der daraus entstandenen Publikationen war daher, retrospektiv die radiologischen und klinischen Behandlungsergebnisse von operativ versorgten Tibiakopffrakturen vom Typ Schatzker II bzw. AO 43 B3 im Hinblick auf die verwendeten Implantate zu untersuchen.

### **4.1 Studienkollektiv**

Die Zusammensetzung des Studienkollektivs erwies sich mittels der Suche über den ICD-Code für Tibiakopffrakturen S82.1 als relativ einfach. Auch die weitere Klassifizierung der vorliegenden Frakturen mittels der Schatzker-Klassifikation erfolgte problemlos, ebenso wie die Aufteilung der Gruppen je nach Implantatwahl unter Berücksichtigung der vorgegebenen Einschlusskriterien.

Problematischer war dann die endgültige Bildung der beiden Studienkollektive hinsichtlich des klinischen Follow-up. Die Patienten, welche ein subjektiv schlechteres

OP-Ergebnis hatten, hatten ein höheres Interesse an der Teilnahme des klinischen Follow-up, um eventuell eine mögliche Verbesserung ihrer derzeitigen Situation zu bewirken. Wohingegen die Patienten, die mit dem OP-Ergebnis zufrieden waren, vermutlich keinen größeren Nutzen an einer weiteren Nachuntersuchung sahen. Dies könnte zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben.

Die Literatur beschreibt diesen Effekt des „lost to follow up“ in vielen Studien ähnlich. So sei zum Beispiel die Publikation von Parkkinen et al. genannt, welche aus initial 389 Patienten „nur“ 73 Patienten in das Studienkollektiv einschloss [13].

### **Alters- und Geschlechterverteilung**

Das durchschnittliche Alter der untersuchten Patienten im Patientenkollektiv betrug 50,7 Jahre. Damit deckt sich das Durchschnittsalter mit vielen Studien (Honkonen et al., Elsoe et al., Court-Brown et al., Rozell et al.), welche das gehäufte Auftreten von Tibiaplateaufrakturen zwischen dem 40. bis 60. Lebensjahr angeben [1, 2, 33, 37-39]. Laut den meisten Studien sind von einer Tibiakopffraktur mehr Frauen als Männer betroffen (Honkonen et al., Elsoe et al., Schatzker et al.). Wobei sich Männer diese Art von Verletzung eher im jüngeren Alter zuziehen - dies meist im Rahmen von Hochrasanztraumata- und Frauen dahingegen sich eher im gehobeneren Alter über 60 Jahre verletzen (Wang et al., Honkonen et al., Elsoe et al.) [2-4, 33, 38]. Der Verletzungsmechanismus bei Frauen ist ein niedrigenergetisches Trauma, wie z.B. der Sturz aus dem Stehen [40-42]. Bei den älteren Frauen ist sicherlich eine Osteoporose mitverantwortlich für das Auftreten dieser Frakturen [43, 44].

Kösters et al. konnten auch einen Zusammenhang für die Stürze im höheren Alter sehen. Risikofaktoren waren unter anderem ein herabgesetztes Sehvermögen, verminderte Muskelkraft, sowie eingeschränkte Koordinationsfähigkeit und verlangsamte Reflexe [45].

Sowohl die Geschlechterverteilung (männlich 46 vs. weiblich 58), als auch die Altersverteilung der Patienten aus dem Studienkollektiv (vgl. Abbildung 11) unterstreichen diese Untersuchungen.

Die Patienten, welche abschließend in das Vergleichskollektiv der beiden Studiengruppen miteingeschlossen wurden, zeigen aber ein Überwiegen von männlichen Patienten, was gegebenenfalls zu einer Verzerrung des Ergebnisses

geführt haben kann. Der Umstand dieser besonderen Geschlechterverteilung im Rahmen der eingeschlossenen Patienten ist im „best pair match fit“- Algorithmus zu sehen.

## 4.2 Frakturmorphologie

Von den 278 identifizierten Patienten, welche im Studienzeitraum vom 01.01.2010 bis 31.12.2016 in der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie am Campus München Großhadern und am Campus München Innenstadt mit einer Tibiakopffraktur behandelt wurden, hatten 104 Patienten einen Impressionsspaltbruch Typ Schatzker II bzw. nach AO-Klassifikation AO 41 B3. Dies entspricht einem Anteil von 37,4 % und ist somit die häufigste vorkommende Form einer Tibiaplateaufraktur. Diese prozentuale Verteilung der Tibiakopffrakturen konnte auch in mehreren Studien, wie z.B. von Honkonen et al., von Elsoe et al., sowie von Chen et al. gezeigt werden [2, 9, 33, 46].

Aus diesen 104 Patienten wurden nun nach Anwendung der Einschlusskriterien Studienkollektive nach dem Best-Fit Modell gebildet, weil dies eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei gleicher Frakturklassifikation und eine validere Aussage ermöglichen soll.

Diese Patientenkollektive unterschieden sich in der Frakturmorphologie, weder in der Größe der imprimierten Gelenkfläche, noch in der maximalen Impressionstiefe. Ebenso zeigte sich der subchondral gelegene Knochendefekt gleich. Diese Übereinstimmung der verschiedenen Kriterien ist aber bei gleicher Frakturklassifikation zu erwarten.

Bei der Größe der imprimierten Gelenkfläche gibt es aktuell wenige Arbeiten, die diese bemessen haben oder für die weitere Therapieplanung berücksichtigt haben.

Die neueste Studie von Rosteijs et al. kam zu einem vergleichbaren Ergebnis. Es ist jedoch zu beachten, dass dieses Paper sowohl Schatzker II- und III-Frakturen berücksichtigte und die eingedrückte Gelenkfläche in  $\text{mm}^2$  angegeben wurde [47].

Ebenso zeigte die Arbeit von Sohn et al. eine ähnlich große betroffene tibiale Gelenkfläche ( $522,18 \text{ mm}^2$ ). Dabei wurde aber vor allem das Hauptaugenmerk auf das

Auftreten eines posterolateralen Fragments im Rahmen einer Tibiakopffraktur Typ AO B oder C gelegt und eben jenes Fragment mittels CT ausgemessen und in mm<sup>2</sup> angegeben [48].

Eine zumindest vergleichbare Impressionstiefe bei Schatzker II-Frakturen konnte die Studie von Chen et al. zeigen [46].

