

**Funktionelle Ergebnisse nach winkelstabiler plattenosteosynthetischer Stabilisierung von AO/OTA 34-C Patellafrakturen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades einer  
Doktorin der Medizin (Dr. med.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von

Luisa Lena Müller-Rahmel  
aus  
Hamburg

2025

Betreuer:in / Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Johannes Keller

Gutachter:in der Dissertation: PD Dr. Timur Alexander Yorgan

Vorsitz der Prüfungskommission: PD Dr. Timur Alexander Yorgan

Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Markus T. Berninger

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Dr. Reinhard Friedrich

Datum der mündlichen Prüfung: 19.03.2026

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Hypothese</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Einleitung</b> .....	<b>6</b>
2.1. Funktion der Patella.....	6
2.2. Patellafrakturen .....	7
2.2.1.    Epidemiologie und Ätiologie .....	7
2.2.2.    Klassifikation .....	8
2.2.3.    Herausforderungen der Trümmerfraktur .....	10
2.3. Etablierte Optionen der Behandlung von Patellafrakturen .....	11
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>16</b>
3.1. Studiendesign .....	16
3.2. Patientenkollektiv.....	16
3.3. Material .....	16
3.4. Operationsmethodik und postoperatives Management .....	18
3.5. Datenerhebung.....	20
3.6. Erhebungsinstrumente .....	22
3.6.1.    Tegner Activity Score .....	22
3.6.2.    Lysholm Knee Scoring Scale .....	24
3.6.3.    Böstman Score .....	26
3.6.4.    Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score .....	28
3.6.5.    Numerische Analog-Skala Schmerz.....	29
3.7. Statistisches Auswertungsverfahren .....	30
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>31</b>
4.1. Fallzahlen .....	31
4.2. Patientenindividuelle Faktoren .....	33
4.2.1.    Verteilung von Geschlecht und Alter .....	34
4.3. Frakturmorphologie und operative Stabilisierung .....	35
4.4. Physiotherapie.....	37
4.5. Funktionelle Scores .....	38
4.5.1.    Tegner Activity Score .....	38
4.5.2.    Lysholm Knee Scoring Scale .....	39
4.5.3.    Böstman Score .....	39
4.5.4.    Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score .....	40
4.5.5.    Numerische Analog-Skala Schmerz.....	41
4.6. Einfluss patientenindividueller Faktoren auf die Entwicklung der funktionellen Scores .....	42
4.6.1.    Alter .....	42
4.6.2.    Body Mass Index.....	42
4.6.3.    Physiotherapie.....	42
4.7. Körperliche Untersuchung .....	43
4.7.1.    Range of Motion .....	43

4.7.2.	Distale Polschmerzen und Verwendung der Hakenplatte .....	44
4.8.	Materialentfernung.....	44
4.9.	Komplikationen .....	45
<b>5.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>46</b>
5.1.	Patientenindividuelle Faktoren .....	46
5.2.	Funktionelle Scores .....	48
5.2.1.	Tegner Activity Score .....	48
5.2.2.	Lysholm Knee Scorings Scale.....	50
5.2.3.	Böstman Score .....	51
5.2.4.	Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score .....	52
5.2.5.	Numerische Rating Skala und distale Polschmerzen.....	53
5.3.	Rehabilitationsprotokoll und Range of Movement .....	54
5.4.	Materialentfernung.....	56
5.5.	Komplikationen .....	57
5.6.	Herausforderungen dieser Arbeit .....	59
5.7.	Ausblick .....	60
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>61</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>63</b>
<b>8.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>70</b>
<b>9.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
<b>11.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>72</b>
11.1.	Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (Tabelle).....	72
<b>12.</b>	<b>Erklärung des Eigenanteils .....</b>	<b>78</b>
<b>13.</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>79</b>
<b>14.</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>80</b>

Anmerkung:

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechtsidentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist (Pfeiffer, 2024).

# 1. Hypothese

In dieser Arbeit werden die bedeutende Funktion der Patella als Teil des Kniegelenks, die häufig unzureichenden Ergebnisse nach Patellafrakturen, und die Herausforderung vor allem bezüglich der Stabilisierung von Trümmerfrakturen beschrieben. Dies zeigt, dass Patellafrakturen noch immer Teil eines wichtigen wissenschaftlichen Diskurses sind. Trotz mangelhafter Ergebnisse der Zuggurtungsosteosynthese ist diese Stabilisierung das noch am häufigsten genutzte Verfahren in Deutschland. Dies mag in bestehenden Unsicherheiten bezüglich neuer Osteosyntheseverfahren wie der Stabilisierung mittels anteriorer winkelstabiler Platte begründet sein.

Ziel dieser Dissertationsschrift ist es, die sichere Anwendung dieser winkelstabilen anterioren Plattenosteosynthese darzustellen und gute bis sehr gute funktionelle postoperative Ergebnisse zu belegen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Einordnung der erhobenen Daten in der aktuellen einschlägigen Literatur, um zu zeigen, dass die Plattenosteosynthese im Vergleich mit anderen Osteosyntheseverfahren weniger Implantat-assoziierte Komplikationen aufweist und die Ergebnisse in funktionellen Scores vor allem der Zuggurtungsosteosynthese nicht unterlegen ist.

## 2. Einleitung

### 2.1. Funktion der Patella

Die Patella stellt einen wichtigen Teil des Streckapparates im Kniegelenk dar. Sie ist in die Sehne des M. quadrizeps femoris bzw. M. rectus femoris eingebettet, dessen oberflächlichen Anteile über die Patella bis zu ihrem unteren Pol verlaufen und dort gemeinsam mit dem Lig. patellae an der Tuberositas tibiae inserieren. Die tiefen Anteile des M. rectus femoris setzen gelenknah am proximalen Pol der Patella an. Ist dieser Streckapparat beispielsweise durch eine Patellafraktur verletzt, kann der Reservestreckapparat anteilig die Extension übernehmen, welcher aus dem Tractus ilio-tibialis und den Retinacula longitudinalia besteht (Boström, 1972). Diese Retinacula werden aus der Fascia lata, welche die anteriore Fläche der Patella bedeckt und den aponeurotischen Fasern der Vasti lateralis und medialis des M. quadriceps femoris gebildet. Eine erhaltene Streckfähigkeit im Kniegelenk schließt demnach eine Patellafraktur nicht aus (Wild et al., 2010, Springorum et al., 2011). Die extraossäre Durchblutung der Patella erfolgt über ein Gefäßnetz, welches hauptsächlich von inferomedial über Äste der A. poplitea gespeist wird. Eine Nekrose distaler Patellafragmente ist daher wesentlich seltener zu beobachten als die proximale Nekrose von Patellafragmenten, da distal eine doppelte Durchblutung durch die mittleren Patellagefäße und die in den unteren Pol einmündenden Polgefäße gewährleistet ist. Eine notwendige Arthrotomie während der Operation sollte entsprechend der arteriellen Versorgung möglichst von lateral erfolgen (Scapinelli, 1967).

Die primäre biomechanische Funktion der Patella besteht darin, die Quadrizepseffizienz zu verbessern, indem sie den Hebelarm des Streckapparates verlagert. Bei weniger als 45° Flexion vergrößert sich dieser bei zunehmender Extension, indem die Patella den Angelpunkt zwischen Quadrizeps und Tibia von der Rotationsachse des Knies verschiebt. Als Hypomochlion führt diese Verlagerung des Hebelarms zu einer Quadrizepsverstärkung um bis zu 30% (Kaufer, 1971). Das komplexe Zusammenspiel des gesamten Extensionsmechanismus ermöglicht den aufrechten und freien Gang auf zwei Beinen. Grundlage für ihre biomechanischen Aufgaben ist die freie Beweglichkeit der Patella. Während der Flexion gleitet ihre retropatellare Gelenkfläche mit einem vertikalen First durch die Furche der beiden Femurkondylen über die Facies patellaris femoris. Bei 45°- 60° Flexion muss der proximale Part, welcher mit einer kräftigen Knorpelschicht bedeckt ist, den größten Belastungen standhalten (Goldstein

et al., 1986). Bei zunehmender Flexion verringert sich der Winkel zwischen Quadrizepssehne und Patellasehne, sodass aus den Zugkräften von Quadrizeps und Lig. patellae eine Gelenkkompressionskraft entsteht, welche auf das Femur wirkt. Obwohl die Flächenpresskraft mit zunehmender Beugung steigt, wird durch die ebenfalls zunehmende patellofemorale Kontaktfläche während der Beugung ein physiologischer Flächenpressdruck aufrechterhalten. Die bei starker Flexion entstehenden Kompressionskräfte sind unter anderem dafür verantwortlich, dass das Patellofemoralgelenk häufig dann schmerzt, wenn das Knie über einen längeren Zeitraum gebeugt ist (Cohen et al., 2001). Besonders eine defekte retropatellare Knorpelfläche begünstigt das Auftreten von Schmerzen, z.B. nach längeren Autofahrten bei gebeugtem Knie in Ruhe. Um ihre Funktion erfüllen zu können, muss die Patella Belastungen bis zu 3200 N standhalten, welche einem bis zu (3,3-) 7,6-fachen des Körpergewichts entsprechen können (Benjamin et al., 1987). Eine vollständige und stufenfreie Durchbauung der Patella nach Fraktur ist daher essenziell, um den biomechanischen Belastungen des Alltags standhalten zu können. Für die vollständige Heilung der Fraktur sollten ca. acht bis zwölf Wochen vergehen, in denen ca. 100.000 Zyklen der Flexion und Extension durchgeführt werden (Bostrom et al., 1994). Diese Umstände ergeben einen hohen Anspruch an jegliche Behandlungsstrategien.

## 2.2. Patellafrakturen

### 2.2.1. Epidemiologie und Ätiologie

Mit einer Häufigkeit von ca. 1% aller Frakturen in Deutschland und einer Inzidenz von ca. 14 pro 100.000 Einwohner pro Jahr sind Patellafrakturen eher selten. Zum Vergleich: Schenkelhalsfrakturen zeigen in epidemiologischen Studien eine Inzidenz von 120 pro 100.000 Einwohner pro Jahr (Rupp et al., 2021).

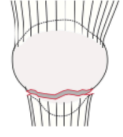
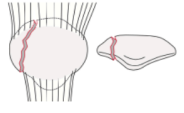
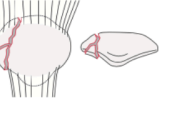
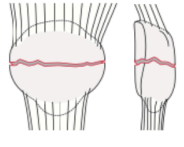
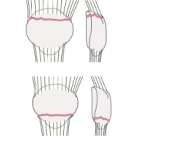
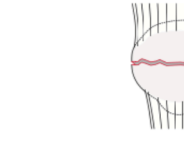
Aufgrund der hohen mechanischen Belastung und Beanspruchung der Patella als Teil des Kniegelenks kann eine Fraktur der Patella jedoch zu langfristigen Beschwerden mit geringerer gesundheitsbezogener Lebensqualität führen (Vedel et al., 2018). Außerdem ist das Risiko für eine Knieendoprothese aufgrund posttraumatischer Arthrose im Vergleich zu Patienten ohne Patellafraktur deutlich erhöht (Larsen et al., 2018). Dies unterstreicht die Bedeutung einer angemessenen Behandlung.

Viele der betroffenen Patienten, vor allem mit zunehmendem Alter, erleiden nach niedrig-energetischem Sturz auf das Knie eine Patellafraktur (ca. 70%). Doch auch

Verkehrsunfälle (ca. 7%) oder der Sturz aus großer Höhe (ca. 9%) können eine Ursache darstellen (Kruse et al., 2022). Die Verdachtsdiagnose der Patellafraktur erfolgt aus der Zusammenschau der Befunde, bestehend aus Unfallmechanismus und der klinischen Untersuchung, in der sich eine präpatellare Schwellung mit lokalem Druckschmerz und einem eventuell palpablen Defekt zeigen kann (Müller und Frosch, 2019). Eine erhaltene Streckfähigkeit nach Fraktur schließt eine bestehende Fraktur nicht aus, da die aponeurotischen Fasern des M. Quadrizeps den Reservestreckapparat bilden (Müller und Frosch, 2017). Die Diagnosesicherung erfolgt durch radiologische Bildgebung zunächst mittels konventionellem Röntgen. Unabhängig der Frakturmorphologie sollte bei Nachweis einer Patellafraktur eine Computertomographie (CT) erfolgen, da die Fraktur nativradiologisch häufig unterschätzt wird. Lazaro et al. konnten nachweisen, dass in 88% aller Patellafrakturen der distale Pol mitbetroffen ist, dies aber nativradiologisch nur in 44 % der Fälle detektiert wird. Zudem führt eine präoperative CT-Bildgebung in knapp 50% der Fälle zu einer Änderung des Behandlungsplans (Lazaro et al., 2013a). Eine MRT sollte bei Verdacht auf Weichteilbeteiligung erfolgen (Müller und Frosch, 2019, Lazaro et al., 2013a).

### 2.2.2. Klassifikation

Die Klassifikation der Patellafrakturen erfolgt im klinischen Alltag vor allem gemäß der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) in Zusammenarbeit mit der Orthopaedic Trauma Association (OTA). Die Patella erhält hier anhand ihrer Position innerhalb der Körperregion die Ziffer 34 (s. Abbildung 1). Die Einteilung in Subgruppen richtet sich vor allem nach dem Maß der Gelenkbeteiligung und nach der Komplexität der Fraktur. Extraartikuläre Frakturen mit Avulsions- oder Körperfraktur bilden den Typ „A“ und partiell artikuläre Frakturen, wie z.B. mediale und laterale Längsfrakturen, umfassen den Typ „B“. Alle artikulären Frakturen werden dem Typ „C“ zugeordnet, welcher noch weiter anhand seiner Komplexität mit einem weiteren Zahlencode unterteilt wird. Querfrakturen sind demnach in den Typ „C1“ einzuordnen, bei einem weiteren Fragment zusätzlich zur Querfraktur erfolgt die Einteilung in Typ „C2“. Trümmerfrakturen mit der höchsten Komplexität bilden den Typ „C3“ (Meinberg et al., 2018).

		Komplexität (1-3)			
		1	2	3	
Frakturtyp (A-C)	A	 34A1: Avulsionsfraktur			
	B	 34B1: Partielle laterale Längsfraktur		 34B2: Partielle mediale Längsfraktur	
		34B1.1: Einfache Fraktur	34B1.2: Mit zusätzlichem Fragment	34B2.1: Einfache Fraktur	34B2.2: Mit zusätzlichem Fragment
C	 34C1: Querfraktur		 34C2: Querfraktur mit Zusatzfragment		 34C3: Trümmerfraktur

**Abbildung 1: AO/OTA Klassifikation der Patellafraktur (Region 34), in Anlehnung an (Meinberg et al., 2018).** Die Patella erhält anhand ihrer Position innerhalb der Körperregion die Ziffer 34. Die Einteilung in Subtypen erfolgt anschließend anhand des Frakturverlaufes, bestehend aus extraartikulären Frakturen (Typ A), partiell artikulären Frakturen (Typ B) und artikulären Frakturen (Typ C), sowie anhand der Komplexität. Je mehr Frakturteile, desto komplexer die Fraktur und desto höher ist der zugeordnete Zahlencode (1-3).

Die sog. Dashboard-Injury bedingt häufig eine Zweiteilung der Patella, sodass eine Querfraktur entsteht. Längsfrakturen hingegen entstehen häufig durch den indirekten Anprall der Kniescheibe, z.B. bei Stürzen (Gwinner et al., 2016). Die multifragmentären C3 Frakturen hingegen entstehen vor allem bei Hochenergietraumata oder auch durch Niedrigenergietraumata bei eingeschränkter Knochenqualität vor allem älterer Patienten (Kruse et al., 2022).

Eine Einteilung nach Speck und Regazzoni ist ebenfalls etabliert (Speck und Regazzoni, 1994). Diese orientiert sich jedoch im Vergleich zur AO/OTA Klassifikation weniger am Ausmaß der Gelenkbeteiligung, sondern an Frakturlokalisierung, -verlauf und Ausmaß der Dislokation. Ein geeignetes Klassifikationssystem der verschiedenen Patellafrakturen welches den Chirurgen zu spezifischen Behandlungskonzepten führen kann, fehlt allerdings bis heute (Gwinner et al., 2016). Bei der Klassifikation der Patellafrakturen anhand von Röntgenaufnahmen zeigten Lazaro et al. 2013 eine hohe Intraobserver-Variabilität, sodass eine Erweiterung der Diagnostik durch CT-Aufnahmen zur Klassifikation der Fraktur und daraus resultierender Behandlung unerlässlich ist (Lazaro et al., 2013a).