Ebenso konnte Zhai et al. und Pu et al. in ihren Arbeiten eine ähnliche durchschnittliche maximale Impression der tibialen Gelenkfläche bei Schatzker II-Tibiakopffrakturen nachweisen [49, 50].

Eine ähnliche Absenkung der Gelenklinie wird in der Arbeit von Deng et al. [51] beschrieben; bei dieser Veröffentlichung ist aber zu beachten, dass diese Tibiaplateaufrakturen berücksichtigte, welche Frakturen der Schatzker-Klassifikation I-III miteinschloss.

Darüber hinaus gibt es mehrere Publikationen, welche eine ähnliche Impression der tibialen Gelenkfläche bei Schienbeinkopfrüchen nachweisen konnten, aber unterschiedliche Frakturklassifikationen der Tibiakopffraktur berücksichtigten [52, 53].

Bezüglich des Volumens des subchondralen Knochendefektes gibt es aktuell nur eine Studie, die die Größe des unterhalb der Gelenklinie liegenden Knochens bemessen hat. Die Arbeit von Gebel et al. konnte eine durchschnittliche Defektgröße von 3,25 cm<sup>3</sup> bei Tibiakopffrakturen nachweisen. Dabei ist zu beachten, dass diese Studie alle Frakturklassifikationen nach Schatzker berücksichtigte.

Dieses Volumen würde sich mit dem berechneten Defekt von 32,2 mm<sup>3</sup> ( $\pm 24,3$ ) bzw. 40,6 mm<sup>3</sup> ( $\pm 29,0$ ) decken.

Inwieweit diese Ergebnisse auf alle Tibiakopffrakturen unterschiedlicher Klassifikation zu übertragen sind, müssen weitere Studien zeigen.

Dies wäre für eine gezieltere Therapieplanung, gerade im Hinblick auf die Füllung des Defektes mittels autologen/allogenen Knochen und/oder Knochenersatzmaterial hilfreich.

In der vorliegenden Arbeit wurde bei 52 % aller Patienten eine Defektauffüllung vorgenommen. Auch das verwendete Füllmaterial ist vielseitig und reicht von autologem Knochen bis zu unterschiedlichen Knochenersatzmaterial wie z.B. Hydroxylapatit oder  $\beta$ -Trikalziumphosphat.

Auffällig in dieser Studie ist, dass der subchondrale Knochendefekt signifikant häufiger im älteren Studienkollektiv (>50 Jahre) aufgefüllt wurde.

Bei der Auffüllung des subchondral gelegenen Knochendefektes ist die aktuelle Studienlage heterogen. Die Studie von Abghari et al. beschreibt eine Quote der Defektauffüllung der Studienkollektive von 80,9 % bzw. 77,1 %. Das dabei verwendete Füllmaterial war Calciumphosphat-Knochenzement [54].

Im Gegensatz dazu zeigte das Review von Chen et al. bei arthroskopisch assistierter operativer Versorgung von Tibiakopffrakturen eine Defektauffüllung bei durchschnittlich 40 % der Patienten. Das in den eingeschlossenen Studien verwendete Auffüllungsmaterial reichte von autologen Knochenersatz und allogenen Knochenersatz bis hin zu verschiedenen Knochenersatzmaterialien [55].

In einem Review von Goff et al. aus dem Jahr 2013 wird abschließend die vorsichtige Empfehlung gegeben, dass ein Vorteil in der Nutzung von Knochenersatzmaterialien bei Tibiakopfimppressionsfrakturen bestehe [56].

Wie kontrovers das Thema knöcherner Defektauffüllung in der Literatur diskutiert wird, zeigt das systematische Review von McNamara et al. [15] von 2015, das zu der Einschätzung kommt, dass es schwierig zu beurteilen ist, welche Methode der Defektauffüllung die besten Ergebnisse liefert.

Eine typische Begleitverletzung von Tibiakopffrakturen ist eine Außenmeniskusläsion. In der vorliegenden Arbeit wurden bei insgesamt 18 % der Patienten eine solche Verletzung operativ mitversorgt. In der Literatur zeigt sich diesbezüglich wieder ein sehr gemischtes Bild. Stahl et al. berichten in ihrer Arbeit von begleitenden Außenmeniskusverletzungen bei Schienbeinkopffrakturen Typ Schatzker II bei 45 % der Patienten [57]. Dahingegen zeigt die Studie von Parkkinen et al. ein Auftreten einer Außenmeniskusläsion bei 16 % der Patienten mit einer Schatzker II-Fraktur [58].

In der Arbeit von Salari et al. wird eine Meniskusverletzung bei 22 von 70 (31,4 %) Patienten beschrieben, welche eine Schatzker I oder II-Fraktur erlitten. Als Risikofaktor für eine begleitende Meniskusverletzung wird dort die Zunahme der tibialen Impressionstiefe genannt [53]. Dieses erhöhte Risiko einer Außenmeniskusläsion mit einer zunehmenden Impressionstiefe konnten auch die Studien von Pu et al. und Ringus et al. zeigen [50, 59].

Inwieweit es sinnvoll ist, in der präoperativen Routine von Tibiakopffrakturen eine MRT-Diagnostik durchzuführen, um etwaige Begleitverletzungen zu detektieren, muss

man kritisch hinterfragen, vor allem in Bezug auf Informationszugewinn für die weitere Therapie, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Anhand der aktuellen Datenlage zeigt sich, dass die standardmäßige Diagnostik mittels Röntgen und CT genügend Hinweise bietet, die auf eine mögliche Begleitverletzung hindeuten können.

### **4.3 Radiologisches Outcome**

In den untersuchten Studienkollektiven zeigten sich in der ersten radiologischen Kontrolle direkt postoperativ vergleichbare Werte, sowohl was den radiologischen Rasmussen-Score betraf, als auch bei der Bemessung des medialen proximalen Tibiawinkels. Dies ist sicherlich auch darin begründet, dass die erste Röntgenkontrolle für alle in die Studie eingeschlossenen Patienten auch am bzw. um den zweiten postoperativen Tag stattfand.

Im weiteren Verlauf entwickelte sich aber über alle Studiengruppen hinweg eine eindeutige Tendenz bei den radiologischen Verlaufskontrollen. Alle Patienten, die mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese versorgt wurden, zeigten einen statistisch signifikanten höheren radiologischen Rasmussen-Score, als die Patienten, welche mit einer Abstützplatte bzw. mit einer Schraubenosteosynthese versorgt wurden. Diese Entwicklung war auch am medialen proximalen Tibiawinkel zu sehen, der sich bei den Patienten mit einer „konventionellen“ Osteosynthese deutlich vergrößerte und somit eine valgische Abkipfung der anatomischen Beinachse bedeutet. Dies deutet alles darauf hin, dass eine winkelstabile Plattenosteosynthese eine bessere Stabilität bei dem Erhalt der Reposition bietet und eine Absinterung der Fraktur im weiteren Verlauf verhindert bzw. verlangsamt.

Dieser Trend verstärkte sich noch bei der Jahreskontrolle und letzten radiologischen Bildgebung im Rahmen dieser Studie. Der radiologische Rasmussen-Score war in der Gruppe, welche mit vorkonturierten anatomischen winkelstabilen Implantaten versorgt wurde, signifikant höher im Vergleich zur Gruppe mit den Abstützplatten bzw. Schraubenosteosynthesen, bei der sich eine weitere Verringerung des radiologischen Rasmussen-Scores zeigte. Auch bei der Bemessung des medialen proximalen Tibiawinkels bestätigte sich diese Entwicklung. In der Gruppe mit den konventionellen Implantaten vergrößerte sich der Winkel weiter im Vergleich zur vorangegangenen

Röntgenkontrolle. Wobei sich der Winkel in der Gruppe mit den winkelstabilen Platten wiederum als stabil zeigte.

Erwähnenswert ist, dass diese Entwicklung bei älteren Patienten (>50 Jahre) nicht stärker zu beobachten war, als bei jüngeren Patienten (<50 Jahren) im Studienkollektiv.

Auch der Zeitpunkt der zweiten und dritten radiologischen Verlaufskontrolle aller teilnehmenden Patienten zeigte sich als statistisch nicht signifikant. Tendenziell fanden die Verlaufskontrollen in der Gruppe mit den anatomisch vorkonturierten Platten etwas später statt, als in der Vergleichsgruppe.

Diese Ergebnisse verstärken den Eindruck, dass winkelstabile Plattenosteosynthesen bei Impressionsspaltbrüchen des Tibiakopfes radiologisch einen besseren Outcome erzielen, in Hinsicht auf Erhalt der Reposition und Verhinderung eines Valguskollaps des Tibiaplateaus im zeitlichen Verlauf.

Die aktuelle Studienlage zum Vergleich von winkelstabilen Implantaten und konventionellen Plattenosteosynthesen bei Tibiakopffrakturen ist heterogen. Die Studie von Abghari et al. konnte keinen radiologischen Vorteil, im Sinne einer Gelenklinien-Absinterung oder einer valgischen Abkipfung der mechanischen Beinachse sowie im Gebrauch von winkelstabilen Implantaten bei Schatzker II-Schienbeinkopfbrüchen sehen; und dies bei einem durchschnittlichen Follow-up von 18,5 Monaten [54]. Dies ist aktuell die einzige Studie, die eine Aussage über das verwendete Implantat, ausschließlich in Bezug auf Impressionsspaltbrüche des Tibiakopfes (Schatzker II), macht.

Dahingegen konnte die Arbeit von Tahririan et al. einen radiologischen Vorteil bei der Absinterung der Gelenklinie und der Achsenstabilität bei den winkelstabilen Implantaten nachweisen. Diese Studie hat aber unterschiedliche Klassifikationen von Tibiakopffrakturen berücksichtigt, wobei über 50 % der eingeschlossenen Patienten eine Schatzker II-Fraktur erlitten hatten [60].

Zeng et. al konnten in einer Studie mittels Computersimulation zeigen, dass winkelstabile Implantate eine stabilere Verankerung im Knochen bei Schatzker II-Frakturen gewährleisten [61]; hierbei ist jedoch zu beachten, dass es sich um eine experimentelle Computerstudie handelt.

Kayali et al. beschreiben in ihrer Studie keinen radiologischen Vorteil bei der Nutzung von winkelstabilen Implantaten in Hinsicht auf den radiologischen Rasmussen-Score,

die mechanische Beinachse, den medialen proximalen Tibiawinkel und den tibialen Slope, im Vergleich zur unverletzten Gegenseite bei insgesamt 24 Patienten mit einer Schatzker II-Fraktur bei einem mittleren follow-up von 21,4 Monaten [62].

Kulkarni et al. behandelten 38 Patienten mit Impressionsspaltbruch des Tibiakopfes mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese, ohne den subchondralen Knochendefekt aufzufüllen. Das radiologische Ergebnis mittels dem ursprünglichen radiologischen Rasmussen-Score zeigte bei 27 Patienten ein exzellentes Ergebnis, bei neun Patienten ein gutes und bei zwei ein durchschnittliches Resultat [63].

Hussain et al. versorgten insgesamt 31 Patienten mit einer Schatzker II Fraktur mit einer winkelstabilen proximalen metaphysären Platte und untersuchten die Patienten für mindestens 24 Wochen nach. Der erhobene radiologische Rasmussen-Score zeigte bei 20 Patienten ein exzellentes Ergebnis und bei 11 Patienten ein gutes Resultat. [64]

Shimizu et al. legten das Augenmerk bei ihrer Arbeit auf 33 ältere Patienten (mittleres Alter 72,1 Jahre), welche eine Tibiakopffraktur unterschiedlicher Klassifikation erlitten hatten. 21 dieser Patienten wurden mittels winkelstabiler Plattenosteosynthese operativ versorgt. Insgesamt wurden 23 Patienten aus dem Kollektiv nach durchschnittlich vier Jahren mittels dem ursprünglichen radiologischen Rasmussen-Scores klinisch und radiologisch nachuntersucht. Dementsprechend erreichten sechs Patienten ein exzellentes Ergebnis, elf Patienten ein gutes und vier ein durchschnittliches [65]. Nicht nachzuvollziehen bei dieser Arbeit war, welche Patienten in das endgültige Follow-up miteinflussen.

Inwieweit man aktuell, anhand dieser Studienlage, aus radiologischer Sicht den Einsatz von winkelstabilen Implantaten bei Tibiakopffraktur nach Schatzker II empfehlen kann, müssen weitere Studien belegen.

#### **4.4 Klinisches Outcome**

Die klinischen Ergebnisse dieser Arbeit unterstreichen die gewonnenen, radiologischen Erkenntnisse. Die Patienten wurden mindestens drei Jahre postoperativ telefonisch nach ihrem subjektiven Befinden befragt und mittels eines

angefertigten Fragebogens, welcher sich aus dem klinischen Rasmussen-Score, sowie aus dem WOMAC-Fragebogen zusammensetzt, nachuntersucht.