### 2.2.3. Herausforderungen der Trümmerfraktur

Trümmerfrakturen machen mit 16-25% den häufigsten Typ der Patellafrakturen aus (Kruse et al., 2022). Die Reposition der vielen Fragmente und das Erreichen einer stufenfreien retropatellaren Gelenkfläche stellen eine außerordentliche chirurgische Herausforderung dar. Eine unzureichende Rekonstruktion der Gelenkfläche begründet häufig Kniegelenkschmerzen und posttraumatische Retropatellararthrosen, sowie Chondromalazien (Boström, 1972). In vergangenen Studien zeigen Trümmerfrakturen entsprechend schlechte Ergebnisse mit bis zu 80% persistierenden Knieschmerzen und funktionellen Einschränkungen noch zwölf Monate nach einer operativen Versorgung (Lazaro et al., 2013b, Levack et al., 1985). Vor allem vordere Knieschmerzen stellen ein häufiges Symptom nach der Behandlung von Patellafrakturen dar. Sie können in Ruhe auftreten oder bei Belastung des Knies in Beugung, typischerweise beim Treppensteigen (Goodfellow et al., 1976). Die daraus resultierende eingeschränkte Funktion des Kniegelenkstreckapparates provoziert die Entstehung eines Kreislaufs: durch die Schmerzen in Extension wird der Quadrizepsmuskel aufgrund eingeschränkter Nutzung schwächer. Vor allem der Vastus medialis obliquus atrophiert bei verminderter Muskelaktivität, sodass das Gleiten der Patella in der patellofemorale Rinne ins Ungleichgewicht gerät. Dies resultiert wiederum in vermehrten Knieschmerzen, welche die Rehabilitation des M. quadrizeps femoris weiter verhindern können. Es resultiert eine Fehlstellung der Patella mit einer erhöhten Gelenkbelastung (Boucher et al., 1992). Durch Vernarbungen und Verengungen der peripatellaren Weichteilstrukturen des Kniegelenks, welche aufgrund der ursprünglichen Fraktur und der operativen Stabilisierung entstehen können, kann die unphysiologische Belastung im patellofemorale Gelenk nochmals verstärkt werden. Intraoperativ erfolgt zur Darstellung der patellaren Gelenkfläche häufig eine laterale Arthrotomie, bei der unter anderem das laterale Retinakulum gespalten wird, welches im Heilungsverlauf vernarben und somit verkürzen kann. In Kombination mit dem geschwächten Vastus medialis obliquus verstärkt das enge laterale Retinakulum die Lateralisierung der Patella, sodass sich die patellofemorale Kongruenz verschlechtert. Die Belastung im Patellofemoralgelenk steigt und demnach auch die vorderen Knieschmerzen (Lazaro et al., 2013b). Langfristig kann es weiterhin zu Abnutzungserscheinungen wie retropatellarer Arthrose kommen, welche ebenfalls mit Schmerzen einhergeht. Auch die Ätiologie der Trümmerfrakturen trägt zur Problematik der retropatellaren Arthrose bei. Bei einem

Hochrasanztrauma ist die Kniescheibe hohen direkten Kräften ausgesetzt, welche Druckschäden am Knorpel verursachen können (Sørensen, 1964).

Eine weitere Herausforderung der Patellafrakturen ist die Diagnostik mittels konventionellem Röntgen. Hier wird das Frakturausmaß häufig unterschätzt, eine distale Polbeteiligung ist nur in 44% der Fälle eindeutig im Röntgen sichtbar (Lazaro et al., 2013a). Für die Auswahl der Osteosynthese ist eine distale Polbeteiligung jedoch entscheidend. Eine initiale Fehleinschätzung der Frakturmorphologie erschwert die operative Stabilisierung und kann zu gehäuften sekundären Dislokationen führen (Berninger und Frosch, 2022). Eine CT zur ausreichenden Beurteilung der Frakturmorphologie ist demnach bereits in der Primärdiagnostik elementar.

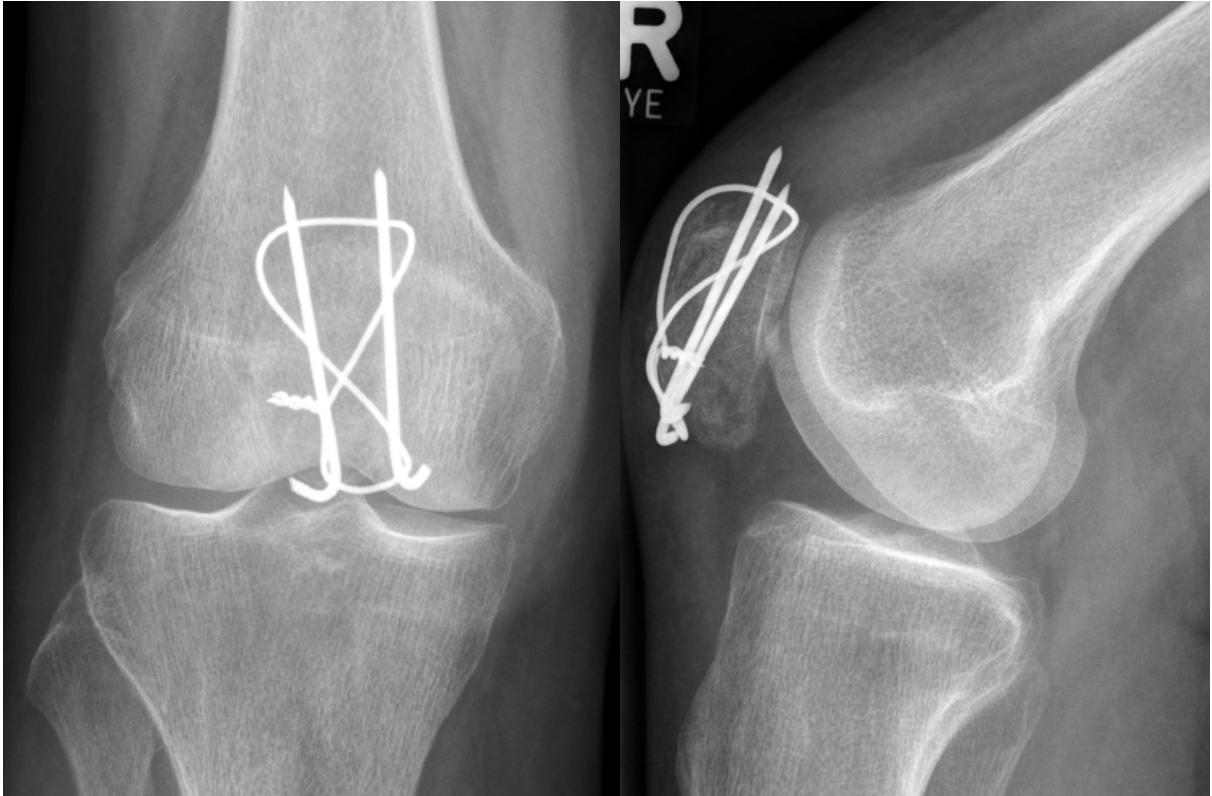
### 2.3. Etablierte Optionen der Behandlung von Patellafrakturen

Neben der konservativen Therapie finden sich in der Literatur schon sehr früh erste Hinweise für operative Ansätze in der Behandlung von Patellafrakturen. Lister hat bereits 1883 über erste Versuche der offenen Reposition und internen Fixierung mittels Drähten in Anlehnung an die Stabilisierung von Olecranonfrakturen (Lister, 1883) berichtet. Das damalige Ziel der exakten anatomischen Reposition mit Wiederherstellung der Gelenkflächen und Erhalt des Streckapparates wird noch heute angestrebt. Jedoch sind die Optionen der operativen Stabilisierung zusätzlich zur konservativen Therapie vielfältiger denn je. Die im August 2020 aktualisierte S2e-Leitlinie zur Behandlung von Patellafrakturen der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU) beschreibt als häufiges Verfahren die klassische Zuggurtungsosteosynthese (Schüttrumpf et al., 2020). Alternativen stellen laut Leitlinie die additive oder einzelne Schraubenosteosynthese und die anteriore (winkelstabile) Plattenosteosynthese dar. Dies entspricht dem Versorgungsstandard 2019 in Deutschland. Die klassische Zuggurtung ist nach wie vor das bevorzugte Osteosyntheseverfahren der Wahl bei allen Frakturtypen, wobei größere Zentren bei mehrfragmentären Frakturen zunehmend winkelstabile Platten einsetzen (Fehske et al., 2021). Im Folgenden werden die gängigsten Therapieoptionen mit ihren Indikationen, operativen Techniken, sowie ihren Vor- und Nachteilen erläutert.

Die Art der Behandlung der Patellafraktur ist bis heute sehr individuell und abhängig von Frakturtyp, der Größe der Fragmente, dem Ausmaß des Weichteilschadens, der Integrität der Extensoren und der individuellen Patientencharakteristik. Ein geringer körperlicher Anspruch und ein hohes perioperatives Risiko aufgrund von Alter oder

Begleiterkrankungen sprechen eher für ein konservatives Therapieprozedere. Sofern der Reservestreckapparat noch intakt ist und das Bein gestreckt angehoben werden kann, ist eine konservative Therapie möglich. Bedingung für die konservative Therapie sind einfache, undislozierte Frakturen mit einer Gelenkstufe bis maximal 2 mm. Entscheidend ist die Möglichkeit einer frühfunktionellen Beübung, um Kontrakturen zu vermeiden (Wild et al., 2010). Dies trifft häufig für Längsfrakturen zu, da hier trotz frühfunktioneller Beübung der Zug des M. quadriceps femoris weniger auf den Frakturspalt wirkt. Compliance und Frakturtyp bestimmen das Ausmaß und die Dauer der eingeschränkten Flexion. Je komplexer die Fraktur, desto restriktiver die frühfunktionelle Behandlung, um sekundären Dislokationen vorzubeugen.

Die Zuggurtungsosteosynthese stellt laut Fehske et al. weiterhin die am häufigsten verwendete Osteosynthesetechnik für Patellafrakturen in Deutschland dar. Bei Querfrakturen verwenden ca. 52% der Operateure die klassische Zuggurtung, Mehrfragmentfrakturen werden in ca. 40% mit einer Kombination aus Cerclage und Zuggurtung therapiert (Fehske et al., 2021). Für die Zuggurtungsosteosynthese werden mindestens zwei streng parallele Drähte möglichst nah an der Patella platziert, deren Enden gekürzt und umgebogen werden, um die Weichteile zu schützen (Müller und Frosch, 2019). Zusätzlich wird ein achtförmiger Zuggurtungsdraht um diese senkrecht zum Frakturspalt stehenden K-Drähte gelegt (s. Abbildung 2). Dabei ist eine Platzierung der Drähte möglichst nah am Knochen unerlässlich, um einer sekundären Dislokation vorzubeugen (Nikiforidis et al., 1999). Diese achtförmige Cerclage definiert die modifizierte Zuggurtungsosteosynthese, wie sie heute verwendet wird. Die ursprüngliche Zuggurtung nach Weber wurde initial mit einer einfachen O-förmigen Cerclage beschrieben (Weber et al., 1980).



**Abbildung 2: Röntgenbildgebung linkes Knie in a.p. (links) und seitlicher (rechts) Projektion mit modifizierter Zuggurtungsosteosynthese.** Bei der Zuggurtungsosteosynthese werden zunächst zwei K-Drähte streng parallel senkrecht zur Frakturlinie eingebracht. Um diese wird anschließend eine achtförmige Zuggurtungscerclage gelegt. Die sog. Achtercerclage bewirkt eine erhöhte Stabilität. In diesem Fall erscheinen die proximalen Drahtspitzen etwas zu lang, was zu Irritationen der Quadrizepssehne und der peripatellaren Weichteilen führen kann.

Das dynamische Prinzip der Umwandlung von Zug- in Kompressionskräfte, welches die Drahtcerclage bei Bewegung an der Patella bewirken soll, wurde in der Vergangenheit mehrfach widerlegt. Aktuelle biomechanische Studien zeigen, dass die Zuggurtungsosteosynthese eher eine statische Fixierung darstellt: Zderic et al. konnten zeigen, dass eine zunehmende Zugkraft durch den M. quadrizeps bei Extension eine synchrone Zunahme der Fragmentdistraktion zur Folge hat (Zderic et al., 2017). Dieses Phänomen scheint dem lange angenommenen Prinzip der Zuggurtungsosteosynthese zu widersprechen, und ist im Einklang mit der Mehrzahl veröffentlichter Arbeiten (Wilson et al., 2011, Labitzke, 1997). Ist die Stabilität der Zuggurtung nicht ausreichend, kann dies eine vermehrte Frakturverschiebung zur Folge haben und schlussendlich zum Versagen der Osteosynthese führen.

Eine Alternative für die Stabilisierung einfacher Querfrakturen stellt die Schraubenosteosynthese dar (s. Abbildung 3). Die zwei meist von proximal nach distal eingebrachten Schrauben dienen der Längsstabilisierung, das Teilgewinde ermöglicht eine Kompression der Frakturfragmente.



**Abbildung 3: Röntgenbildgebung linkes Knie in a.p. (links) und seitlicher (rechts) Projektion mit Schraubenosteosynthese.** Die Abbildung zeigt eine vollständig verheilte Patellaquerfraktur sechs Monate postoperativ nach zweifacher Schraubenosteosynthese. Bei diesem Standardverfahren für Querfrakturen der Patella werden die zwei Zugschrauben meist von proximal nach distal eingebracht.

Durch die Verwendung zweier Schrauben wird sowohl eine Längs- als auch Rotationsstabilität erlangt. Die Schraubenosteosynthese kann auch perkutan eingebracht werden. Zudem ist eine Kombination der Zuggurtungs- sowie Schraubenosteosynthese über kanülierte Schrauben möglich. Dadurch wird das Risiko der Drahtmigration minimiert. Diese modifizierte Zuggurtung über die kanülierten Schrauben ermöglicht eine frühere Rehabilitation mit geringfügiger Weichteilirritation und einem reduzierten Risiko für sekundäre Dislokationen, sodass es den Goldstandard für einfache Querfrakturen darstellt (Carpenter et al., 1997, Burvant et al., 1994). Diese Methode ist jedoch technisch herausfordernd und nicht geeignet für die Stabilisierung von Trümmerfrakturen (Carpenter et al., 1997).

Vor allem bei mehrfragmentären Frakturen ist folglich die Zuggurtungs- und Schraubenosteosynthese nicht ausreichend, um alle Fragmente zu stabilisieren. Um die Stabilität zu erhöhen, kann zusätzlich zur den primären Osteosyntheseverfahren eine Äquatorialcerclage um die Patella platziert werden. Bei diesem Verfahren wird ein K-Draht zirkulär um die Kniescheibe befestigt, sodass die Fragmente gleichmäßig komprimiert werden. Eine potentielle Affektion der Blutversorgung kleinerer Fragmente ist dabei möglich (Fortis et al., 2002), was Pseudarthrosen und Osteonekrosen zur Folge

haben könnte. Des Weiteren kann vor allem bei distaler Polbeteiligung eine sog. McLaughlin Cerclage hinzugefügt werden. Dabei wird die Cerclage um oder durch den proximalen Rand der Patella und durch einen Bohrkanal an der tibialen Tuberositas geführt und fixiert. Diese protektive patellotibiale Cerclage reduziert bei Flexion die Zugkräfte auf die reponierte Fraktur durch den M. Quadrizeps (Ahrberg und Josten, 2007). Die Erstbeschreibung der Technik erfolgte 1946 durch H.F. McLaughlin zur Augmentation von Patellasehnen nach Ruptur unter der Verwendung von K-Drähten, welche jedoch sechs Wochen postoperativ entfernt werden mussten (McLaughlin, 1947). Als neuere Materialien stehen für die McLaughlin-Cerclage auch reißfeste, mehrsträngig geflochtene Fadenmaterialien aus Polyethylen (z.B. FiberTape oder FiberWire, Fa. Arthrex) (Arthrex, 2020) zur Verfügung, welche regulär in situ belassen werden können. Geflochtenes Polyethylen zeigt in biomechanischen Studien eine wesentlich höhere Versagenslast als der herkömmliche K-Draht (Wright et al., 2009, Wüst et al., 2006). Die Verwendung dieser neuen alternativen Materialien sollen die sekundär notwendigen Eingriffe durch Materialirritationen aufgrund des geringfügigen Weichteilmantels um die Kniescheibe vermindern. Bei der Verwendung von K-Drähten könnte eine eventuelle Irritationsquelle die prominente Enddrahtschleife der Achtercerclage sein, welche durch Verdrehung der Drahtenden entsteht. Diese kann bei Verwendung neuerer Fadenmaterialien vermieden werden, sodass in Vergleichsstudien geringere Raten an Materialirritationen und Reoperationen bei Verwendung des FiberWire-Fadens gezeigt werden konnten (Camarda et al., 2016, Shea et al., 2019). Gefahr in der Verwendung der nichtmetallischen Cerclagematerialien ist das Rutschen des Knotens und ein daraus resultierender Repositionsverlust. Das Sichern der Polyethylenfäden durch besonders feste Knotenformen ist demnach essenziell, um die Vorteile der neuen Fäden in Gänze nutzen zu können (Meyer et al., 2018).

Besonders für mehrfragmentäre Patellafrakturen sind die oben genannten Osteosyntheseverfahren häufig nicht ausreichend, um die multiplen Fragmente oder deutlich osteoporotischen Knochen ausreichend zu stabilisieren. Für diese besonders herausfordernden Frakturen wurden verschiedene ventrale, meist winkelstabile Osteosynthesplatten entwickelt. Sie zeichnen sich durch ihre hohe mechanische Stabilität und der Möglichkeit einer frühfunktionellen Nachbehandlung aus. Zudem kann die Patellaplatte mit o.g. Verfahren kombiniert werden, um die Stabilität noch zu erhöhen. Weitere Vorteile und Indikationen zur Verwendung der Plattenosteosynthese nach Patellafraktur werden in den folgenden Kapiteln diskutiert.