Alle Patienten, welche ein winkelstabiles Implantat erhalten hatten, gaben bei der Befragung an, im normalen Alltag signifikant weniger bzw. keine Beschwerden zu haben im Vergleich zum anderen Studienkollektiv, die mit einer herkömmlichen Abstützplatte bzw. Schraubenosteosynthese versorgt wurden. So gaben die Patienten mit den herkömmlichen Implantaten deutlich mehr Beschwerden an, was Schmerz, Gelenksteifigkeit und Gelenkfunktion im alltäglichen Leben betrifft. Dies zeigte sich sowohl im Ergebnis des klinischen Rasmussen-Scores, als auch im Resultat des WOMAC-Fragebogens und war in beiden Fällen statistisch signifikant.

Der „lost to follow up“ war in beiden Studiengruppen ähnlich. Die Dauer des follow-up zeigte jedoch einen mäßigen, aber statistischen signifikanten Unterschied. Die Gruppe mit den konventionellen Implantaten wurde fast ein Jahr länger als die Vergleichsgruppe nachuntersucht. Dies ist unter Umständen zusätzlich ein Grund, warum das klinische Ergebnis dieser Gruppe schlechter ausgefallen ist, da Patienten, die mit dem Therapieergebnis unzufrieden sind, mehr Interesse haben, länger Teil einer Studie zu sein, um gegebenenfalls doch noch ihre Gesamtsituation zu verbessern. Auch ist der relativ kurze follow-up-Zeitraum zu beachten, ebenso wie das retrospektive Design dieser Arbeit. Ebenfalls muss man erwähnen, dass es im Rahmen der klinischen Nachuntersuchung nicht zu einer erneuten klinischen Untersuchung der operierten Kniegelenke gekommen ist, was sicherlich Einfluss auf die Ergebnisse der angewandten Scores gehabt haben kann.

In der Literatur zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. So konnte Kulkarni et al. in ihrer Studie bei 38 Patienten mit einer Tibiakopf-Impressionsfraktur, welche mit einer winkelstabilen Plattenosteosynthese versorgt wurden, in der klinischen Nachuntersuchung bei 15 Patienten ein hervorragendes Ergebnis, bei 21 Patienten ein gutes und bei zwei Teilnehmern ein befriedigendes Resultat gemäß dem klinischen Rasmussen Score nachweisen. In ähnlicher Weise fielen der Tegner-Score und der Lysholm-Score in dieser Studie aus. Die mittlere follow up-Dauer betrug 22,8 Monate [63]. Ein vergleichbares klinisches Ergebnis zeigte Kayali et al. in seiner Arbeit auf. In dieser wurden 24 Patienten mit winkelstabilen Implantaten bei einem Impressionsspaltbruch Schatzker II versorgt. Nach einem durchschnittlichen follow-up von 21,4 Monaten erreichten die Patienten im klinischen Rasmussen-Score einen

Mittelwert von 27,9 Punkten, dabei kam der ursprünglich entwickelte Score zum Einsatz, welcher einen Maximalscore von 32 Punkten hatte. Das Resultat im Knee Society Score betrug 91,5 Punkte [62].

Shen et al. berichten in ihrer Studie über ein vergleichbares gutes Ergebnis von operativ versorgten Schienbeinkopfbrüchen. In dieser Studie wurden insgesamt 124 Patienten, die unterschiedliche Frakturformen des Tibiakopfes erlitten hatten und operativ versorgt wurden, eingeschlossen. 73 davon hatten eine Schatzker II-Fraktur und postoperativ einen durchschnittlichen klinischen Rasmussen-Score von  $26,7 \pm 2$  Punkten. Erwähnenswert ist, dass nur 47 Frakturen des Patientenkollektivs mit winkelstabilen Implantaten versorgt wurden [66].

Die Studie von Tahririan et al. konnte einen deutlichen besseren klinischen Outcome für die Patienten nachweisen, welche ein winkelstabiles Implantat erhalten hatten, als für die Patienten mit einer Abstützplatte. In dieser Arbeit erlitten annähernd 50 % der Patienten eine Schatzker II Fraktur des Tibiakopfes. Die Gruppe mit der winkelstabilen operativen Versorgung erzielten einen durchschnittlichen Punktwert im Knee Society Score (KSS) von  $80,20 \pm 10,21$ , im Vergleich zu einem mittleren Score von  $72,52 \pm 14,75$  in der Gruppe mit den konventionellen Implantaten. Dies erwies sich als statistisch signifikant. Auch bei Angabe von Schmerzen zeigte sich ein relevanter Unterschied der beiden Vergleichsgruppen. In der Gruppe mit anatomisch vorkonturierten Implantaten gaben die Patienten einen mittleren Wert auf der visuellen Analog Skala (VAS) von  $4,45 \pm 2,50$  an, die Vergleichsgruppe hingegen hatte einen Durchschnittswert von  $6,00 \pm 2,59$  [60].

Keinen relevanten Unterschied in der klinischen Nachuntersuchung nach operativer Versorgung einer Tibiakopffraktur Schatzker II bzw. AO 41 B3 mittels winkelstabiler Implantate im Vergleich zur Therapie mittels Abstützplatte bzw. Schraubenosteosynthese zeigte die Arbeit von Abghari et al.. Die Ergebnisse auf der visuellen Analog Skala (VAS) und des short musculoskeletal functional assessment (SMFA) zeigten sich in beiden Gruppen ähnlich [54].

## 5. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Forschungsarbeit war es, relevante Unterschiede im radiologischen und klinischen, funktionellen Ergebnis von einer operativen Therapie von Impressionsspaltbrüchen Schatzker II bzw. AO 41 B3 mit winkelstabilen Implantaten zu identifizieren und herauszuarbeiten.

Die bis heute gültige Empfehlung der Arbeitsgruppe Osteosynthese (AO) zur operativen Versorgung von Tibiakopffraktur Schatzker II bzw. AO 41 B3 ist nach wie vor die Reposition der Fraktur und Stabilisierung mittels einer Abstützplatte bzw. einer Schraubenosteosynthese. Nur bei Vorliegen einer schweren Osteoporose wird eine Plattenosteosynthese mit winkelstabilen Implantaten empfohlen.

Diese Empfehlung beruht auf einer sehr heterogenen Studienlage in der aktuellen Literatur. Es gibt viele Arbeiten, welche unterschiedliche Frakturklassifikationen (Schatzker I-VI) berücksichtigen und sich verschiedenen radiologischen und klinischen Bewertungsscores bedienen. Bei vielen Studien handelt es sich darüber hinaus um Fallserien, was der Evidenz nicht zuträglich ist.

Bisher gab es noch keine wissenschaftliche Arbeit, welche einen eindeutigen Vorteil bei der Verwendung von anatomisch vorkonturierten winkelstabilen Platten zeigen konnte. Dahingegen gibt es mehrere Studien, die einen möglichen Vorteil in der Verwendung von winkelstabilen Implantaten, zeigen konnten

Diese Arbeit konnte zeigen, dass alle Patienten mit einem Spaltimppressionsbruchs des Schienbeinkopfes und einer winkelstabilen Plattenversorgung ein besseres Ergebnis erzielen- sowohl radiologisch als auch vom klinischen Resultat.

Limitierende Faktoren dieser Arbeit sind sicherlich das retrospektive Studiendesign mit der Anwendung des Best fit match Algorithmus, sowie die eingeschränkte Evidenzlage der aktuellen Literatur. Ebenso muss man den geringen, aber signifikanten Unterschied des klinischen follow-up erwähnen, welcher vermutlich durch das retrospektive Studiendesign mitbedingt ist, aber zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben kann. Auch sollte man beachten, dass im Rahmen des follow-up keine klinische Untersuchung der operierten Kniegelenke stattgefunden hat.

Kritisch zu betrachten ist die Tatsache, inwieweit es sinnvoll ist, Rückschlüsse von einem radiologischen Outcome auf ein klinisches Ergebnis zu ziehen.

Mit all diesen Limitationen müssen weitere Studien zeigen, ob winkelstabile Implantate in der Frakturversorgung von Tibiakopfimpressionsspaltbrüchen den bisher

konventionellen Platten überlegen sind, worauf diese Arbeit aber eindeutige Hinweise geliefert hat.

Inwieweit dies zu einem Umdenken und einer Änderung der Therapieempfehlung führt, ist die Aufgabe weiterführender wissenschaftlicher Arbeiten.

## Literaturverzeichnis

1. Court-Brown, C.M. and B. Caesar, *Epidemiology of adult fractures: A review*. Injury, 2006. **37**(8): p. 691-7.
2. Elsoe, R., et al., *Population-Based Epidemiology of Tibial Plateau Fractures*. Orthopedics, 2015. **38**(9): p. e780-6.
3. Schatzker, J., R. McBroom, and D. Bruce, *The tibial plateau fracture. The Toronto experience 1968--1975*. Clin Orthop Relat Res, 1979(138): p. 94-104.
4. Wang, Z., et al., *Comparison of outcome of ARIF and ORIF in the treatment of tibial plateau fractures*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017. **25**(2): p. 578-583.
5. Musahl, V., et al., *New trends and techniques in open reduction and internal fixation of fractures of the tibial plateau*. J Bone Joint Surg Br, 2009. **91**(4): p. 426-33.
6. Lubowitz, J.H., W.S. Elson, and D. Guttman, *Part I: Arthroscopic management of tibial plateau fractures*. Arthroscopy, 2004. **20**(10): p. 1063-70.
7. Chan, Y.S., et al., *Arthroscopy-assisted surgery for tibial plateau fractures: 2- to 10-year follow-up results*. Arthroscopy, 2008. **24**(7): p. 760-8.
8. Rasmussen, P.S., *Tibial condylar fractures as a cause of degenerative arthritis*. Acta Orthop Scand, 1972. **43**(6): p. 566-75.
9. Honkonen, S.E., *Degenerative arthritis after tibial plateau fractures*. J Orthop Trauma, 1995. **9**(4): p. 273-7.
10. Rademakers, M.V., et al., *Operative treatment of 109 tibial plateau fractures: five- to 27-year follow-up results*. J Orthop Trauma, 2007. **21**(1): p. 5-10.
11. Mattiassich, G., et al., *Radiographic and clinical results after surgically treated tibial plateau fractures at three and twenty two years postsurgery*. Int Orthop, 2014. **38**(3): p. 587-94.
12. Manidakis, N., et al., *Tibial plateau fractures: functional outcome and incidence of osteoarthritis in 125 cases*. Int Orthop, 2010. **34**(4): p. 565-70.
13. Parkkinen, M., et al., *Factors predicting the development of early osteoarthritis following lateral tibial plateau fractures: mid-term clinical and radiographic outcomes of 73 operatively treated patients*. Scand J Surg, 2014. **103**(4): p. 256-62.
14. Rasmussen, P.S., *Tibial condylar fractures. Impairment of knee joint stability as an indication for surgical treatment*. J Bone Joint Surg Am, 1973. **55**(7): p. 1331-50.
15. McNamara, I.R., et al., *Surgical fixation methods for tibial plateau fractures*. Cochrane Database Syst Rev, 2015(9): p. CD009679.
16. Biyani, A., et al., *The results of surgical management of displaced tibial plateau fractures in the elderly*. Injury, 1995. **26**(5): p. 291-7.
17. Aumüller, G.e.a., *Duale Reihe Anatomie*. 2020.
18. Schünke M., S.E., Schumacher U., *Prometheus - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 2009: p. 434 - 446.
19. Gill, T.J., et al., *Arthroscopic reduction and internal fixation of tibial plateau fractures in skiing*. Clin Orthop Relat Res, 2001(383): p. 243-9.
20. Bormann M, N.C., Keppler AM, Prall WC, Böcker W, Fürmetz J., *Einfluss der COVID-19-Pandemie auf die Frakturepidemiologie am Beispiel der Tibiaplateaufraktur [Influence of the COVID-19 pandemic on fracture epidemiology exemplified by tibial plateau fractures]*. Unfallchirurgie, 2022 Dec 28.
21. Bobrich, E.H., C.; Grass,R.; Zwipp, H., *Tibial plateau fractures and luxation fractures - Fracture classification and associated lesions*. Trauma und Berufskrankheit, 2009. **11**: p. 154-159.