## 3. Material und Methoden

### 3.1. Studiendesign

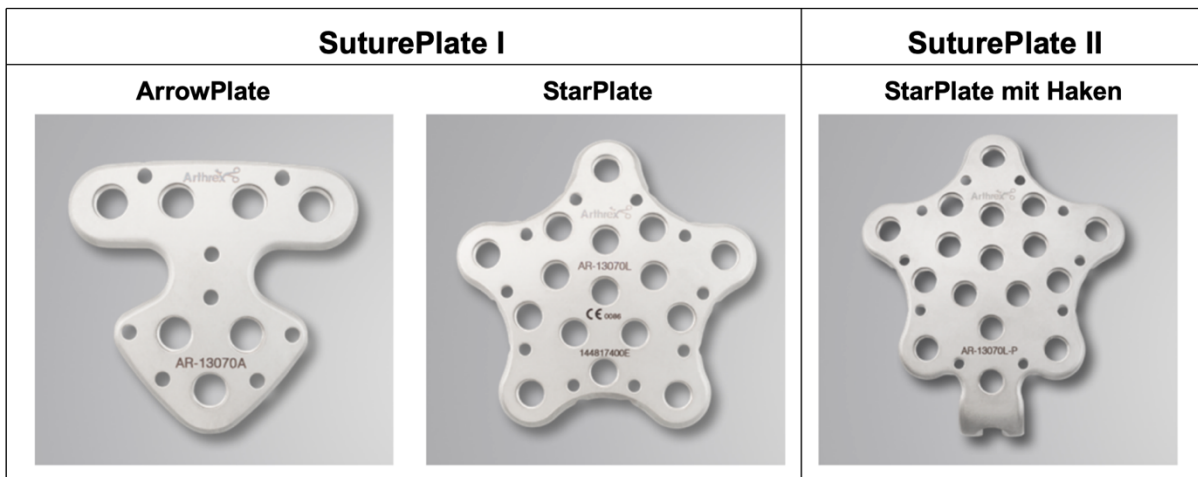
Bei dieser Studie handelt es sich um eine prospektive multizentrische Beobachtungs- und Kohortenstudie, welche unverblindet und nicht randomisiert durchgeführt wurde. Die klinische Datenerhebung erfolgte in der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie und Orthopädie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf und an den multizentrischen Standorten der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Murnau und der Diakovere Friederikenstift in Hannover.

### 3.2. Patientenkollektiv

Nach Genehmigung der Studie durch die Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg (PV 6050) wurden zu Beginn der Studie rückwirkend, später konsekutiv alle Patienten eingeschlossen, welche zwischen August 2019 und Dezember 2022 in einer der drei teilnehmenden Kliniken nach traumatischer Patellafraktur der AO/OTA Klassifikation „C“ eine Indikation zur plattenosteosynthetischen Stabilisierung einer Patellafraktur erhielten. Eine wesentliche Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie war das vollendete 18. Lebensjahr. Weiterhin mussten die Patienten mündlich und schriftlich in das Studienprotokoll einwilligen. Fehlende Einwilligungsfähigkeit schloss eine Teilnahme aus, ebenso das Vorliegen einer ohne Übersetzer nicht zu überwindenden Sprachbarriere sowie mangelnde Compliance z. B. aufgrund von aktivem Alkohol- oder Drogenabusus oder einer psychischen Erkrankung.

### 3.3. Material

Im Fokus dieser Studie stand die operative Stabilisierung der Patellafraktur mittels der von anterior aufgebracht, anatomisch vorgeformten SuturePlate II der Firma Arthrex (Naples, Florida, USA). Sie stellt eine Weiterentwicklung der bereits klinisch erfolgreich eingesetzten SuturePlate I derselben Firma dar. Um verschiedenen Frakturtypen gerecht zu werden, existieren demnach verschiedene Formvarianten der SuturePlate (vgl. Abbildung 4). Zum einen die SuturePlate I in den Versionen der pfeilförmigen ArrowPlate und der sternförmigen StarPlate und zum anderen die SuturePlate II als sternförmige StarPlate mit Hakenkonfiguration.



**Abbildung 4: Formvarianten der SuturePlate, in Anlehnung an (Arthrex, 2021).** Zur SuturePlate I gehört die pfeilförmige ArrowPlate zur Stabilisierung von Querfrakturen und die StarPlate, welche speziell zur Stabilisierung von Trümmerfrakturen entwickelt wurde. Bei der SuturePlatte II ermöglicht die zusätzliche Hakenkonfiguration die Befestigung des fraktur beteiligten distalen oder proximalen Pols.

Die pfeilförmige ArrowPlate für transverse Frakturen wurde in dieser Studie nicht eingesetzt, sie eignet sich besonders für die Stabilisierung von einfachen Querfrakturen und ermöglicht eine anschließende frühfunktionelle Behandlung. Die sternförmige StarPlate wurde speziell für Trümmerfrakturen entwickelt und eignet sich aufgrund ihrer Winkelstabilität besonders in Trümmerzonen und osteoporotischen Knochen (Müller und Frosch, 2017). Die Weiterentwicklung der StarPlate mit zusätzlicher Hakenkonfiguration (SuturePlate II) erlaubt eine indirekte Stabilisierung eines Polfragments. Durch leichtes Anbiegen kann der Haken intraoperativ an die Frakturmorphologie angepasst werden und bei proximalen Polausrissen auch mit dem Haken umgekehrt (nach proximal) aufgesetzt werden (Berninger und Frosch, 2022).

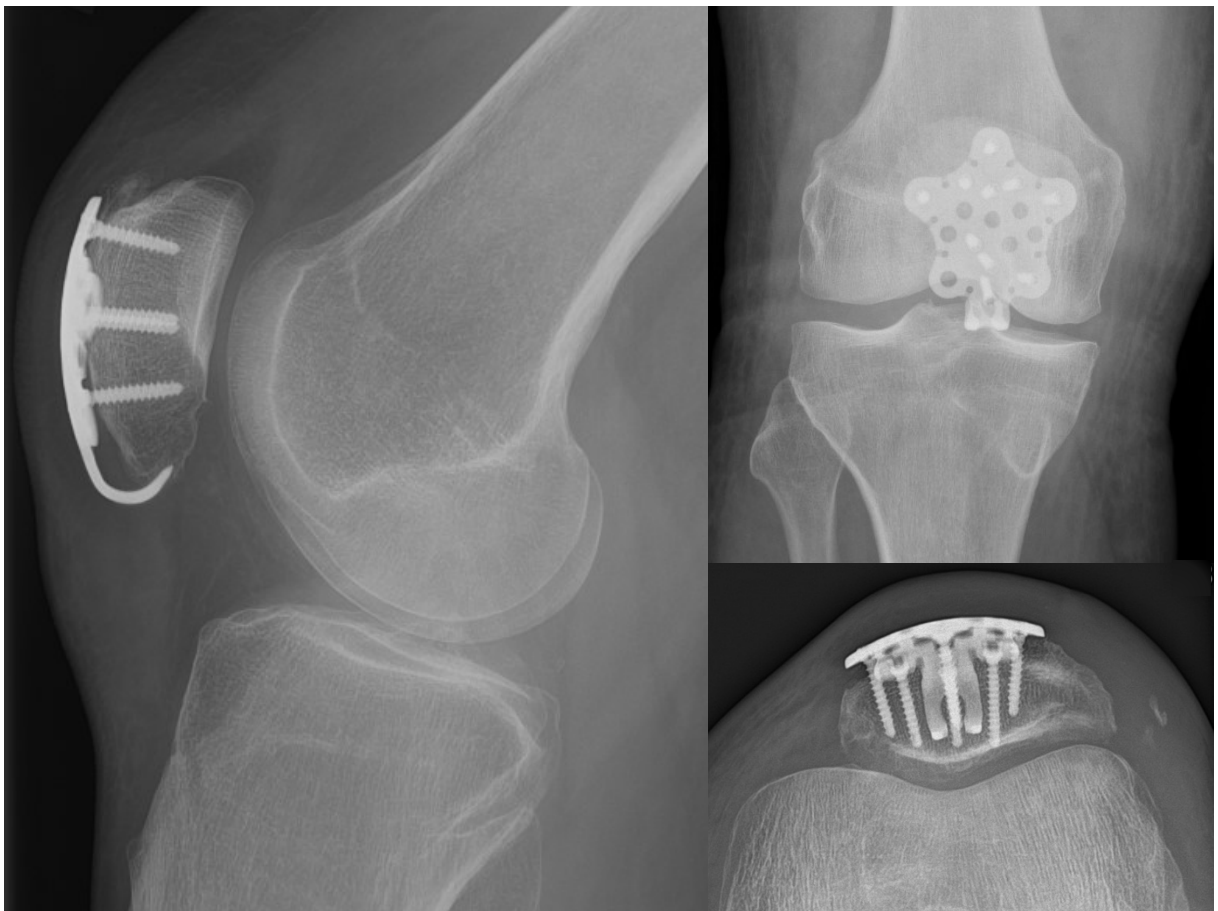
Die Osteosynthese mittels Patellaplatte beruht biomechanisch auf dem Prinzip eines „Fixateur interne“. Bei allen Ausführungen der SuturePlate handelt es sich um winkelstabile Titanverriegelungsplatten, die mit unidirektional eingesetzten 3 mm Titanverriegelungsschrauben fixiert werden. Durch spezielle Nahtlöcher der Platten besteht die Möglichkeit Weichteile zusätzlich zu fixieren. Eine durch Einzelschrauben zusätzliche Fixation von weiteren durch die Platte nicht fassbaren Bruchstücken ist ebenfalls möglich (Arthrex, 2021). In biomechanischen Untersuchungen an Kunstknochen, sowie Kadavern zeigt die anteriore Plattenosteosynthese bereits eine höhere Stabilität und Rigidität im Vergleich zur Zuggurtungs- oder kanülierten Schraubenosteosynthese (Wurm et al., 2015, Wagner et al., 2020). Die Stabilität der Starplate und der Zuggurtung wurden von Wurm et al. am Kunstknochen untersucht. Die Zuggurtungsosteosynthese scheiterte bei 66% der Versagenslast der Plattenosteosynthese und wies eine 5-mal größere Verschiebung des Bruchspalts am Kunstknochen auf. Bei der

Verwendung der StarPlate lag die Frakturdehiszenz unter Belastung immer unter 2 mm, selbst bei maximaler Belastung vor dem Versagen der Konstruktion. Im Vergleich dazu kam es bei der Zuggurtungsosteosynthese bereits bei ca. 350N zu einer Frakturdehiszenz von >2mm am Kunstknochen (Wurm et al., 2015). Diese Krafteinwirkung entspricht einer Teilbelastung der unteren Extremität, vergleichsweise ist bei einer Vollbelastung des Kniegelenks mit einer Krafteinwirkung von über 850N zu rechnen (Harrington, 1976). Wagner et al. zeigten an Kadavern ähnliche Ergebnisse. Zudem konnte im Vergleich zwischen der Plattenosteosynthese und einer Hybridosteosynthese aus Schrauben- und Zuggurtungsosteosynthese eine signifikant vermehrte Lockerung der Schrauben- und K-Drähte gezeigt werden (Wagner et al., 2020).

### 3.4. Operationsmethodik und postoperatives Management

Der operative Eingriff mit Einsatz der Patellaplatte ist sowohl in Allgemein- aber auch in Spinalanästhesie durchführbar. Folgend ist ein Beispiel zur operativen Stabilisierung mittels Plattenosteosynthese beschrieben. Intraoperative Besonderheiten, patientenindividuelle Faktoren und Präferenzen des Operateurs können den Ablauf verändern. Nach Single Shot Antibiose, fakultativer Anlage einer Blutsperre und Rückenlagerung des Patienten mit Lagerung der betroffenen Extremität in einer Halterung oder elektrischem Beinhalter erfolgt die Desinfektion und sterile Abdeckung des Operationsgebietes. Um einen guten Überblick über Fraktur und Streckapparat zu erhalten, liegt der Zugang längsverlaufend median über der Patella. Dabei wird der von medial kommende Ramus infrapatellaris nervi sapheni geschont, um eine postoperative Hypästhesie zu vermeiden (Koval und Kim, 1997). Um den Streckapparat mit seinen Verletzungen darzustellen, kann eine Resektion der Bursa praepatellaris notwendig sein. Die folgende oberflächliche Faszie direkt über dem Streckapparat der Patella sollte vorsichtig abgeschoben werden und zum späteren Verschluss über der Platte erhalten werden. Entsprechend sollte auch das Periost erhalten, jedoch nicht abgeschoben werden. Im Verlauf kann für die Visualisierung der Fraktur sowie deren Reposition eine laterale Arthrotomie entsprechend der Blutversorgung von inferomedial erfolgen. Nach Darstellung der Frakturenden sollte zunächst eine Entfernung des Frakturhämatoms erfolgen. Nach anatomischer Reposition der Fraktur wird das Repositionsergebnis typischerweise mittels Repositionszangen und ggf. zusätzlicher K-Drähte temporär gehalten. Nach Kontrolle des Repositionsergebnisses mittels Bildwandler in zwei Ebenen können verbliebene Gelenkstufen zusätzlich mittels Palpation der retropatellaren

Gelenkfläche detektiert und die Reposition der Fragmente korrigiert werden. Ist die Gelenkfläche mit den genannten Methoden nicht ausreichend beurteilbar, kann mit Hilfe einer (partiellen) Eversion der Patella die retropatellare Gelenkfläche eingesehen werden. Bei zufriedenstellendem Repositionsergebnis kann die Plattenpositionierung in passender Größe (small, medium oder large) erfolgen. Nach einer weiteren temporären Transfixation der Platte mittels K-Drähten kann die bildgebende Lagekontrolle in zwei Ebenen folgen. Anschließend werden nach Bohrung und Längenmessung durch die gewünschten Schraubenlöcher möglichst je drei monokortikale Schrauben proximal und distal der Fraktur eingebracht. Additiv können einzelne Zugschrauben eingesetzt werden. Zur Fixation distaler Polfragmente kann der Plattenhaken verwendet werden (s. Abbildung 5).



**Abbildung 5: Röntgenbildgebung verschiedener Knie in seitlicher (a), a.p. (b) und axialer (c) Projektion nach Plattenosteosynthese.** Dargestellt sind Röntgenbilder verschiedener Patienten nach mehrfragmentären Patellafrakturen ca. zwölf Monate nach Plattenosteosynthese. Zu erkennen ist die anatomische Reposition der Frakturteile ohne verbliebene Gelenkstufe. Zur zusätzlichen Stabilisation des distalen Pols wurde die SuturePlate II mit Hakenkonfiguration verwendet. Diese ist mittels mehrerer winkelstabilen, monokortikal eingebrachten Schrauben fixiert.

Andere verletzte Weichteile können über die dafür vorgesehenen Löcher der Platte mittels Naht befestigt werden. Additive Osteosynthese- oder Stabilisierungsverfahren können je nach Bedarf erfolgen. Abschließend erfolgt intraoperativ die radiologische Darstellung in a.-p.-, seitlicher und tangentialer Aufnahme zur Dokumentation des Repositionsergebnisses, der Plattenlage und der adäquaten Schraubenlänge, welche den Knochen retropatellar nicht überragen sollten.

Nach ausgiebiger Wundspülung und sorgfältiger Blutstillung erfolgt der schichtweise Wundverschluss. Hier ist darauf zu achten, auch den regelhaft eingerissenen medialen und lateralen Reservestreckapparat zu nähen. Die Anlage eines sterilen Wundverbandes und einer elastischen Wickelung beenden die Operation (Müller und Frosch, 2017).

Postoperativ erhalten alle Patienten eine Knieorthese in Extensionsstellung. Je nach Frakturart erfolgt standardgemäß eine Bewegungslimitation auf (Extension/Flexion)  $0^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$  in den ersten zwei Wochen, anschließend eine Erweiterung auf  $0^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $60^{\circ}$  für weitere zwei Wochen und abschließend eine Limitation auf  $0^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  bis zum Ende der sechsten Woche nach Operation. Eine schmerzadaptierte Vollbelastung in Extensionsstellung ist in starrer Orthese zu jederzeit möglich, die aktive Extension ist erst ab der sechsten postoperativen Woche empfohlen. Das Treppensteigen sollte aufgrund der hohen Kniebelastungen bis zur zwölften postoperativen Woche vermieden werden. Eine physiotherapeutisch betreute aktive und passive Mobilisation sollte direkt postoperativ schmerzadaptiert erfolgen.

### 3.5. Datenerhebung

Gemäß klinischer Routine erfolgte bei allen Patienten nach klinischer Vorstellung über die zentrale Notaufnahme der behandelnden Klinik eine Sicherung der Diagnose mittels konventionellem Röntgen und Spezifizierung der Frakturmorphologie mittels Computertomographie. Ergab sich frakturmorphologisch eine Typ C-Fraktur nach AO/OTA wurden die Patienten für den potenziellen Einschluss in diese Studie registriert. Anschließend folgte die Planung der Behandlung entsprechend derselben Philosophie aller teilnehmenden Zentren, eine möglichst anatomische Stellung aller Fragmente mit weitestgehend stufenfreier Knorpelfläche wieder herzustellen. Ziel der operativen Stabilisierung war allzeit das Ergebnis einer stabilen Osteosynthese. Je nach Eignung der Patienten wurde auf die Standardversorgung durch Zuggurtungsosteosynthese oder Schraubenosteosynthese zurückgegriffen oder die SuturePlate I oder II der Fa. Arthrex

eingesetzt. Der Einschluss in die Studie erfolgte nur bei potenzieller Stabilisierung mittels Plattenosteosynthese.

Präoperativ wurde ein Einschlussgespräch inklusive Aufklärung bezüglich Zweck der Studie, Freiwilligkeit der Teilnahme und Pseudonymisierung der Daten durchgeführt. Nach Klärung weiterer Fragen gaben alle teilnehmenden Patienten ihr schriftliches Einverständnis. Folgend wurden die demographischen Daten der Studienteilnehmer, bestehend aus Alter, Geschlecht sowie Körpergewicht und -größe erfasst. Weiterhin wurden Risikofaktoren für eine gestörte Knochenheilung, wie z.B. Rauchverhalten, Alkoholkonsum, Osteoporose und andere Krankheiten und Medikamenteneinnahmen mit bestehendem Risiko für eine gestörte Knochenheilung erfragt. Auch genauere Angaben zum Traumamechanismus, Begleitverletzungen, Voroperationen an der betroffenen Extremität und die Frakturmorphologie wurden festgehalten. Abschließend wurde das prätraumatische Aktivitätsniveau des Studienteilnehmers mit Hilfe des Tegner Activity Scores dokumentiert.