22. Dickob, M. and U. Mommsen, [*Fractures of the proximal tibia and knee ligament injuries*]. Unfallchirurgie, 1994. **20**(2): p. 88-93.
23. Petersen, W.Z., T.; Raschke, M., *Tibiakopffraktur*. Unfallchirurg, 2006.
24. Raschke, M., T. Zantop, and W. Petersen, [*Fracture of the tibial head*]. Chirurg, 2007. **78**(12): p. 1157-69; quiz 1170-1.
25. Müller, M.E., *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones*. 1990.
26. Steinbrich W, R.P., *Frakturen und Luxationen*. 1999.
27. Harrasser, N.E.-R., R.; Biberthaler, P., *Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie*. 2016.
28. Hertel, P., [*Tibial plateau fractures*]. Unfallchirurg, 1997. **100**(7): p. 508-23.
29. Wiedemann, M., [*Dislocation fracture of the head of the tibia. II. Therapeutic procedure*]. Unfallchirurgie, 1995. **21**(4): p. 188-97.
30. Petersen, W., T. Zantop, and M. Raschke, [*Tibial head fracture open reposition and osteosynthesis--arthroscopic reposition and osteosynthesis (ARIF)*]. Unfallchirurg, 2006. **109**(3): p. 235-44.
31. Zimmermann, G., Reumann, M., Wagner, C., Wentzensen, A., *Frakturen des distalen Femurs und des Tibiakopfes*. Trauma Berufskrankh, 2007. **9** (2007) **51-56**.
32. Tscherne, H., P. Lobenhoffer, and O. Russe, [*Proximal intra-articular tibial fractures*]. Unfallheilkunde, 1984. **87**(7): p. 277-89.
33. Lüring C., T.M., *Operative Zugangswege in Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2015.
34. Friederichs J., S.F., *Tibiakopf – Klassifikation und Prinzipien der Behandlung*. OP-Journal, 2019. **35**(02): **93-99**.
35. Frosch, K.H., et al., *A new posterolateral approach without fibula osteotomy for the treatment of tibial plateau fractures*. J Orthop Trauma, 2010. **24**(8): p. 515-20.
36. Bellamy, N., et al., *Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee*. J Rheumatol, 1988. **15**(12): p. 1833-40.
37. Honkonen, S.E. and M.J. Jarvinen, *Classification of fractures of the tibial condyles*. J Bone Joint Surg Br, 1992. **74**(6): p. 840-7.
38. van Dreumel, R.L., et al., *Mid- to long-term functional outcome after open reduction and internal fixation of tibial plateau fractures*. Injury, 2015. **46**(8): p. 1608-12.
39. Prall, W.C., et al., *Schatzker II tibial plateau fractures: Anatomically precontoured locking compression plates seem to improve radiological and clinical outcomes*. Injury, 2020. **51**(10): p. 2295-2301.
40. Prall, W.C., et al., *Radiological Outcome Measures Indicate Advantages of Precontoured Locking Compression Plates in Elderly Patients With Split-Depression Fractures to the Lateral Tibial Plateau (AO41B3)*. Geriatr Orthop Surg Rehabil, 2021. **12**: p. 21514593211043967.
41. Rozell, J.C., et al., *Tibial Plateau Fractures in Elderly Patients*. Geriatr Orthop Surg Rehabil, 2016. **7**(3): p. 126-34.
42. Bormann M, N.C., Gassner C, Keppler AM, Bogner-Flatz V, Ehrnthaller C, Prall WC, Böcker W, Fürmetz J., *Changing patterns in the epidemiology of tibial plateau fractures: a 10-year review at a level-I trauma center*. . Eur J Trauma Emerg Surg., 2023 Feb.
43. Chen MJ, F.C., Salazar BP, Gardner MJ, Bishop JA., *Low profile fragment specific plate fixation of lateral tibial plateau fractures - A technical note*. . Injury, 2021 Apr.
44. He, Q.F., et al., *Tibial plateau fractures in elderly people: an institutional retrospective study*. J Orthop Surg Res, 2018. **13**(1): p. 276.

45. Softness, K.A., R.S. Murray, and B.G. Evans, *Total knee arthroplasty and fractures of the tibial plateau*. World J Orthop, 2017. **8**(2): p. 107-114.
46. Oladeji, L.O., J.R. Worley, and B.D. Crist, *Age-Related Variances in Patients with Tibial Plateau Fractures*. J Knee Surg, 2020. **33**(6): p. 611-615.
47. Court-Brown, C.M. and M.M. McQueen, *Global Forum: Fractures in the Elderly*. J Bone Joint Surg Am, 2016. **98**(9): p. e36.
48. Aluclu, M.A., F. Bati, and E. Kekilli, *Normal range of BMD in proximal tibia as a different skeletal site at women*. North Clin Istanb, 2016. **3**(3): p. 201-208.
49. Kusters, C., B. Schliemann, and M.J. Raschke, *[Tibial head fractures in the elderly]*. Unfallchirurg, 2011. **114**(3): p. 251-60; quiz 261-2.
50. Chen, P., et al., *The morphological features of different Schatzker types of tibial plateau fractures: a three-dimensional computed tomography study*. J Orthop Surg Res, 2016. **11**(1): p. 94.
51. Rosteius, T., et al., *Factors influencing the outcome after surgical reconstruction of OTA type B and C tibial plateau fractures: how crucial is the restoration of articular congruity?* Arch Orthop Trauma Surg, 2022.
52. Sohn, H.S., et al., *Incidence and fracture morphology of posterolateral fragments in lateral and bicondylar tibial plateau fractures*. J Orthop Trauma, 2015. **29**(2): p. 91-7.
53. Zhai, Q., et al., *Morphological characteristics of split-depression fractures of the lateral tibial plateau (Schatzker type II): a computer-tomography-based study*. Int Orthop, 2013. **37**(5): p. 911-7.
54. Pu, Y., et al., *Correlation between CT images of lateral plateau and lateral meniscus injuries in patients with Schatzker II tibial plateau fractures: a retrospective study*. BMC Musculoskelet Disord, 2022. **23**(1): p. 9.
55. Deng, X., et al., *Comparison of outcomes of ORIF versus bidirectional tractor and arthroscopically assisted CRIF in the treatment of lateral tibial plateau fractures: a retrospective cohort study*. J Orthop Surg Res, 2021. **16**(1): p. 289.
56. Ollivier, M., et al., *Balloon tibioplasty for reduction of depressed tibial plateau fractures: Preliminary radiographic and clinical results*. Int Orthop, 2016. **40**(9): p. 1961-6.
57. Salari, P., G. Busel, and J.T. Watson, *A radiographic zone-based approach to predict meniscus injury in lateral tibial plateau fracture*. Injury, 2021. **52**(6): p. 1539-1543.
58. Abghari, M., et al., *Are Locked Plates Needed for Split Depression Tibial Plateau Fractures?* J Knee Surg, 2016. **29**(6): p. 482-6.
59. Chen, X.Z., et al., *Arthroscopy-assisted surgery for tibial plateau fractures*. Arthroscopy, 2015. **31**(1): p. 143-53.
60. Goff, T., N.K. Kanakaris, and P.V. Giannoudis, *Use of bone graft substitutes in the management of tibial plateau fractures*. Injury, 2013. **44 Suppl 1**: p. S86-94.
61. Stahl, D., et al., *Operatively Treated Meniscal Tears Associated With Tibial Plateau Fractures: A Report on 661 Patients*. J Orthop Trauma, 2015. **29**(7): p. 322-4.
62. Parkkinen, M., et al., *The usefulness of MRI and arthroscopy in the diagnosis and treatment of soft-tissue injuries associated with split-depression fractures of the lateral tibial condyle*. Bone Joint J, 2014. **96-B**(12): p. 1631-6.
63. Ringus, V.M., et al., *Lateral tibial plateau fracture depression as a predictor of lateral meniscus pathology*. Orthopedics, 2010. **33**(2): p. 80-4.
64. Tahririan, M.A., S.H. Mousavitadi, and M. Derakhshan, *Comparison of functional outcomes of tibial plateau fractures treated with nonlocking and locking plate fixations: a nonrandomized clinical trial*. ISRN Orthop, 2014. **2014**: p. 324573.