Alle Studienteilnehmer wurden sechs, zwölf und 24 Monate nach Operation telefonisch oder postalisch kontaktiert und zur Nachuntersuchung in die behandelnde Klinik eingeladen. In den Studienterminen erfolgte die genaue Erfassung der operativen Stabilisierung und Methode der Repositionskontrolle intraoperativ mit Hilfe des Operationsberichts. Es erfolgte die körperliche Untersuchung mit Fokus auf Bewegungsumfang, Oberschenkelatrophie, Patellamobilität, Oberschenkel-Gesäß-Abstand und Gangbild. Außerdem wurden die Studienteilnehmer spezifisch bezüglich ihrer Schmerzen am distalen und proximalen Pol befragt. Analog zur häufig störend einliegenden Enddrahtschleife nach K-Draht Äquatorialcerclage wurde aufgrund der oberflächlichen Lage der Patella insbesondere am Haken der SuturePlate II die Möglichkeit von Polschmerzen durch Weichteilirritationen von den Autoren in Betracht gezogen. Des Weiteren wurden Physiotherapieumfang, Rehabilitationsprotokoll und aufgetretene Komplikationen erfasst. Sofern eine Revisionsoperation notwendig war, wurden sekundäre Dislokation, Refraktur, Infektion, Materialfehlage, sowie eine Einschränkung des Bewegungsausmaßes als Komplikation gewertet. Auch eine Materialentfernung inklusive auswärtigen Eingriffen am betroffenen Knie wurden dokumentiert. Neben einer Aktualisierung von Begleiterkrankungen und Medikamenteneinnahmen wurden außerdem zur Erfassung des postoperativen funktionellen Ergebnisses zu jeder postoperativen Untersuchung die folgenden international anerkannten Untersuchungsbögen eingesetzt (s. Kapitel 3.6).

## 3.6. Erhebungsinstrumente

### 3.6.1. Tegner Activity Score

Der Tegner Activity Score wurde erstmalig 1985 von (Tegner und Lysholm, 1985) als Ergänzung zur Lysholm Knee Scoring Scale publiziert. Die Autoren wiesen darauf hin, dass Einschränkungen der Kniefunktion gemessen an der Lysholm Knee Scoring Scale durch ein niedriges Aktivitätsniveau maskiert werden können. Um den o.g. Funktionsscore besser einordnen zu können, dient die Tegner Aktivitätsskala somit als eine wertvolle Ergänzung. In diesem Fragebogen sind mehrere Aktivitäten bestehend aus Freizeitsport, Leistungssport und beruflicher Aktivität nach ihrem Schwierigkeitsgrad geordnet, sodass insgesamt elf Abstufungen entstanden sind, von denen der Patient die Zutreffendste auswählen soll (vgl. Tabelle 1). Die genannten Sportarten variieren geringfügig je nach Anwendungsland. Vorgestellt wird hier die deutsche Version. In der höchsten Kategorie, bewertet mit 10 Punkten erfüllt der Patient ein Aktivitätsgrad auf inter- oder nationalem Wettbewerbsniveau im Fußball oder Alpinski. In der mit 0 Punkten bewerteten niedrigsten Kategorie ist der Patient aufgrund seiner Knieprobleme arbeitsunfähig.

Ebenso wie die Lysholm Knee Scoring Scale wurde der Tegner Activity Score ursprünglich für Patienten mit vorderen Kreuzbandverletzungen entwickelt. In vergangenen Jahren wurde der Einsatz dieses Fragebogens jedoch auf weitere Knieverletzungen ausgeweitet und in verschiedenen Ländern inklusive Deutschland validiert (Wirth et al., 2013, Paxton et al., 2003, Briggs et al., 2006). Der bereits weitreichende Einsatz in wissenschaftlichen Fragestellungen bezüglich der Bewertung von Knieproblemen inklusive postoperativer Ergebnisse nach Patellafrakturen legte daher den Einsatz auch in dieser Studie nahe (Ellwein et al., 2019, Tengler et al., 2021, Buschbeck et al., 2022, Wild et al., 2008).

<b>Tegner Activity Score</b>		
<b>Aktivitätsgrad</b>	<b>Tätigkeit</b>	<b>Aktuell</b>
Wettkampfsport	Fußball, Skialpin (auf nationalem und internationalem Niveau)	10
Wettkampfsport	Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Skialpin (auf regionalem Niveau)	9
Wettkampfsport	Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)	8
Wettkampfsport	Tennis, Leichtathletik (Lauf und Wurfdisziplinen), Ge- räteturnen, Handball, Basketball, Crosslauf	7
Freizeitsport	Eishockey, Fußball, Skialpin	
Freizeitsport	Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Vol- leyball, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen mind. 5x/Wo	6
Wettkampfsport	Radfahren, Skilanglauf, Eiskunstlauf	5
Freizeitsport	Turnen, Gymnastik, Inlineskating, Klettern, Bergstei- gen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf un- ebenem Boden (mind.2x/Wo)	
Arbeit	Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)	
Freizeitsport	Skilanglauf, Radfahren, Tanzen, Aerobic (low impact), Bergwandern (abwärts), Joggen auf ebenem Boden (mind. 2x/Woche)	4
Arbeit	Mittelschwere körperliche Arbeit (schwere Hausarbeit)	
Wettkampf- und Freizeitsport	Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, Bowling	3
Arbeit	Leichte körperliche Arbeit	
Gehen	Querfeldein ist möglich	
Arbeit	Vorwiegend sitzende Tätigkeit	2
Gehen	Auf unebenem Boden möglich	
Arbeit	Sitzende Tätigkeit	1
Gehen	Nur auf ebenem Boden möglich	
Arbeit	Arbeitsunfähig oder berentet aufgrund von Knieproble- men	0
Gehen	Nur eingeschränkt möglich	

**Tabelle 1: Tegner Activity Score (deutsch), (Wirth et al., 2013)**

### 3.6.2. Lysholm Knee Scoring Scale

Die Lysholm-Knee-Scoring Scale, oder auch Tegner-Lysholm Score genannt, wurde 1984 als Weiterentwicklung des Lysholm-Gillquist Score veröffentlicht und diente ursprünglich als Messinstrument nach chirurgischer Intervention bei Bandverletzungen des Knies (Tegner und Lysholm, 1985, Lysholm und Gillquist, 1982). Basierend auf der subjektiven Wahrnehmung des Studienpatienten konzentriert sich der Fragebogen auf die Kniestabilität sowie -funktion und -beschwerden bei Alltagsaktivitäten und sportlicher Aktivität (vgl. Tabelle 2). Die acht verschieden gewichteten Fragen thematisieren Gangbild (max. 5 Pkt.), Nutzung einer Gehhilfe (max. 5 Pkt.), Vorhandensein von Gelenkblockierung (max. 15 Pkt.), Instabilität (max. 25 Pkt.), Schmerzen (max. 25 Pkt.), Schwellung (max. 10 Pkt.) und Beschwerden beim Treppensteigen (max. 10 Pkt.) oder Kniebeugen (max. 5 Pkt.). Die Studienpatienten entscheiden sich je nach Frage zwischen drei bis sechs möglichen Antworten. Insgesamt können 100 Punkte erreicht werden. Dabei werden 91-100 Punkte als „exzellent“, 84-90 Punkte als „gut“, 65-83 Punkte als „befriedigend“ und 0-64 Punkte als „schlecht“ bewertet. Dieser Fragebogen wurde auch in deutscher Sprache bereits in mehreren Studien validiert und seine Anwendung auf viele weitere Verletzungen des Knies ausgeweitet (Swanenburg et al., 2014, Briggs et al., 2009, Kocher et al., 2004, Wirth et al., 2011). Unter Anderem findet er mehrfach Anwendung in der Einschätzung postoperativer Ergebnisse nach Stabilisierung von Patellafrakturen (Ellwein et al., 2019, Tengler et al., 2021, Buschbeck et al., 2022, Wild et al., 2008). Dieser Fragebogen wurde in dieser Studie verwendet, um eine Vergleichbarkeit mit bestehender Literatur zu ermöglichen.

<b>Lysholm Knee Scoring Scale</b>	
<b>Hinken (5 Punkte)</b>	
Nein	5
Wenig oder periodisch	3
Schwer und dauerhaft	0
<b>Unterstützung (5 Punkte)</b>	
Keine	5
Stock oder Unterarmgehstütze	2
Belastung unmöglich	0
<b>Gefühl der Blockade (15 Punkte)</b>	
Kein Gefühl der Blockade oder Widerstand	15
Widerstandsgefühl aber keine Blockade	10
Blockade (manchmal)	6
Blockade (häufig)	2
Blockiertes Gelenk in der Untersuchung	0
<b>Instabilität „Giving way“ (25 Punkte)</b>	
Nie	25
Selten während sportlicher Aktivität oder hoher Belastung	20
Häufig während sportlicher Aktivität oder hoher Belastung	15
Gelegentlich in täglichen Aktivitäten	10
Oft in täglichen Aktivitäten	5
Bei jedem Schritt	0
<b>Schmerzen (25 Punkte)</b>	
Keine	25
Unbeständig und geringfügig während hoher Belastung	20
Auftreten bei hoher Belastung	15
Auftreten bei >2 km Gehstrecke	10
Auftreten bei <2km Gehstrecke	5
Konstant vorhanden	0
<b>Schwellung (10 Punkte)</b>	
Keine	10
Während hoher Belastung	6
Während alltäglicher Belastung	2
Konstant vorhanden	0
<b>Treppensteigen (10 Punkte)</b>	
Keine Probleme	10
Geringfügig beeinträchtigt	6
Ein Schritt nach dem anderen	2
Unmöglich	0
<b>Kniebeuge (5 Punkte)</b>	
Keine Probleme	5
Geringfügig beeinträchtigt	4
Nicht über 90°	2
Unmöglich	0

Tabelle 2: Lysholm Knee Scoring Scale in Anlehnung an (Tegner und Lysholm, 1985)

### 3.6.3. Böstman Score

Der Böstman Score wurde 1981 als klinisches Klassifikationsschema operativer Ergebnisse nach Stabilisierung dislozierter Trümmerfrakturen der Patella veröffentlicht. Die Autoren Böstman et al. modifizierten diesen Score nach Streurer et al., sodass die postoperativen Ergebnisse ohne aufwendige Messung der Quadrizepsstärke und weiterer klinischer Tests eingeschätzt werden können (Böstman et al., 1981, Streurer et al., 1979).

Der Böstman Score setzt sich aus acht verschiedenen gewichteten Fragen bezüglich Bewegungsausmaß (engl. „Range of Movement“, ROM), Knieschmerzen, Beruf, Oberschenkelatrophie, Probleme beim Treppensteigen und dem Vorhandensein von Gehilfen, Erguss und dem sog. „Giving Way Phänomen“ (dt. „Nachgeben“) zusammen. Die Beantwortung des Fragebogens erfolgt demnach gemeinsam durch Studienpatienten und Arzt nach einer körperlichen Untersuchung mit Messung des Bewegungs- und des Oberschenkelumfangs beider Beine. Die maximal zu erreichende Punktzahl beträgt 30 Punkte. Bis inklusive 28 Punkten wird das Ergebnis als „exzellent“, zwischen 20 und 27 Punkten als „gut“ und unter 20 Punkten als „nicht zufriedenstellend“ bewertet. Reliabilität und Validität dieses Scores müssen noch geprüft werden. Aufgrund der weltweit vielfachen Anwendung in wissenschaftlichen Studien (Wild et al., 2016, Wang et al., 2021) hinsichtlich klinischer Ergebnisse nach Trümmerfrakturen der Patella wurde dieses Bewertungsschema auch in dieser Studie ermittelt, um die Einordnung der Ergebnisse in die aktuelle Literatur zu erleichtern.

<b>Böstman Score</b>	
<b>Bewegungsausmaß</b>	Punkte
Volle Extension und Bewegungsausmaß >120° oder <10° Differenz zur Gegenseite	6
Volle Extension, Bewegungsausmaß zwischen 90-120°	3
<b>Schmerz</b>	
Keiner oder minimal bei Belastung	6
Moderat bei Belastung	3
In täglichen Aktivitäten	0
<b>Arbeit</b>	
Ursprünglicher Job	4
Anderer Job	2
Arbeitsunfähig	0
<b>Atrophie, Unterschied des Oberschenkelumfangs 10cm proximal der Patella von:</b>	
<12 mm	4
12-25 mm	2
>25 mm	0
<b>Unterstützung bei der Fortbewegung</b>	
Keine	4
Gehilfe manchmal	2
Gehilfe immer	0
<b>Erguss</b>	
Keiner	4
Subjektiv vorhanden	1
Objektiv vorhanden	0
<b>„Giving way“ Phänomen</b>	
Nein	2
Manchmal	1
Im täglichen Leben	0
<b>Treppensteigen</b>	
Normal	2
Gestört	1
Unmöglich	0

Tabelle 3: Böstman Score in Anlehnung an (Böstman et al., 1981)

#### 3.6.4. Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score

Der Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) wurde 1998 ursprünglich von Ewa M. Roos und Kollegen als Erweiterung des WOMAC Osteoarthritis Index entwickelt, um die kurz- und langfristigen Symptome und die Funktion bei Studienpatienten mit Knieverletzungen und Osteoarthritis zu bewerten (Roos et al., 1998). Der KOOS umfasst fünf Subgruppen, welche in einer Pilotstudie von Patienten nach Knieverletzung als relevant empfunden wurden (vgl. Anhang): Schmerz, Symptome (Symptoms), Funktion im täglichen Leben (ADL), Funktion in Sport und Freizeit (Sport/Rec) und kniebezogene Lebensqualität (QOL). Alle Items haben fünf mögliche Antwortoptionen, die mit einer Punktzahl von 0 (keine Probleme) bis 4 (extreme Probleme) bewertet werden. Die addierten Punktzahlen pro Subgruppe werden in eine Skala von 0 bis 100 umgewandelt, wobei 0 für extreme Knieprobleme und 100 für keine Knieprobleme steht, wie es bei orthopädischen Bewertungsskalen und allgemeinen Messungen üblich ist. Die Punktzahlen zwischen 0 und 100 geben den Prozentsatz der insgesamt erreichbaren Punktzahl an. Im Unterschied zu alternativen Fragebögen werden beim KOOS alle fünf Subgruppen separat betrachtet. Die meisten anderen Instrumente zur Erfassung von Funktion oder Symptomen nach Knieverletzungen fassen die Items, die verschiedene Aspekte messen, zu einer Punktzahl zusammen. Die Autoren des KOOS bemängeln dieses gängige Verfahren als eine Verflachung der Ergebnisse welches die Interpretation erschwert, da viele einbezogene Items nicht immer miteinander korrelieren (Roos und Lohmander, 2003).

Der KOOS wurde in der deutschen Version, sowie für verschiedene orthopädische Eingriffe validiert, z.B. für die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, die Meniskektomie und den totalen Knieersatz (Roos und Lohmander, 2003, Kessler et al., 2003, Plancher et al., 2022). Aufgrund der differenzierten Betrachtung einzelner Funktions- und Symptombereiche und weitreichender Anwendung nicht nur in der Beurteilung postoperativer Ergebnisse nach Patellafrakturen, wurde auch in dieser Studie der KOOS eingesetzt (Lazaro et al., 2013b, LeBrun et al., 2012).

### 3.6.5. Numerische Analog-Skala Schmerz

Scott und Huskisson beschrieben 1975 die ersten Schmerzskalen, welche sowohl visuell als auch numerisch verwendet wurden (Scott und Huskisson, 1976). Downie et al. konnten wenig später feststellen, dass die Numerische Analog-Skala (engl. „numeric rating scale“, NRS) die geringste Fehlervarianz im Unterschied zu der „Visuellen Analog Skala“ (VAS) und der „Simple descriptor scale“ (SDS) aufwies. Außerdem bevorzugten die Autoren die NRS, da diese mehr Wahlmöglichkeiten als die SDS, aber weniger Wahlmöglichkeiten als die potenziell verwirrende VAS bietet (Downie et al., 1978). Die Anwendung der NRS gilt somit als eine der üblichen Methoden, Schmerzen in allen Fachrichtungen zu quantifizieren. Sie ist einfach, schnell und fast jederzeit anwendbar (Paice und Cohen, 1997). Zudem wurde die NRS in mehreren Übersichtsarbeiten, auch spezifisch für Knieschmerzen, validiert und wird weltweit als Bewertungsinstrument eingesetzt (Williamson und Hoggart, 2005, Alghadir et al., 2018).

Studienpatienten wurden demnach gebeten, ihre maximal auftretenden Schmerzen der letzten Woche zunächst in Ruhe und anschließend in Bewegung auf einer diskreten Skala von 0 bis 10 verbal einzuordnen. Der Wert null wurde dabei vom Untersucher als „kein Schmerz“ und der Wert 10 als „schlimmster auszudenkender Schmerz“ beschrieben.

### 3.7. Statistisches Auswertungsverfahren

Zur statistischen Auswertung aller Daten wurde SPSS (Version 28; SPSS Inc., Chicago, IL) für MAC verwendet. Als deskriptive Statistiken wurden der Mittelwert und Standardabweichung ( $MW \pm \text{Std.abw.}$ ) für normalverteilte Daten angegeben, ferner wurden 95%-Konfidenzintervalle berichtet. Ausreißer wurden mittels Boxplot untersucht, alle kontinuierlichen Daten wurden auf Normalverteilung mittels des Shapiro-Wilk-Test geprüft. Es wurde eine einseitige ANOVA mit wiederholten Messungen (repeated measures ANOVA) durchgeführt, um statistisch signifikante Unterschiede des Tegner Activity Scores im Verlauf der drei Untersuchungszeitpunkte festzustellen. Die Annahme der Sphärizität war erfüllt, wie durch den Mauchly-Test auf Sphärizität festgestellt wurde. Zur Prüfung der Unterschiede des Lysholm-, des Böstman-, der KOOS-Scores, der NRS -Schmerzskala sowie der ROM im Verlauf der zwei Untersuchungszeitpunkte wurde ein unabhängiger T-Test verwendet. Eine lineare Regression wurde durchgeführt, um den Einfluss der demografischen Daten auf die Entwicklung der funktionellen Scores zu ermitteln. Zur visuellen Beurteilung der Linearität wurden Streudiagramme mit Regressionslinien erstellt. Auch die Homoskedastizität wurde durch visuelle Inspektion eines Diagramms der standardisierten Residuen gegenüber den standardisierten vorhergesagten Werten bewertet. Zur Beurteilung des Einflusses individueller Faktoren auf das Auftreten von Komplikationen für nominale Variablen wurde der Fishers Exact Test durchgeführt. Dieser wurde ebenfalls zur Überprüfung der Assoziation zwischen distalen Polschmerzen und der Verwendung der Hakenplatte verwendet. Aufgrund der kleinen Fallgruppe war zur Beurteilung des Einflusses individueller Faktoren auf das Auftreten von Komplikationen für kontinuierliche Variablen eine logistische Regression nicht zulässig. Stattdessen wurde zur Analyse kontinuierlicher Variablen die robustere nichtparametrische Bootstrapping-Methode (mit 1000 Resamples) angewendet, um mögliche Zusammenhänge von Alter bzw. BMI und dem Auftreten von Komplikationen zur untersuchen.

Für alle Tests wurde ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  akzeptiert.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Fallzahlen

Zwischen August 2019 und Dezember 2022 konnten insgesamt  $n=85$  Studienteilnehmer eingeschlossen werden, wovon  $n=10$  keine Plattenosteosynthese erhielten, sodass ein Ausschluss erfolgte. Von weiteren  $n=23$  Studienteilnehmern stehen aktuell noch Nachuntersuchungen aus, sodass hier noch kein Einschluss in die Ein-Jahres-Ergebnisse erfolgen konnte.  $N=12$  Patienten haben die Studienteilnahme vor Beendigung des Ein-Jahres-Follow-up abgebrochen, ein Großteil der Studienteilnehmer ( $n=5$ ) gab als Abbruchgrund persönliche Gründe an, inbegriffen waren Einschränkungen oder Angst vor der COVID-19 Pandemie.  $N=5$  Studienteilnehmer sind der Nachuntersuchung verloren gegangen (engl. „lost to follow-up“). Eine Studienteilnehmerin verstarb drei Monate postoperativ, wobei der Todesfall der multimorbiden Patientin nicht auf die Patellafraktur zurückzuführen war. Eine weitere Studienteilnehmerin konnte aufgrund ihres im Laufe der Zeit deutlich verschlechterten Gesundheitszustandes das Ein-Jahres-Follow-up nicht beenden.

Die vorliegende Arbeit beschreibt somit die Ein-Jahres-Daten von  $n=40$  plattenosteosynthetisch stabilisierter Studienpatienten,  $n=19$  Studienteilnehmer davon beendeten bereits das Zwei-Jahres-Follow-up (s. Abbildung 6). Von diesen  $n=40$  Studienteilnehmer wurden  $n=21$  im Studienzentrum in Hamburg,  $n=16$  in Hannover und  $n=3$  in Murnau eingeschlossen.

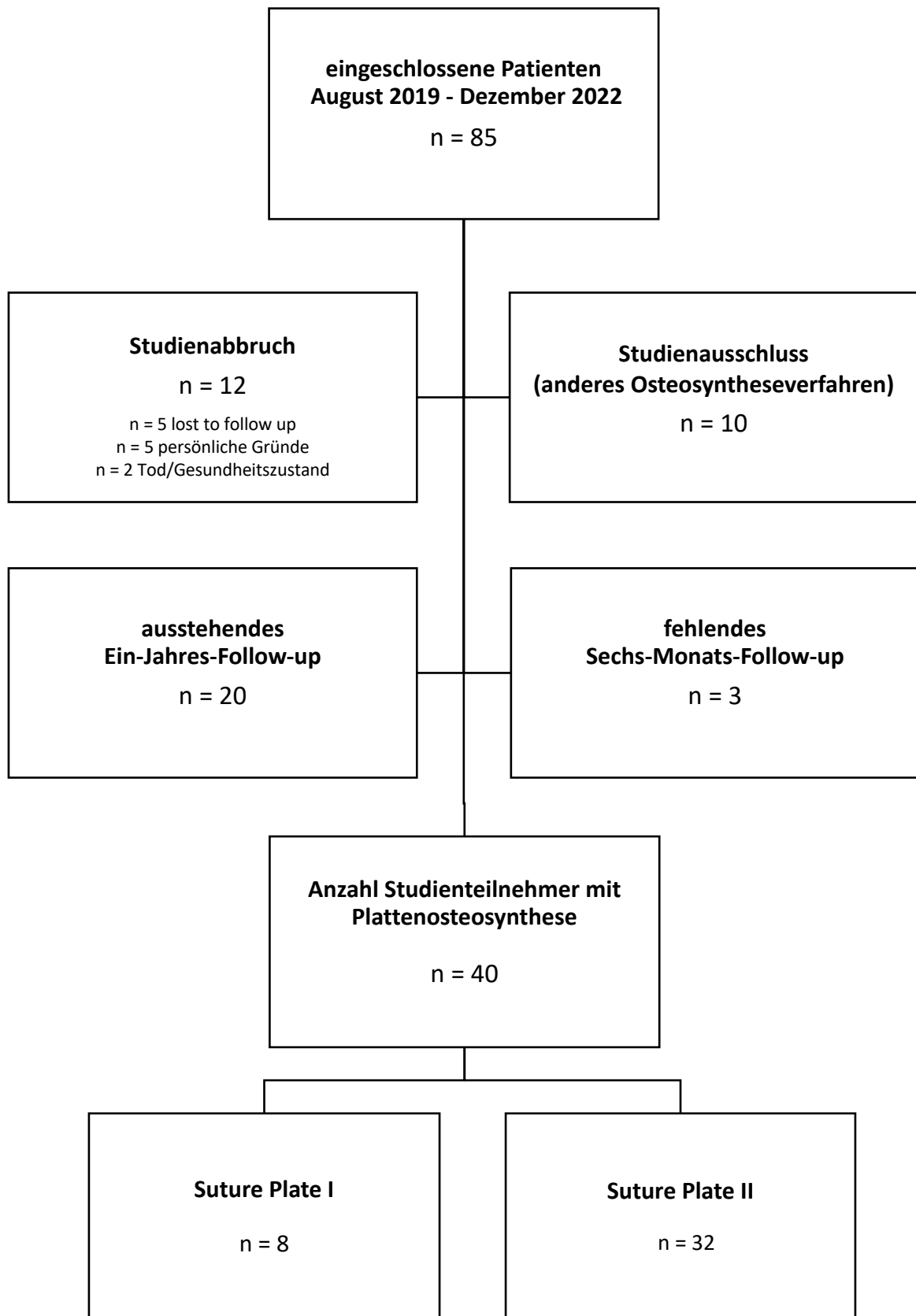


Abbildung 6: Flowchart zeigt den Aus- und Einschlussprozess

## 4.2. Patientenindividuelle Faktoren

Insgesamt lagen zum Zeitpunkt der Auswertung n=40 Studienpatienten mit jeweils einer Patellafraktur vor. Die Verteilung des Geschlechts war annähernd ausgeglichen mit n=19 (47,5%) männlichen und n=21 (52,5%) weiblichen Studienpatienten. Das Durchschnittsalter betrug  $57,55 \pm 16,8$  Jahre mit einer Spanne zwischen 21 und 84 Jahren.

Das durchschnittliche Gewicht der Studienpatienten lag bei  $74,6 \pm 17,2$  kg, die durchschnittliche Größe bei  $171 \pm 9,5$  cm und demnach der durchschnittliche BMI bei  $24,9 \pm 6,7$ .

Es gaben n=34 (85%) Studienpatienten an, zum Zeitpunkt der Datenerfassung nicht zu rauchen, n=6 (15%) Studienpatienten waren Raucher.

Der Alkoholkonsum wurde in fünf Kategorien unterteilt: n=9 (22,5 %) Studienpatienten verneinten den generellen Alkoholkonsum („nie“), n=6 (15 %) äußerten, selten Alkohol zu trinken (weniger als einmal/Monat), n=12 (30 %) berichteten, gelegentlich zu trinken (einmal/Woche bis einmal/Monat), n=12 (30 %) erklärten, oft Alkohol (zwischen einmal/Tag und einmal/Woche) zu konsumieren, und n=1 (2,5 %) Patient gab an, mindestens täglich Alkohol zu trinken.

Demografische Daten		n = 40
Alter in Jahren		57,55 ( $\pm 16,8$ )
Geschlecht		
	männlich	19 (47,5%)
	weiblich	21 (52,5%)
Größe (in cm)		171 ( $\pm 9,5$ )
Gewicht (in kg)		74,6 ( $\pm 17,2$ )
BMI		24,9 ( $\pm 4,6$ )
Rauchen		
	Nein	34 (85%)
	Ja	6 (15%)
Alkoholkonsum		
	Nie	9 (22,5%)
	Selten	6 (15%)
	Gelegentlich	12 (30%)
	Oft	12 (30%)
	Täglich	1 (2,5%)
Osteoporose		
	Nein	34 (85%)
	Ja	6 (15%)
Diabetes		
	Nein	32 (80%)
	Ja	8 (20%)

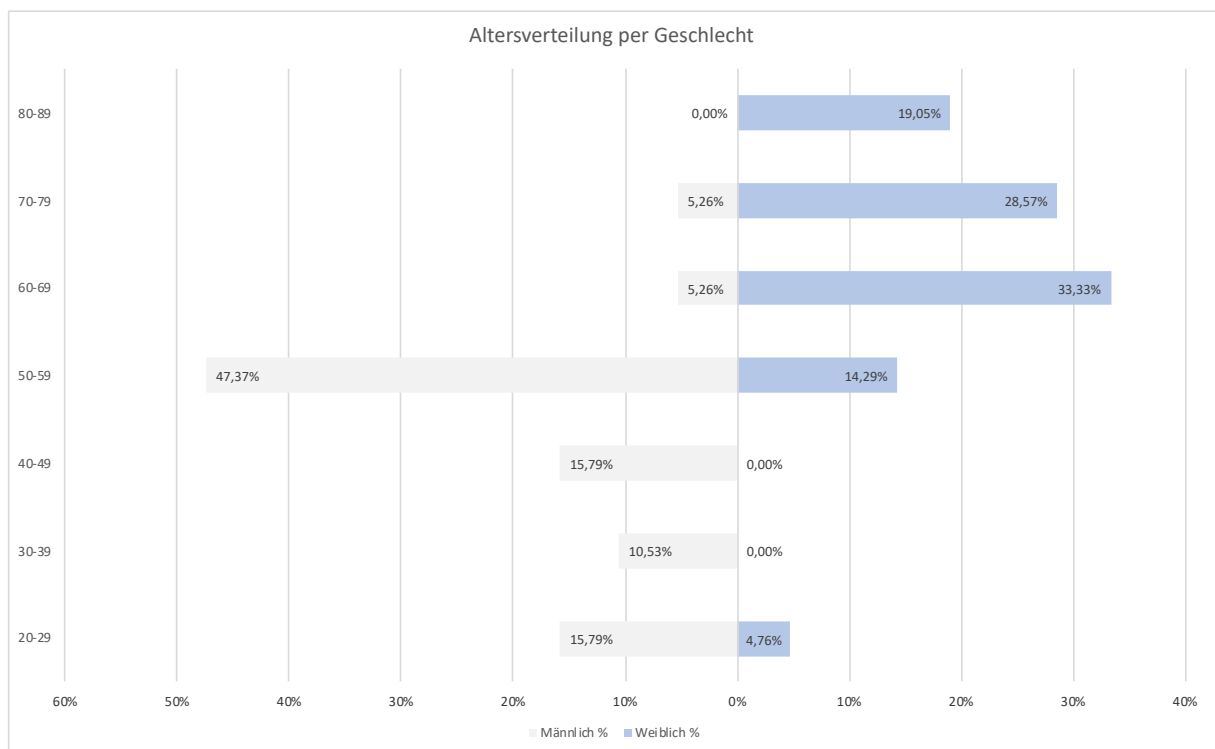
**Tabelle 4: Demografische Daten**

Eine Osteoporose war laut Eigenanamnese der Studienteilnehmer manifest in n=6 Fällen (15%) vorhanden, n=34 (85%) Studienteilnehmer verneinten das Vorliegen einer Osteoporose. Die Angaben beruhen auf der individuellen Krankengeschichte der Studienteilnehmer, eine osteologische Abklärung erfolgte im Rahmen dieser Studie nicht.

Ein Diabetes mellitus lag bei n=8 (20%) Teilnehmern vor, n=32 (80%) verneinten das Vorliegen einer Diabeteserkrankung.

#### 4.2.1. Verteilung von Geschlecht und Alter

In der analysierten Studiengruppe zeigten sich zwei Altersgipfel. In der Gruppe der Frauen lag der Altersdurchschnitt bei  $66,43 \pm 13,41$  Jahren, in der Gruppe der männlichen Studienpatienten bei  $47,74 \pm 14,06$  Jahren. Eine Auswertung dieser Verteilung ergab, dass die Männer mit Patellafrakturen signifikant jünger als die Frauen mit Patellafrakturen sind ( $p < 0,001$ ).



**Abbildung 7: Altersverteilung per Geschlecht.** Die von Patellafrakturen betroffenen Frauen (blau) liegen eher im höheren Alter über 60 Jahre. Die von Patellafrakturen betroffenen Männer (grau) sind im Durchschnitt hingegen deutlich jünger unter 60 Jahren.

#### 4.3. Frakturmorphologie und operative Stabilisierung

Ein Studieneinschluss erfolgte nur bei traumatischen Frakturen. Erfasst wurde der Unfallmechanismus bzw. das Unfallumfeld. N=11 (27,5%) Studienteilnehmer erlitten in Folge eines Verkehrsunfalls eine Patellafraktur, n=9 (22,5%) im Rahmen der beruflichen Tätigkeit, n=18 (45%) während einer Aktivität des täglichen Lebens, n=1 (2,5%) bei körperlicher Betätigung und n=1 (2,5%) in einer körperlichen Auseinandersetzung. Überschneidungen sind hier möglich. Bei n=4 Studienteilnehmern (10%) lag eine offene Fraktur vor, n=36 (90%) hatten geschlossene Weichteile.

Die Frakturklassifikation erfolgte nach AO/OTA (Meinberg et al., 2018). Es wurden nur Typ C-Frakturen eingeschlossen: der Typ AO/OTA 34-C3 als Trümmerfraktur war mit Abstand die häufigste Fraktorentität mit n=26 (65%) Fällen, gefolgt von den AO/OTA 34-C1 Querfrakturen mit n=10 (25%) und anschließend den AO/OTA 34-C2 T-Frakturen mit n=4 (10%) Fällen. Zudem wurde die Beteiligung des distalen und proximalen Patellapols beurteilt. In 57,5% (n= 23) war der distale, in einem Fall (2,5%) der proximale Pol der Patella beteiligt. Bei n=16 Frakturen (40%) war weder der proximale noch der distale Pol frakturiert. Neben der Patellafraktur kam es bei n=2 (5%) zu einer Begleitverletzung. Beide Studienpatienten zogen sich eine zusätzliche Femurfraktur zu, welche ebenfalls operativ stabilisiert werden mussten.

Alle eingeschlossenen Patienten wurden mit einer winkelstabilen Platte der Fa. Arthrex osteosynthetisch stabilisiert: n=8 Studienpatienten (20%) erhielten die SuturePlate I, n=32 Studienpatienten (80%) erhielten die SuturePlate II. N=11 Frakturen (27,5%) konnten komplett ohne additives Osteosyntheseverfahren stabilisiert werden, eine zusätzliche Fixierung erfolgte in n=29 (72,8%) mittels Einzelschrauben und/oder Cerclagen. Eine protektive McLaughlin Schlinge wurde bei n=10 (25%) Studienpatienten eingesetzt.

Die Gesamtaufenthaltsdauer im Krankenhaus betrug im Durchschnitt n=8 Tage ( $\pm 5$ , 95% KI [6,47; 9,53]).