65. Zeng C, R.X., Xu C, Hu M, Li J, Zhang W., *Stability of internal fixation systems based on different subtypes of Schatzker II fracture of the tibial plateau: A finite element analysis*. Front Bioeng Biotechnol., 2022 Sep 7.
66. Kayali, C., et al., *Subchondral raft construction with locking plates for the treatment of Schatzker type II fractures*. Acta Ortop Bras, 2017. **25**(3): p. 99-102.
67. Kulkarni, S., et al., *Use of a raft construct through a locking plate without bone grafting for split-depression tibial plateau fractures*. J Orthop Surg (Hong Kong), 2015. **23**(3): p. 331-5.
68. Dr. Muhammad Amzad Hussain, D.S.U.Z., Dr. Mohammad Shah Kamal Uddin, Dr. A. K. M. Harun-Ar-Rashid, Dr. Mohammad Shaha Alam, Dr. Ushahla Marma, & Dr. Md. Ayub Ali. , *Radiological measurement of Schatzker type II Tibial Plateau Fracture by Proximal Tibial Metaphyseal Plate*. . International Journal of Medical Science and Clinical Research Studies, 3(4), 666–669, 2023.
69. Shimizu T, S.T., Sakagoshi D, Goshima K, Shigemoto K, Hatsuchi Y., *Geriatric tibial plateau fractures: Clinical features and surgical outcomes*. J Orthop Sci., 2016 Jan.
70. Shen, C., et al., *The use of beta-TCP in the surgical treatment of tibial plateau fractures*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2009. **17**(12): p. 1406-11.

# Anhang A



Klinikum der Universität München Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie Nußbaumstraße 20 · 80336 München	PD Dr. med. W.C. Prall Studienleiter  Dr. med. J. Fürmetz Dr. med. T. Kusmenkov Studienärzte  Telefon +49 (0)89 4400 - 52511 Telefax +49 (0)89 4400 - 54553 www.chirurgische-klinik.de  Postanschrift: Nußbaumstraße 20 D-80336 München München, 20.10.2017
--	---

## PATIENTENFRAGEBOGEN

### UNTERSUCHUNG RADIOLOGISCHER UND KLINISCHER BEHANDLUNGSERGEBNISSE NACH OFFENER EINRICHTUNG UND INTERNER FIXIERUNG VON IMPRESSIONSPALTBRÜCHEN DES ÄUßEREN SCHIENBEINKOPFES

Sehr geehrte Patientin,  
sehr geehrter Patient,

bei Ihnen wurde in der Vergangenheit ein Impressionsspaltbruch am Schienbeinkopf offen eingerichtet und mittels Implantaten (Platte, Schrauben) stabilisiert. Wir möchten das Behandlungsergebnis detailliert nachuntersuchen. Hierzu bitten wir Sie, die folgenden Fragen so gut es geht zu beantworten:

#### Schwellung

Auf der operierten Seite schwillt mein Knie...

- nie an.
- selten an.
- gelegentlich an.
- oft an.
- immer an.

#### Gehstrecke

Trotz oder wegen des operierten Kniegelenkes ist normales Gehen im Alltag...

- altersentsprechend normal.
- draußen über eine Stunde am Stück möglich.
- draußen weniger als eine Stunde am Stück möglich.
- draußen weniger als 15 Minuten am Stück möglich.

Das Klinikum der Universität München ist eine Anstalt des Öffentlichen Rechts

Vorstand: Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Burkhard Göke (Vorsitz), Kaufmännischer Direktor: Gerd Koslowski,  
Pflegerdirektor: Peter Jacobs, Vertreter der Medizinischen Fakultät: Prof. Dr. Dr. h.c. Maximilian Reiser (Dekan)  
Institutionskennzeichen: 260 914 050, Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27a Umsatzsteuergesetz: DE 813 536 017

- nur noch innerhalb der Wohnung/des Hauses möglich
- nicht mehr möglich.

*Beweglichkeit: Streckung*

Auf der operierten Seite kann ich mein Knie im Vergleich zur gesunden Seite...

- normal durchstrecken.
- nicht ganz durchstrecken.
- deutliche weniger durchstrecken.
- soviel weniger durchstrecken, dass ich bei Gehen auf Unterarmgehstützen angewiesen bin.

*Beweglichkeit: Beugung*

Auf der operierten Seite kann ich mein Knie im Vergleich zur gesunden Seite...

- normal beugen/abwinkeln.
- nicht ganz so weit beugen/abwinkeln.
- deutlich weniger weit beugen/abwinkeln.
- soviel weniger weit beugen/abwinke, dass der Unterschenkel bei Sitzen auf einem Stuhl nicht frei (lotrecht) herunterhängen kann.

*Beweglichkeit: Gelenksteife*

Auf der operierten Seite besteht morgens nach dem Aufstehen eine vorübergehende Gelenksteife:

- nie
- selten
- gelegentlich
- oft
- immer

Auf der operierten Seite kommt es im Laufe des Tages zu einer zunehmenden Gelenksteife oder Einschränkung der Beweglichkeit:

- nie
- selten
- gelegentlich
- oft
- immer

*Beweglichkeit: Knarren*

Auf der operierten Seite spüre ich bei Bewegung ein Knarren oder Reiben:

- nie
- selten
- gelegentlich
- oft
- immer

*Beweglichkeit: Blockieren*

Auf der operierten Seite kommt es bei Bewegung regelmäßig zu einem plötzlichen Blockieren, sodass ich das Bein etwas schütteln muss um die Bewegung fortzuführen:

- nie
- selten
- gelegentlich
- oft
- immer

*Stabilität*

Im Vergleich zur gesunden Seite ist das operierte Knie...

- normal stabil. Es knickt bei Bewegung und Belastung nicht weg.

- etwas weniger stabil. Es knickt bei bestimmten Bewegungen und Belastungen gelegentlich weg.
- deutlich weniger stabil. Es knickt in Alltagssituationen regelmäßig weg.
- extrem instabil. Ich bin im Alltag auf eine stabilisierende Bandage angewiesen.

**Kraft**

Im Vergleich zur gesunden Seite kann ich das Knie auf der operierten Seite...

- mit genau so viel Kraft strecken. Beim Ausstehen aus der Hocke oder beim Treppensteigen merke ich keinen Kraftunterschied. Meine Oberschenkel sehen auf beiden Seiten gleich kräftig aus.
- mit weniger Kraft strecken. Beim Ausstehen aus der Hocke oder beim Treppensteigen merke ich einen Kraftunterschied. Meine Oberschenkel sieht auf der operierten Seite schwächer aus.
- wegen Kraftlosigkeit nicht belasten. Ich bin wegen der Kraftlosigkeit bei Gehen auf Unterarmgehstützen angewiesen.

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Schmerzen bei bestimmten Belastungen und wie Sie diese **im Verlauf der letzten Woche** erlebt haben. Bitte geben Sie jeweils einen Punktwert für:

- 1 keine
- 2 gering
- 3 mittel
- 4 stark
- 5 extrem

Schmerzen bei der Körperdrehung auf dem belasteten Bein:	(1) (2) (3) (4) (5)
Schmerzen bei Strecken des Beines:	(1) (2) (3) (4) (5)
Schmerzen bei Beugen des Beines:	(1) (2) (3) (4) (5)
Schmerzen in Ruhe z.B. bei Sitzen oder Liegen:	(1) (2) (3) (4) (5)
Schmerzen nachts:	(1) (2) (3) (4) (5)
Schmerzen bei Gehen in der Ebene:	(1) (2) (3) (4) (5)
Schmerzen beim Treppengehen:	(1) (2) (3) (4) (5)
Schmerzen beim aufrechten Stehen:	(1) (2) (3) (4) (5)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Einschränkungen bei bestimmten Situationen des täglichen Lebens und wie Sie diese **im Verlauf der letzten Woche** erlebt haben. Bitte geben Sie mittels eines Punktwertes an, wieviel Schwierigkeiten Ihnen das operierte Knie in der jeweiligen Situation bereitet:

- 1 keine
- 2 gering
- 3 mittel
- 4 stark
- 5 extrem

Schwierigkeiten beim Treppen hinaufsteigen	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Treppen hinabgehen	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Aufstehen aus dem Sitzen	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim normalen Stehen	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Bücken um einen Gegenstand vom Boden aufzuheben	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Gehen in der Ebene	(1) (2) (3) (4) (5)

Schwierigkeiten beim Einsteigen in ein Auto oder Aussteigen aus einem Auto	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Einkaufen gehen	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Strümpfe an oder ausziehen	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Aufstehen aus dem Bett	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Herumdrehen im Bett	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Aussteigen aus der Badewanne	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Sitzen	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten beim Aufstehen von der Toilette	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten bei leichter Haushaltsarbeit (Kochen, Staubwischen, Aufräumen...)	(1) (2) (3) (4) (5)
Schwierigkeiten bei schwerer Haushaltsarbeit (Bewegen schwerer Kisten, Boden schrubben...)	(1) (2) (3) (4) (5)

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an unserer Auswertung und für Ihre Mühe. Bitte stecken Sie den Befragungsbogen in den beiliegenden Rücksendeumschlag und schicken ihn uns zurück.

## **Danksagung**

Hiermit möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Christian Prall, Chefarzt der Abteilung Knie-, Hüft-, Schulter- und Ellenbogenchirurgie der Schön Klinik München Harlaching bedanken, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen. Darüber hinaus will ich mich für die hervorragende Betreuung und seine ständige Diskussions- und Hilfsbereitschaft bedanken.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie für die uneingeschränkte, liebevolle und vielseitige Unterstützung, ohne die diese Arbeit so nicht möglich gewesen wäre.

# Affidavit



## Eidesstattliche Versicherung

Rieger, Maximilian

Name, Vorname

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

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 16.12.2024

Ort, Datum

Maximilian Rieger

Unterschrift Maximilian Rieger

## Publikationsliste

- "Schatzker II tibial plateau fractures: Anatomically precontoured locking compression plates seem to improve radiological and clinical outcomes."  
Prall WC, Rieger M, Fürmetz J, Haasters F, Mayr HO, Böcker W, Kusmenkov T.  
Injury. 2020 Oct;51(10):2295-2301. doi: 10.1016/j.injury.2020.07.012. Epub 2020 Jul 5. PMID: 32650982.
- "Radiological Outcome Measures Indicate Advantages of Precontoured Locking Compression Plates in Elderly Patients With Split-Depression Fractures to the Lateral Tibial Plateau (AO41B3)."  
Prall WC, Kusmenkov T, Rieger M, Haasters F, Mayr HO, Böcker W, Fürmetz J.  
Geriatr Orthop Surg Rehabil. 2021 Oct 13;12:21514593211043967. doi: 10.1177/21514593211043967. PMID: 34671507; PMCID: PMC8521727.
- „Total surgical aortic arch replacement as a safe strategy to treat complex multisegmental proximal thoracic aortic pathology.“  
Czerny M, König T, Reineke D, Sodeck GH, Rieger M, Schoenhoff F, Basciani R, Jenni H, Schmidli J, Carrel TP  
Interact Cardiovasc Thorac Surg. 2013 Sep;17(3):532-6