Fraktureigenschaften	n = 40
<b>Unfallmechanismus</b>	
Verkehrsunfall	11 (27,5%)
Arbeitsunfall	9 (22,5%)
Freizeit	18 (45%)
Sport	1 (2,5%)
Körperliche Auseinandersetzung	1 (2,5%)
<b>Offene Fraktur</b>	
Nein	36 (90%)
Ja	4 (10%)
<b>AO/OTA Klassifikation</b>	
C1	10 (25%)
C2	2 (5%)
C3	25 (62,5%)
<b>Polbeteiligung</b>	
Nein	32 (80%)
Distal	21 (52,5%)
Proximal	1 (2,5%)
<b>Begleitverletzungen</b>	
Nein	38 (95%)
Ja	2 (5%)
<b>Plattenart</b>	
SuturePlate I	8 (20%)
SuturePlate II	32 (80%)
<b>Zusätzliche Fixierung (Kombinationen mgl.)</b>	
Keine	11 (27,5%)
Schrauben	17 (42,5%)
Cerclage (FiberTape, FiberWire, K-Draht)	16 (40%)
McLaughlin (FiberTape, FiberWire)	10 (25%)
Krankenhausaufenthalt in Tagen	8 (±5)

**Tabelle 5: Fraktureigenschaften**

#### 4.4. Physiotherapie

Erfasst wurde außerdem die Anzahl an postoperativ durchgeführten Einheiten an physiotherapeutisch assistierter Beübung spezifisch für die betroffene untere Extremität. Nach sechs Monaten wurde eine durchschnittliche Anzahl an Physiotherapieeinheiten von  $n=35 (\pm 33)$  Einheiten berichtet. Eine Einheit entsprach der Regelbehandlungszeit von 20 min. Die Anzahl variierte stark zwischen einem Minimum von keiner Physiotherapie ( $n=0$ ) und einem Maximum an  $n=150$  Einheiten. Nach einem Jahr war eine durchschnittliche Anzahl an insgesamt Physiotherapieeinheiten seit Trauma von  $n=67 (\pm 64)$  mit ebenfalls stark variierender Anzahl von keiner Physiotherapie ( $n=0$ ) und maximal  $n=300$  Einheiten.

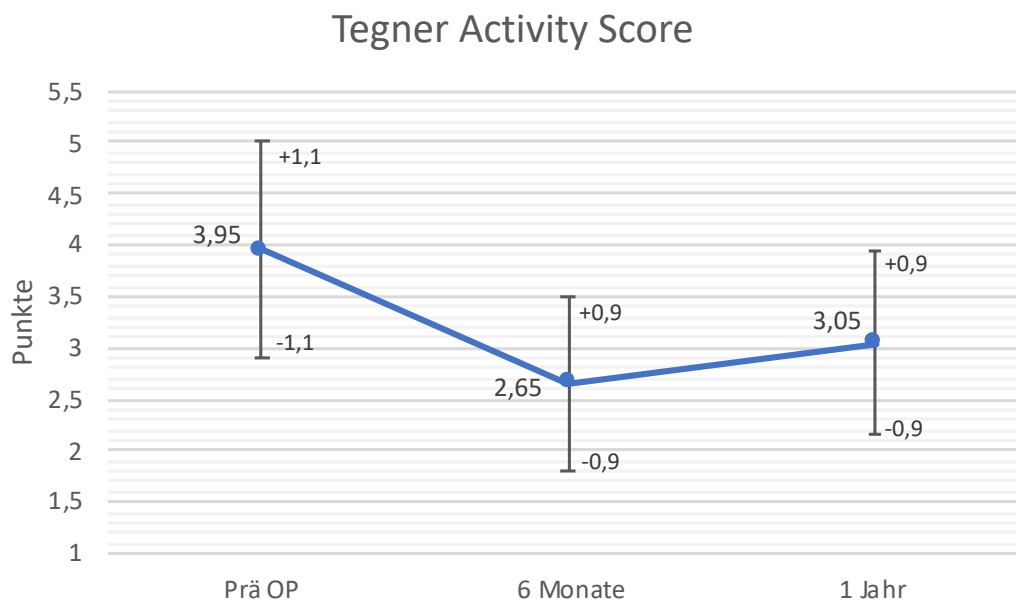
Anzahl Einheiten Physiotherapie	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-Abweichung
Nach einem Jahr	0	300	66,9	64,3
Nach sechs Monaten	0	150	34,9	33,5

**Tabelle 6: Anzahl Einheiten Physiotherapie**

## 4.5. Funktionelle Scores

### 4.5.1. Tegner Activity Score

Die Ergebnisse des Tegner Activity Scores wurden präoperativ, sowie sechs Monate und zwölf Monate postoperativ erfasst und ausgewertet. Präoperativ zeigte sich ein erreichter Punktwert von  $3,95 \pm 1,06$ . Nach sechs Monaten fiel das Aktivitätsniveau auf  $2,65 \pm 0,86$  Punkte, was einem signifikanten Rückgang von  $1,30 \pm 1,87$  entspricht ( $p < 0,001$ ). In der Befragung nach zwölf Monaten ergab sich jedoch ein wieder gesteigertes Aktivitätsniveau von  $3,05 \pm 0,9$  Punkten, der Tegner Activity Score verbesserte sich demnach bereits zwölf Monate postoperativ signifikant um  $0,40 \pm 0,16$  Punkte ( $p < 0,05$ ). Mit einem Unterschied von  $0,90 \pm 1,51$  Punkten unterschied sich der Tegner Activity Score zwölf Monate postoperativ von dem prätraumatischen Ergebnis noch signifikant ( $p < 0,001$ ). Nach einem Jahr konnten die Patienten ihr präoperatives Aktivitätslevel demnach noch nicht erreichen. Abbildung 8 zeigt die beschriebene Veränderung des Tegner Activity Score.



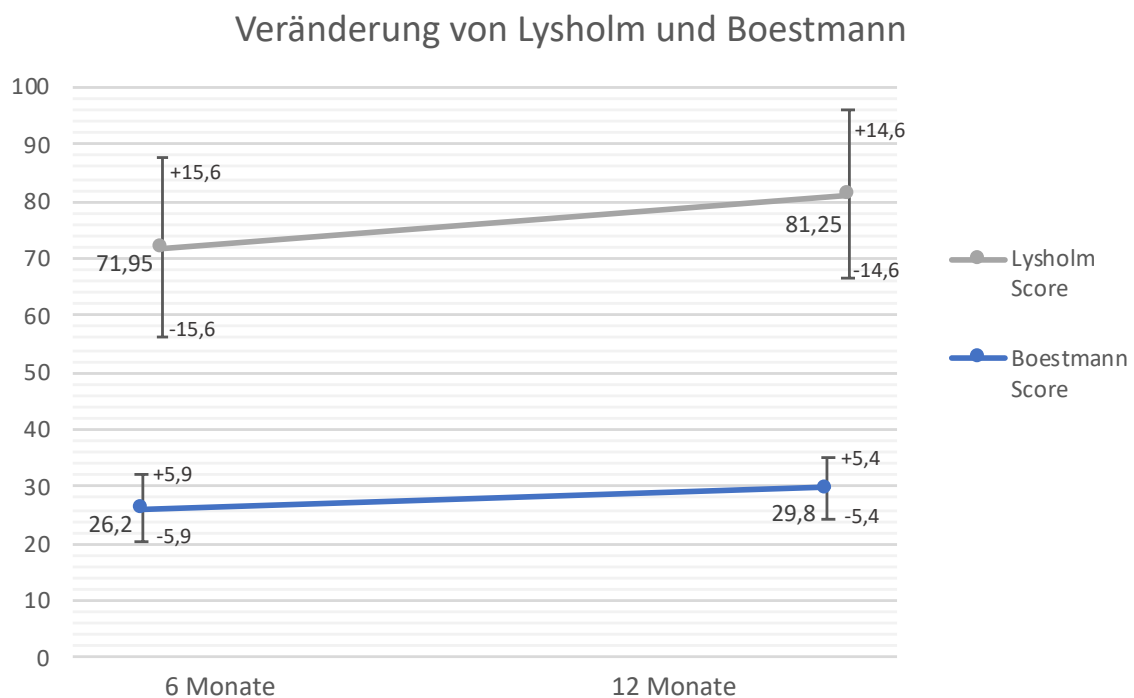
**Abbildung 8: Veränderung des Tegner Activity Score (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung).** Zwölf Monate nach Trauma konnte der durchschnittliche Punktwert in diesem Fragebogen zur Bewertung des Aktivitätsniveaus bereits auf 3,05 gesteigert werden. Damit wird das ursprüngliche präoperative Aktivitätsniveau von 3,95 Punkten noch nicht vollständig erreicht, eine Annäherung ist jedoch bereits zu verzeichnen.

#### 4.5.2. Lysholm Knee Scoring Scale

Maximal zu erreichen sind beim Lysholm Score 100 Punkte (vgl. Kapitel 3.6.1.). Die Ergebnisse des Lysholm Scores stiegen von  $71,95 \pm 15,59$  nach sechs Monaten auf  $81,25 \pm 14,58$  nach zwölf Monaten. Es wurde demnach ein signifikanter Anstieg von  $9,30 \pm 11,77$  Punkten im fortschreitenden Heilungsverlauf verzeichnet ( $p < 0,001$ ) (Abbildung 9).

#### 4.5.3. Böstman Score

Maximal zu erreichen sind im Böstman Score 30 Punkte (vgl. Kapitel 3.6.3.). Nach sechs Monaten erzielten die Teilnehmer eine Punktzahl von  $26,2 \pm 5,8$ , diese konnten im zwölf Monate-Follow-up (FU) auf  $29,8 \pm 5,3$  gesteigert werden. Die Ergebnisse lagen somit im guten (sechs Monate-FU) bis exzellenten (zwölf Monate-FU) Bereich. Es konnte sich im zeitlichen Verlauf demnach ein signifikanter Anstieg von  $3,6 \pm 5,3$  Punkten gezeigt werden ( $p < 0,001$ ) (Abbildung 9).

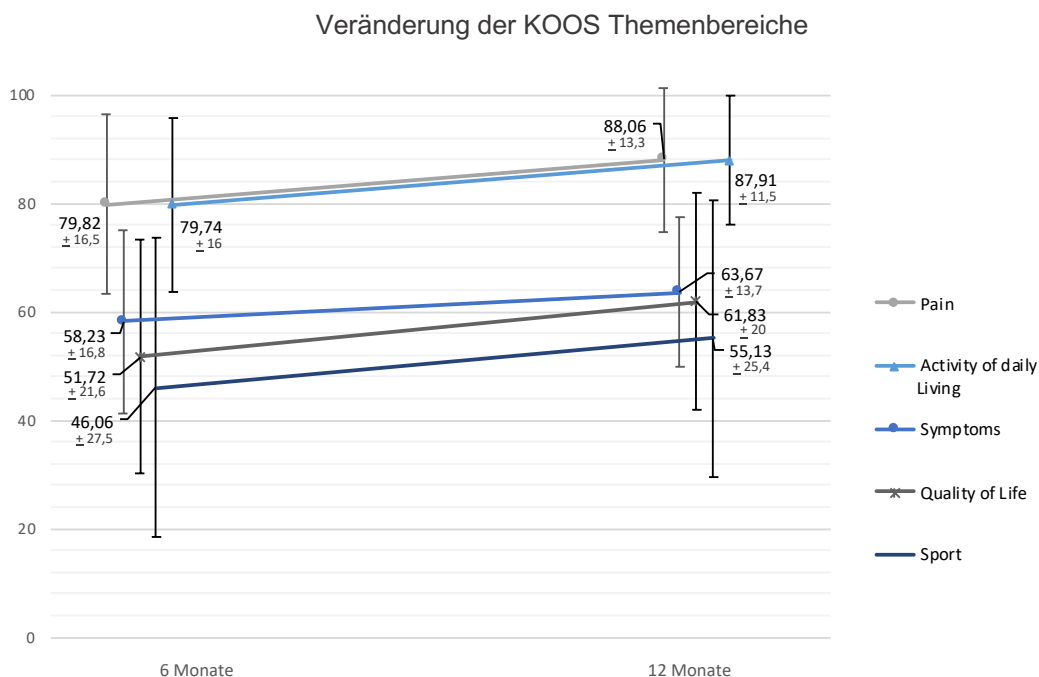


**Abbildung 9: Veränderung des Lysholm- und Böstman Scores (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung).** Der Lysholm Score (hellblau) konnte eine positive Entwicklung von sechs auf zwölf Monate nach Trauma zeigen, sodass von einer Verbesserung der Kniefunktion ausgegangen werden kann.

Der Böstmann Score (dunkelblau) konnte ebenfalls eine positive Entwicklung in ebendiesem zeitlichen Verlauf aufweisen, sodass sich das operative Gesamtergebnis im Bezug auf die Kniegelenkfunktion zunehmend bessert.

#### 4.5.4. Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score

Wie in Kapitel 3.6.2. beschrieben, erfolgte die Auswertung der fünf Subgruppen separat. Der Trend aller fünf Subgruppen war jedoch übereinstimmend. Alle Ergebnisse verbesserten sich im zeitlichen Verlauf von sechs auf zwölf Monate postoperativ signifikant ( $p < 0,05$ ). Die Ergebnisse des KOOS Symptoms Score stiegen von  $58,23 \pm 16,80$  nach sechs Monaten auf  $63,67 \pm 13,65$  nach zwölf Monaten, die Verbesserung des Scores betrug  $5,44 \pm 15,06$  Punkte. Im KOOS Pain Score konnten im Vergleich mit anderen KOOS-Subgruppen die besten Ergebnisse erzielt werden. Nach sechs Monaten konnten  $79,82 \pm 16,49$  Punkte erreicht werden, nach zwölf Monaten  $88,06 \pm 13,25$ , was einen Anstieg um  $8,24 \pm 12,31$  Punkte ergab. Auch die Ergebnisse des KOOS Activity of daily Living Score erzielten gute Ergebnisse mit  $79,74 \pm 15,96$  nach sechs Monaten und  $87,91 \pm 11,83$  nach zwölf Monaten. Es zeigte sich demnach ein Anstieg von  $7,26 \pm 13,62$ . Die Ergebnisse des KOOS Sport Score waren mit  $46,06 \pm 27,47$  Punkten nach sechs Monaten und  $55,13 \pm 25,43$  Punkten nach zwölf Monaten eher mittelmäßig mit einer starken Streuung der Ergebnisse. Insgesamt verbesserten sich jedoch die Ergebnisse im zeitlichen Verlauf deutlich um  $9,06 \pm 24,48$  Punkte. Besonders im KOOS QOL Score konnte im zeitlichen Verlauf eine enorme Verbesserung gezeigt werden. Die Ergebnisse stiegen von  $51,72 \pm 21,6$  nach sechs Monaten auf  $61,83 \pm 19,99$  nach zwölf Monaten, mit einem Anstieg von  $10,11 \pm 19,23$  Punkten.



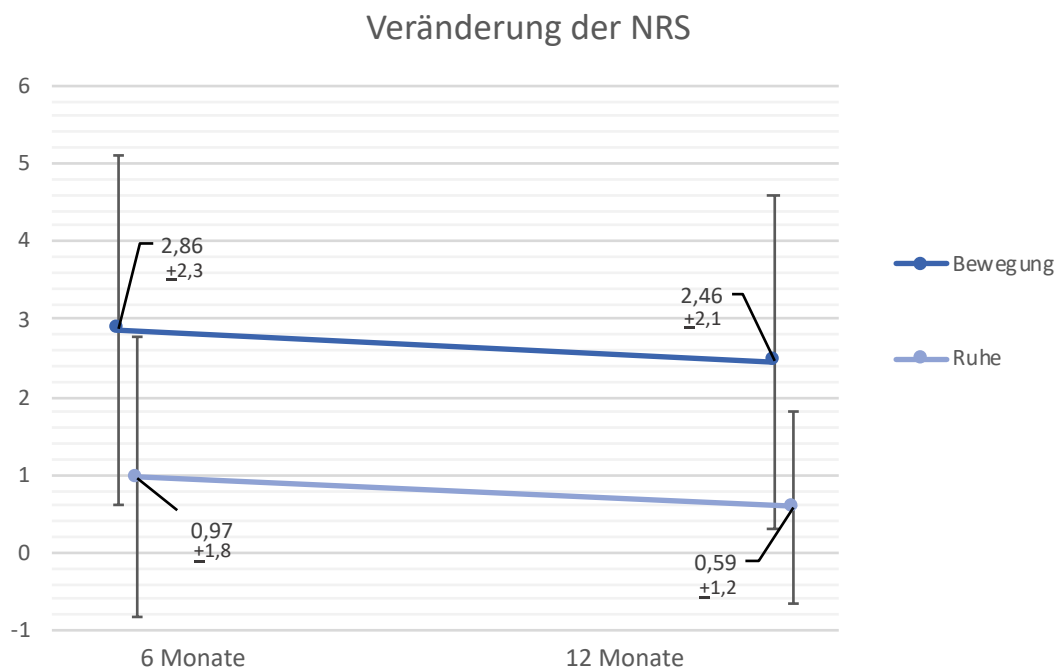
**Abbildung 10: Entwicklung der KOOS Sub-Scores (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung).** Dargestellt sind die fünf verschiedenen Subgruppen Symptoms, Pain, Activity of daily Living, Sport, Quality of Life. Alle Ergebnisse verbesserten sich im zeitlichen Verlauf von sechs auf zwölf Monate posttraumatisch signifikant ( $p < 0,05$ ).

#### 4.5.5. Numerische Analog-Skala Schmerz

Die Erfassung der Schmerzen im betroffenen Kniegelenk erfolgte für einen Gesamtüberblick sowohl in Ruhe als auch in Bewegung (vgl. Kapitel 3.6.4.).

Insgesamt wurde im Durchschnitt zu allen Nachuntersuchungszeitpunkten ein geringer Ruheschmerz berichtet. Nach sechs Monaten beschrieben die Studienteilnehmer eine Schmerzskala von  $0,97 \pm 1,81$  Punkten in Ruhe. Nach zwölf Monaten lag der Ruheschmerz nur noch bei  $0,59 \pm 1,24$  Punkten, diese Veränderung war nicht signifikant.

Der durchschnittliche Schmerz in Bewegung lag etwas höher als der Ruheschmerz. Der Bewegungsschmerz lag nach sechs Monaten bei  $2,86 \pm 2,25$  Punkten. Auch hier wurde im Ein-Jahres-Follow-up über weniger Schmerzen von  $2,46 \pm 2,14$  Punkten in Bewegung berichtet, jedoch ebenfalls ohne statistische Signifikanz.



**Abbildung 11: Veränderung der NRS (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung).** Sowohl in Ruhe als auch in Bewegung sanken die durchschnittlichen Punktwerte der NRS im zeitlichen Verlauf, sodass von einer Besserung der Schmerzen postoperativ in ausgegangen werden kann.

## 4.6. Einfluss patientenindividueller Faktoren auf die Entwicklung der funktionellen Scores

### 4.6.1. Alter

Betrachtet man einzelne patientenindividuelle Faktoren, welche die Entwicklung der funktionellen Scores beeinflussen könnten, zeigte sich, dass das Alter der Studienpatienten einen signifikanten Einfluss  $p < 0,001$  auf die Entwicklung des Tegner Activity Scores von präoperativ auf zwölf Monate hat. Ein zunehmendes Alter führte zu einer erhöhten Differenz zwischen präoperativem Aktivitätslevel und dem Aktivitätslevel nach einem Jahr um 0,028 (95% CI, 0,13 bis 0,44) Punkte.

Ein statistisch signifikanter Einfluss des Alters auf die Veränderung des KOOS-, Lysholm- und des Böstman Scores, sowie auf die Veränderung der NRS in Ruhe und Bewegung, und auf die Veränderung des Bewegungsausmaß (engl. Range of Motion, ROM) zeigte sich nicht.

### 4.6.2. Body Mass Index

Der präoperative BMI der Studienpatienten ergab einen signifikanten Einfluss  $p < 0,05$  in der Entwicklung des KOOS-Score Activity of daily Living von sechs auf zwölf Monate postoperativ. Ein zunehmender BMI führte zu einer erhöhten Differenz zwischen dem Aktivitätslevel nach sechs Monaten im Vergleich zu dem nach einem Jahr um 0,969 (95% CI, 0,063 bis 1,874) Punkte. Das heißt, dass mit steigendem BMI der Patienten das Aktivitätslevel postoperativ verzögert anstieg.

Der präoperative BMI der Patienten beeinflusste außerdem signifikant  $p < 0,05$  die Entwicklung der NRS in Bewegung von sechs auf zwölf Monate postoperativ. Ein zunehmender BMI führte zu einer geringeren Schmerzreduktion von sechs auf zwölf Monate nach Trauma um -0,159 (95% CI, -0,279 bis -0,4) Punkte. Somit zeigte sich mit steigendem BMI ist eine geringere Schmerzreduktion im postoperativen Verlauf.

### 4.6.3. Physiotherapie

Auch der Einfluss der Anzahl an kumulativen Physiotherapieeinheiten auf die Scores wurde analog zu Alter und BMI untersucht. Hier konnte jedoch kein signifikanter Einfluss festgestellt werden.

## 4.7. Körperliche Untersuchung

Wie in Kapitel 4.1 bereits erwähnt, gestaltete sich die Datenerfassung zur Zeit der COVID19 Pandemie erschwert. Vier Studienpatienten waren aufgrund der Corona-Schutzmaßnahmen zu mindestens einem Zeitpunkt der Datenerfassung nur zu einem Telefoninterview bereit. Aufgrund dessen konnte eine körperliche Untersuchung bei n=38 Studienteilnehmern nach sechs Monaten und bei n=37 Studienteilnehmern nach zwölf Monaten erfolgen. Vergleichbare Daten lagen demnach für n=36 von 40 Teilnehmern vor.

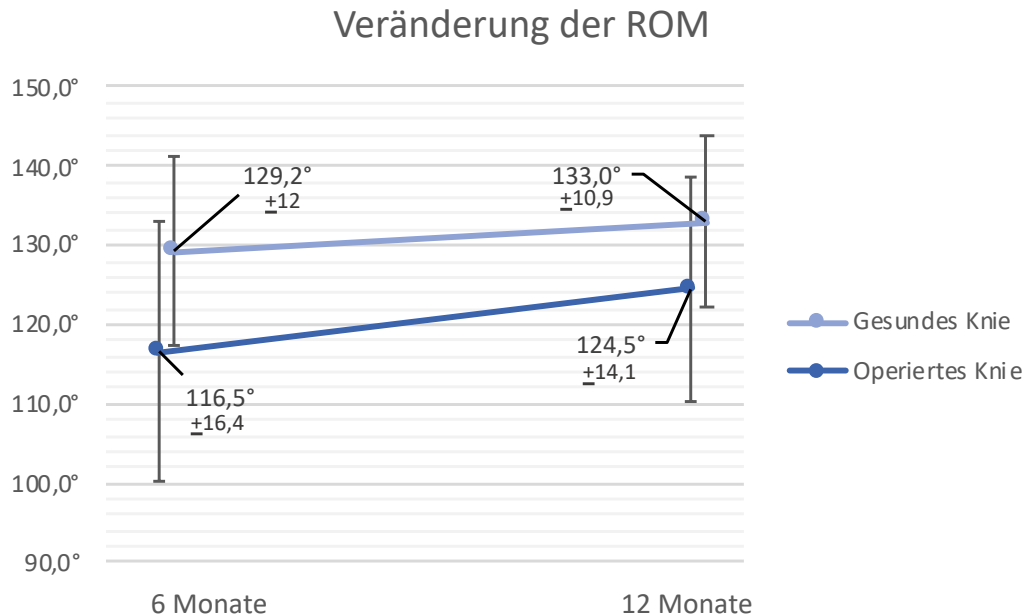
### 4.7.1. Range of Motion

In der körperlichen Untersuchung wurde sowohl sechs als auch zwölf Monate postoperativ das Bewegungsausmaß des gesunden und des operierten Kniegelenks erfasst.

Nach sechs Monaten zeigten n=5 Patienten (13,1%) ein Extensionsdefizit zwischen 5 und 15°, mittels intensiver Physiotherapie konnte das Defizit bei n=2 Patienten nach einem Jahr eliminiert werden. Bei n=3 Studienteilnehmern (8,1%) verblieb ein Extensionsdefizit zwischen 5-15°. N=37 der Patienten erreichten nach sechs Monaten eine aktive Beugung von über 90°, im Mittel lag die mögliche maximale Beugung bei  $117,16 \pm 15,42^\circ$ . Nach zwölf Monaten erreichten alle Patienten eine aktive Beugung über 90°, die mögliche maximale Beugung konnte auf  $125 \pm 14,12^\circ$  erweitert werden.

Nach sechs Monaten lag das mittlere Bewegungsausmaß des operierten Kniegelenks bei  $116,5 \pm 16,4^\circ$  und die des gesunden bei  $124,5 \pm 14,1^\circ$ . Nach einem Jahr konnte die mittlere ROM des operierten Knies auf  $129,3 \pm 12,2^\circ$  und die des gesunden auf  $133,0 \pm 10,9^\circ$  gesteigert werden. Betrachtet wurden im Anschluss sowohl der Zeit- als auch der Gruppeneffekt. Die mittlere ROM des operierten Kniegelenks verbesserte sich im Laufe der Zeit von sechs auf zwölf Monate signifikant ( $p < 0,001$ ) um im Mittel  $8^\circ$  [ $3,5^\circ - 12,5^\circ$ ]. Die mittlere ROM des gesunden Kniegelenks veränderte sich in diesem Zeitraum hingegen nicht signifikant ( $p = 0,62$ ) um im Mittel  $3,7^\circ$  [ $-0,2^\circ - 7,6^\circ$ ]. Im Gruppenvergleich war nach sechs Monaten die mittlere ROM des operierten Knies im Vergleich zur ROM des gesunden Kniegelenks um  $13,2^\circ$  [ $9,4^\circ - 17,1^\circ$ ] niedriger, ein Unterschied, der statistisch signifikant war ( $p < 0,001$ ). Auch nach einem Jahr war die mittlere ROM des operierten Knies im Vergleich zum gesunden Knie mit  $8,0^\circ$  [ $4,2^\circ - 11,8^\circ$ ] noch signifikant niedriger ( $p < 0,001$ ).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass auch zwölf Monate nach Trauma das verletzte Kniegelenk noch nicht das Bewegungsausmaß des gesunden Kniegelenks erreichen konnte, die Differenz war jedoch im zeitlichen Verlauf kleiner.



**Abbildung 12: Veränderung der ROM (Mittelwerte ± Standardabweichung).** Die ROM des nach Patellafraktur operierten Knies verbesserte sich im zeitlichen Verlauf deutlich, jedoch kann auch zwölf Monate nach Trauma noch nicht das Bewegungsausmaß des unverletzten Kniegelenks erreicht werden.

#### 4.7.2. Distale Polschmerzen und Verwendung der Hakenplatte

In der Gruppe der Plattenosteosynthese gaben insgesamt n=17 Studienpatienten (42,5%) distale Polschmerzen sechs Monate nach erfolgter Plattenosteosynthese an. Die Hakenplatte (SuturePlate II) wurde 32-mal (80%) verwendet, die Platte ohne Haken (SuturePlate I) wurde achtmal (20%) verwendet. In der mittels SuturePlate II stabilisierten Gruppe gaben n=13 Studienteilnehmer Schmerzen über dem distalen Pol an (40,6%), in der mittels SuturePlate I stabilisierten Gruppe haben n=4 Studienteilnehmer Schmerzen über dem distalen Pol angegeben (50%). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,702$ ) zwischen Patienten mit Hakenplatte und Patienten ohne Hakenplatte bzgl. der distalen Polschmerzen.

#### 4.8. Materialentfernung

Von n=40 Studienteilnehmern wurde im Nachbeobachtungszeitraum der Datenerhebung für diese Arbeit bei insgesamt n=12 (30%) das Material entfernt. Bei n=3 (10%) Studienpatienten erfolgte die Materialentfernung aufgrund von Komplikationen verfrüht innerhalb des ersten Monats nach Implantation ( $0,67 \pm 0,58$  Monate). In n=9 Fällen

(20%) erfolgte nach  $9,89 \pm 4,75$  Monaten und vollständiger knöcherner Konsolidierung der Patellafraktur aufgrund von Patientenwunsch eine Materialentfernung. Gründe waren häufig das subjektive Stören der Platte, „Wetterfühligkeit“ oder ein Fremdkörpergefühl. Dies wurde nicht als Komplikation gewertet.

#### 4.9. Komplikationen

Komplikationen wurden in n=3 Fällen (7,5%) beobachtet. In einem Fall kam es nach einem Monat zu einer Fragmentdislokation, wobei kein adäquates Trauma anamnestisch erhoben werden konnte, sodass die Ursache als atraumatisch gewertet wurde. Es erfolgten zunächst die Entfernung des einliegenden Osteosynthesematerials, dann eine Reosteosynthese mittels SuturePlate sowie eine Verstärkung dieser durch Einzelschrauben und eine Sicherung mittels McLaughlin Cerclage. Zwei Studienteilnehmer zogen sich aufgrund eines Sturzes sechs Tage und einen Monat postoperativ eine erneute Patellafraktur zu, welche nach vollständiger Entfernung des einliegenden Osteosynthesematerials anschließend eine Reosteosynthese mittels winkelstabiler Platte (SuturePlate II) und eine Verstärkung durch weitere Schrauben und Cerclagen erhielten.

In der weiteren statistischen Analyse wurde mittels Bootstrapping der Zusammenhang von patientenindividuellen Faktoren (Alter und BMI) auf das Auftreten von Komplikationen untersucht. Das mediane Alter lag bei Patienten ohne Komplikationen bei 59 Jahren (BCa 95%-KI: 54 - 62,5), während es bei Patienten mit Komplikationen bei 58 Jahren lag (BCa 95%-KI: 54 - 70). Der mediane BMI bei OP lag bei Patienten ohne Komplikationen bei 23,6 (BCa 95%-KI: 22,6 – 25,3) und bei Patienten mit Komplikationen bei 26 (BCa 95%-KI: 20,8- 33,4). Die Bootstrapping-Analyse ergab keinen signifikanten Unterschied, da sich die Konfidenzintervalle in beiden Gruppen (Alter und BMI) überlappen. Somit konnte kein Zusammenhang zwischen Alter bzw. BMI und dem Auftreten von Komplikationen festgestellt werden. Im Fishers Exact Test hatten sowohl Geschlecht ( $p=0,596$ ), sowie das Rauchverhalten ( $p=0,394$ ) oder der Alkoholkonsum ( $p=1$ ) keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von Komplikationen.

## 5. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Auswertung der Ein-Jahres-Ergebnisse von n=40 Studienpatienten mit AO/OTA 34-C Patellafrakturen, welche mit einer winkelstabilen Platte (SuturePlate, Firma Arthrex, FL) operativ stabilisiert worden sind.

Ein besonderer Fokus in dieser Arbeit lag auf den Ergebnissen der funktionellen Scores und deren Veränderung zu verschiedenen Nachuntersuchungszeitpunkten. Eine Herausforderung bestand darin, dass Patellafrakturen eine geringe Inzidenz aufweisen, sodass bislang eine Vergleichbarkeit auch aufgrund geringer Fallzahlen in anderen Studien erheblich erschwert war. Demnach erfolgte die Erfassung mehrerer Scores und vieler patientenindividueller Faktoren, um die Vergleichbarkeit mit anderen Studienergebnissen zu ermöglichen und auch Limitationen anzuerkennen.

### 5.1. Patientenindividuelle Faktoren

Im ausgewerteten Teilnehmerkollektiv zeigten sich je nach Geschlecht zwei Altersgipfel: Frauen waren durchschnittlich  $66,43 \pm 13,41$  Jahre alt bei Patellafraktur, Männer waren mit  $47,74 \pm 14,06$  Jahren deutlich jünger. Das geschlechtsunspezifische Durchschnittsalter lag bei  $57,55 \pm 16,8$  Jahren, mit annähernd ausgeglichener Geschlechterverteilung. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit epidemiologischen Studien zu Patellafrakturen in der Literatur. Boström fand bereits 1972 heraus, dass Frauen, die eine Patellafraktur erleiden, durchschnittlich älter und Männer durchschnittlich jünger sind (Boström, 1972). In einer aktuelleren Studie von Larsen et al. nach Auswertung von 756 Patellafrakturen wurde ebenfalls das durchschnittliche Alter für Männer von 46 Jahren und für Frauen von 61 Jahren genannt (Larsen et al., 2016). Analog zu hüftgelenknahen Frakturen oder Radiusfrakturen gilt die Patellafraktur zum einen als Fragilitätsfraktur der Frau im höheren Alter unter anderem bedingt durch Osteoporose, aber auch als häufige Folge von Hochrasanz-Traumata oder Sportunfällen vor allem bei (jüngeren) Männern (Bengnér et al., 1986, Larsen et al., 2016).

Nicht nur die Betrachtung des Alters, auch die klassifizierende Beurteilung der Frakturintensität ist besonders wichtig, da sie maßgebend für die Art der Stabilisierung und für die Vergleichbarkeit der klinischen und funktionellen Ergebnisse ist. Das postoperative Outcome nach plattenosteosynthetischer Stabilisierung ist bei einfachen Frakturmorphologien entsprechend besser, da eine anatomiegerechte Reposition und osteosynthetische Stabilisierung in der Regel einfacher zu erreichen ist. Das

Frakturkollektiv der vorliegenden Studie bestand aus 65% AO/OTA 34-C3, 10% -C2 und 25% -C1-Frakturen; die komplexe und chirurgisch herausforderndste Trümmerfraktur war demnach mit Abstand die häufigste Fraktorentität. Ellwein et al. inkludierten in ihren Studien 2017 und 2019 ein ähnlich verteiltes Frakturkollektiv. Andere Arbeiten berichteten jedoch gar nicht über die untersuchten Fraktorentitäten (LeBrun et al., 2012, Wurm et al., 2018), oder schlossen auch vermehrt AO/OTA 34-A und -B Frakturen in die Untersuchung ein (Jang et al., 2019). Dies gilt beim Vergleich mit ähnlichen Studien zu beachten. Gleiches gilt für den Einschluss offener Frakturen oder beim Einschluss von Patienten mit Begleitverletzungen an der gleichen Extremität. Die vorliegende Arbeit beinhaltet sowohl offene Frakturen (10%) als auch Patienten mit Begleitverletzungen (5%), welche die operative Stabilisierung und die frühe funktionelle Nachbehandlung erschweren können.

Auch supportive osteosynthetische Verfahren wurden im Rahmen dieser Studie erfasst. Um das Ergebnis der Osteosynthese zu schützen und das Risiko einer sekundären Dislokation insbesondere von distalen Polfragmenten zu reduzieren, wird in der aktuellen Literatur der Einsatz der McLaughlin Cerclage diskutiert. In dieser Studie wurde eine McLaughlin Cerclage nicht standardmäßig eingesetzt und erfolgte bei n=10 (25%) Studienpatienten. Besonders in Flexion muss die Osteosynthese hoher Last standhalten. Der distale Pol ist bei Patellafrakturen mit bis zu 88% häufig betroffen und kann insbesondere bei geringer Compliance oder osteoporotischem Knochen trotz Verwendung der SuturePlate II ungenügend stabilisiert sein (Lazaro et al., 2013a). Im Rahmen der vorliegenden Studie war der distale Pol in über 50% der Fälle betroffen und eine manifeste Osteoporose war in 15% der Fälle vorhanden. Jedoch wurde das Vorhandensein einer Osteoporose anamnestisch erfasst und nicht mittels DXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry, dt. Dual-Röntgen-Absorptiometrie) untersucht, sodass möglicherweise eine Unterschätzung der Prävalenz einer Osteoporose vorlag. Der Einfluss der McLaughlin Cerclage auf das funktionelle Outcome und den Erfolg der Osteosynthese wird in der aktuellen Literatur diskutiert, um durch Verwendung der McLaughlin Cerclage möglicherweise eine höhere biomechanische Belastbarkeit der Osteosynthese zu erzielen (Ahrberg und Josten, 2007, Krause et al., 2023). Alternativ zur klassischen Draht-Cerclage kann auch ein reißfestes Fadenmaterial verwendet werden.

Die Anzahl der postoperativ durchgeführten Physiotherapie-Einheiten zeigte ein heterogenes Bild mit großen Standardabweichungen. Der Mittelwert nach einem Jahr lag

bei ca.  $n=67$  ( $\pm 64$ , Range 0-300) Einheiten Physiotherapie, dabei erhielten einige Studienteilnehmer keine Physiotherapie oder bis zu  $n=300$  Einheiten. Dies könnte dadurch begründet sein, dass die Verordnung von Physiotherapieeinheiten sehr abhängig vom Versicherungsstatus (Private Krankenversicherung, Berufsgenossenschaft, gesetzliche Krankenkasse) ist und sich nicht am Bedarf des Patienten orientiert. Dies zeigten auch Laliberte et al. in einer Studie aus 2017, in der Physiotherapeuten in fiktiven Szenarien berufsgenossenschaftlich versicherte Patienten deutlich häufiger für eine Behandlung planten als privat- oder gesetzlich versicherte Patienten (Laliberté et al., 2017). In der Erfassung der Physiotherapie lag außerdem ein gewisser Recall Bias, da die Studienteilnehmer jeweils über die Anzahl an Physiotherapieeinheiten im letzten halben Jahr befragt wurden.

## 5.2. Funktionelle Scores

### 5.2.1. Tegner Activity Score

Der Tegner Activity Score wurde sowohl präoperativ ( $3,95 \pm 1,06$ ), als auch sechs ( $2,65 \pm 0,86$ ) und zwölf Monate ( $3,05 \pm 0,9$ ) postoperativ erfasst. Im zeitlichen Verlauf war sowohl ein signifikanter Abfall in den ersten sechs Monaten postoperativ zu erkennen, als auch ein signifikanter Anstieg nach zwölf Monaten. Das prätraumatische Fitnesslevel konnte nach zwölf Monaten zwar noch nicht erreicht werden, eine zunehmende Verbesserung des Tegner Activity Scores wurde jedoch beobachtet. Hier zeigte besonders das Patientenalter einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Scores. Je höher das Alter der Studienpatienten, desto höher war die Differenz des präoperativen Aktivitätslevels und dem Aktivitätslevel nach einem Jahr. Folglich fiel es den Patienten mit steigendem Alter schwerer das präoperative Aktivitätslevel wieder zu erreichen.

Betrachtet man vergleichbare Studien, so zeigen sich ähnliche Ergebnisse. Ellwein et al. veröffentlichten jeweils zwei Studien nach plattenosteosynthetischer Stabilisierung mittels Star- oder Arrowplate von größtenteils AO/OTA 34-C Patellafrakturen. Sechs Monate postoperativ wurde in dem Patientenkollektiv von  $n=17$  ein Tegner-Score von 3,5 bei einem Ausgangswert von 4 erreicht (Ellwein et al., 2017). In einem Patientenkollektiv mit vergleichbarem Durchschnittsalter der Teilnehmer (59,2 Jahre) betrug der Tegner-Score 3,7 nach zwölf Monaten bei einem Ausgangswert von 4,1. Eine ähnliche Differenz der prä- und postoperativen Werte berichteten Wild et al. nach Stabilisierung

von 20 AO/OTA 34-C Frakturen mit Hilfe der winkelstabilen Königsseeplatte (Fa. Königssee Implantate GmbH, Allendorf, Thüringen, Deutschland). Präoperativ wurde ein Tegner-Score von 4,3 festgestellt, welcher zwölf Monate postoperativ bei 3,7 lag (Wild et al., 2016). In einer retrospektiven Studie in der 50 Patellafrakturen (6 Polabrissfrakturen, 38 Quer- und 6 Trümmerfrakturen) mittels Zuggurtungsosteosynthese stabilisiert wurden, zeigte sich noch immer ein verbliebenes Defizit des Tegner-Scores nach durchschnittlich 4,2 Jahren von 0,83 Punkten (Wild et al., 2008). Trotz der in der genannten Studie weniger schwerwiegenden Frakturmorphologien mit vor allem AO/OTA 34-B Frakturen verblieb demnach ein Aktivitätsdefizit. Zum Vergleich: In der vorliegenden Arbeit zeigte sich nach winkelstabiler Plattenosteosynthese zwölf Monate postoperativ nur noch eine verbliebene Differenz im Tegner-Score von 0,9 Punkten mit bereits signifikanter Verbesserung zu den postoperativen Werten nach sechs Monaten. Dies mag darin begründet liegen, dass eine Plattenosteosynthese eine deutlich höhere biomechanische Stabilität aufweist und somit ein übungsstabiles Nachbehandlungsschema ermöglicht. Wild et al. berichteten in ihrer Studie nicht über das angewandte Nachbehandlungsschema, jedoch ist davon auszugehen, dass aufgrund der deutlich geringeren Stabilität der K-Draht-Osteosynthese eine erheblich längere Ruhigstellung ohne aktive Beübung und Belastung des betroffenen Kniegelenks notwendig gewesen ist, um eine Frakturheilung zu ermöglichen. Bei Verwendung der Plattenosteosynthese wird die Belastung der betroffenen Extremität in Extension, sowie die aktive Beübung direkt postoperativ freigegeben. Lediglich die Beugung wird häufig für sechs Wochen graduiert limitiert. Dieses progressive Rehabilitationsprotokoll erwirkt eine deutlich schnellere Rückkehr zum alten Aktivitätslevel. Auch das Vorliegen von nur leichten Schmerzen in Bewegung (NRS= 2,46) nach einem Jahr, sowie wenigen Komplikationen im Vergleich zu Wild et al. begünstigen die frühe Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten (s. Kapitel 5.5).

Insgesamt könnte sich eine Überlegenheit der winkelstabilen Plattenosteosynthese gegenüber der Zuggurtungsosteosynthese in Bezug auf das allgemeine Aktivitätslevel der Patienten zeigen, da nach Plattenosteosynthese eine frühzeitigere Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten vor allem aufgrund der frühfunktionellen Beübung und Belastung ermöglichen könnte. Die vorliegende Studie zeigt, dass das präoperative Aktivitätslevel nach einem Jahr noch nicht vollständig erreicht werden kann, jedoch zeigt sich im postoperativen Verlauf eine signifikante Verbesserung des Aktivitätslevels.

### 5.2.2. Lysholm Knee Scorings Scale

Auch der Lysholm Score verbesserte sich im zeitlichen Verlauf von sechs auf zwölf Monate signifikant. Die Werte für Kniefunktion und Alltags- sowie Sportbeschwerden lagen nach sechs und zwölf Monaten mit  $71,95 \pm 15,59$  und  $81,25 \pm 14,58$  im „befriedigenden“ Bereich und verzeichneten somit innerhalb von sechs Monaten eine signifikante Verbesserung von rund 10 Punkten. Auffallend war im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien, dass die Werte des Lysholm Scores in dieser Arbeit geringfügig niedriger waren. Ellwein et al. berichteten nach Plattenosteosynthese mittels Star-Plate beispielsweise über einen Lysholm Score von durchschnittlich 92 nach sechs Monaten bei  $n=17$  Studienteilnehmern (Ellwein et al., 2017). Buschbeck et al. zeigten wiederum einen Lysholm Score von 84,7 Punkten nach einer durchschnittlichen Nachuntersuchungszeit von 19 Monaten nach Plattenosteosynthese (Buschbeck et al., 2022). Insgesamt werden in der Literatur sehr verschiedene Ergebnisse von 85-95 Punkten nach Plattenosteosynthese berichtet (Buschbeck et al., 2022, Tengler et al., 2021, Gao et al., 2018, Jang et al., 2019). In der Literatur zeigen die Ergebnisse des Lysholm Scores nach Zuggurtungsosteosynthese etwas niedrigere Werte von 80 bis 91 Punkten (Wild et al., 2008, Huang et al., 2023). Die geringfügig niedrigeren Ergebnisse des Lysholm Scores in dieser Arbeit könnten mehrere Ursachen haben: Bereits in der Erstpublikation des Lysholm-Knee-Scores beschrieben die Autoren den Fragebogen als ein Instrument zur Erfassung der Knieinstabilität bei jungen, dynamischen Sportlern (Lysholm und Gillquist, 1982). Tegner et al. zeigten kurz darauf den Zusammenhang zwischen Aktivitätslevel (gemessen am Tegner Activity Score) und dem Ergebnis des Lysholm Scores. Je niedriger das Aktivitätslevel, desto geringer war das Ergebnis im Lysholm Score (Tegner und Lysholm, 1985). Betrachtet man die Ergebnisse dieser Arbeit, bestätigt sich das Genannte. Im Vergleich zur oben beschriebenen Literatur war der erfasste präoperative Absolutwert des Tegner Activity Scores in der vorliegenden Arbeit geringfügig niedriger mit jedoch gleichen Differenzen nach sechs und zwölf Monaten. Dies könnte eine Erklärung für die vergleichsweise niedrigeren Lysholm Ergebnisse dieser Arbeit sein. Die Ursache im Zusammenhang zwischen niedrigem Aktivitätslevel und einem niedrigen Lysholm Score kann darin begründet sein, dass bei niedrigem Aktivitätslevel die knieumgreifende Muskulatur als Stabilitätsgeber fehlt und somit eine Instabilität entsteht, welche im Fokus des Lysholm Score steht und zu eher mittelmäßigen Ergebnissen führt. Darüber hinaus zeigten sich in der vorliegenden Arbeit moderate Ausreißer: Ein Patient mit spinaler Muskelatrophie Typ

3B berichtete über ausgeprägte Schwierigkeiten bezüglich Kniegelenkstabilität und eine große Beeinträchtigung beim Treppensteigen. Auf Nachfrage wurde jedoch angegeben, dass diese Problematik beidseits und bereits präoperativ aufgrund der ausgeprägten Muskelschwäche bestand. Zwei weitere Ausreißer zeigten keine auffälligen Besonderheiten. Sie zeigten weder eine Abweichung vom Normgewicht, waren nicht vorerkrankt, berichteten über eine durchschnittliche sportliche Aktivität im Tegner-Activity Score und über eine mittlere Anzahl an physiotherapeutischen Einheiten. Prospektiv scheinen beide Patientinnen das initiale Defizit im Lysholm Score wieder zu kompensieren: nach zwei Jahren erreichten sie jeweils 93 Punkte. Insgesamt hatten die beschriebenen Ausreißer keinen relevanten Einfluss auf die Mittelwerte nach sechs und zwölf Monaten. Nach Ausschluss dieser Fälle zeigten sich lediglich marginale Veränderungen der Mittelwerte (sechs Monate  $73,59 \pm 14,93$ , zwölf Monate  $84,14 \pm 10,69$ ), sodass Ausreißer nicht als Ursache für die insgesamt niedrigeren Mittelwerte in Betracht gezogen wurden.

### 5.2.3. Böstman Score

Beim Böstman Score (max. 30 Punkte), welcher subjektive und objektive postoperative Befunde zusammenfasst, stieg das Ergebnis um 3,6 Punkte signifikant aus dem zunächst „guten“ Bereich nach sechs Monaten ( $26,2 \pm 5,8$ ) in den „exzellenten“ Bereich nach zwölf Monaten ( $29,8 \pm 5,3$ ). Huang et al. berichteten nach K-Draht Osteosynthese von 75 AO/OTA 34-C Frakturen über einen Böstman Score von 27 nach maximal zwölf Monaten (Huang et al., 2023). Mao et al. sowie Sun et al. berichteten ebenfalls über einen Böstman Score von 27,8 – 28,7 nach Zuggurtungsosteosynthese von sowohl einfachen AO/OTA 34-C1 als auch mehrfragmentären AO/OTA 34-C2/3 Frakturen (Mao et al., 2013, Sun et al., 2019). Nach Osteosynthese mittels verschiedener winkelstabiler Platten erreichten die Patienten einen Böstman-Score von 27,4 (Fa. Königsee Implantate GmbH, Allendorf, Thüringen, Deutschland, Wild et al., 2016), 27,2 (Fa. DePuy Synthes, Warsaw, Indiana, USA, Singer et al. 2017) und 26,4 (Fa. Waston Medical, Changzhou, China, Gao et al., 2018).

Die Ergebnisse des Böstman Scores der vorliegenden Studie sind somit sowohl den Ergebnissen nach Zuggurtung, als auch denen nach anteriorer Plattenosteosynthese mittels verschiedener Implantate überlegen. Sie lagen bereits zwölf Monate postoperativ im exzellenten Bereich.

#### 5.2.4. Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score

Die Ergebnisse des KOOS-Scores stiegen ebenfalls in allen fünf Subgruppen im zeitlichen Verlauf signifikant an. Im Fragenteil bezüglich Schmerzen in verschiedenen Lebenslagen wurden nach sechs Monaten Ergebnisse mit  $58,23 \pm 16,8$  Punkten und nach zwölf Monaten mit  $63,67 \pm 13,65$  Punkten erzielt. Bezüglich der möglichen Teilnahme am täglichen Leben (Activity of daily living) lagen noch höhere Punktwerte vor ( $79,74 \pm 15,96$  nach sechs Monaten und  $87,91 \pm 11,83$  nach zwölf Monaten). Vor allem die Lebensqualität (Quality of Life) steigerte sich im zeitlichen Verlauf nach zwölf Monaten deutlich auf 61 Punkte von einer ursprünglich niedrigen Punktzahl von 51 Punkten nach sechs Monaten. Auch die berichteten Symptome lagen in einem eher mittelmäßigen Bereich von 58 Punkten nach sechs Monaten, stiegen jedoch auf 63 Punkte nach zwölf Monaten. Besonders unterschiedlich berichteten die Teilnehmer über die Beschwerden im sportlichen Bereich. Hier war eine starke Streuung von ca. 25-27 Punkten um die Ergebnisse nach sechs ( $46,06 \pm 27,47$ ) und zwölf Monaten ( $55,13 \pm 25,43$ ) zu beobachten. In einer vergleichbaren Studie erhoben LeBrun et al. ebenfalls klinische Ergebnisse nach modifizierter Zuggurtung von n=15 Patienten mittels dem KOOS Score. Folgende Werte wurden berichtet: Schmerzen 62%, Symptome 65%, ADL 67 %, Sport 44 % und QOL 44 %. Insgesamt waren die Ergebnisse nach Plattenosteosynthese in der vorliegenden Studie in fast allen Subgruppen denen von LeBrun et al. überlegen (Schmerzen 63%, Symptome 63%, ADL 87,9 %, Sport 55 % und QOL 61 %). Lediglich in der Subgruppe Symptome war kein deutlicher Unterschied zur Zuggurtungsosteosynthese, zumindest abgebildet im KOOS Score zu erkennen. Dies mag daran liegen, dass LeBrun et al. im Durchschnitt nach 6,5 Jahren postoperativ den KOOS Score erhoben haben. In der vorliegenden Arbeit verbesserte sich der KOOS Symptoms Score im zeitlichen Verlauf, eine weitere Verbesserung ist demnach anzunehmen. Zudem erfolgte bei LeBrun et al. keine Zuggurtungsosteosynthese bei besonders komplizierten mehrfragmentären Brüchen, stattdessen wurde eine partielle Patellektomie durchgeführt. Auch die Ergebnisse der Patienten mit partieller Patellektomie sind in der Gesamtauswertung enthalten (LeBrun et al., 2012). Dies bestätigt die erschwerte Vergleichbarkeit von Zuggurtungsosteosynthese und Plattenosteosynthese in Bezug auf ihre verschiedenen Indikationen. Andere Studien berichten nach Zuggurtungsosteosynthese sogar über Symptome und Einschränkungen von bis zu 70% (Levack et al., 1985).

Trotz vermehrt berichteter Symptome im Rahmen der vorliegenden Arbeit scheint eine

hohe Aktivität im täglichen Leben bereits frühzeitig möglich zu sein. Nach bereits zwölf Monaten wurde ein ADL-Score von 87,9% erzielt. Vergleichbare Studien berichten nach Plattenosteosynthese der Patella bei einem Follow-up zwischen zwölf und 38 Monaten von einem ADL-Score zwischen 77-84% (Lorich et al., 2015, Wurm et al., 2018, Siljander et al., 2018). Der BMI der Studienteilnehmer wurde in den genannten Studien nicht berichtet. In dieser Arbeit konnte ein bedeutender Einfluss des BMI auf die Entwicklung des ADL-Scores gezeigt werden: Mit zunehmendem BMI nahm die Teilnahme am täglichen Leben im postoperativen zeitlichen Verlauf nur verzögert zu. Nach zwölf Monaten war bei hohem BMI der Studienpatienten demnach ein geringeres Aktivitätslevel erreicht als bei niedrigem BMI. Der BMI sollte in zukünftigen Studien erfasst und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Zusammenfassend sind die insgesamt guten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in fast allen Subgruppen des KOOS-Scores denen der Zuggurtungsosteosynthese überlegen. Lediglich in der symptombezogenen Subgruppe zeigte sich kaum ein Unterschied zur Zuggurtung.

#### 5.2.5. Numerische Rating Skala und distale Polschmerzen

Schmerzen im vorderen Kniebereich sind ein häufiges Symptom nach Patellafrakturen, unabhängig davon, ob diese operativ oder konservativ behandelt werden. Der Schmerz ist oft am stärksten, wenn der Streckmechanismus aktiviert wird, während das Knie gebeugt ist. Nach einer Patellafraktur kann sich ein Kreislauf entwickeln, der die Rehabilitation des Quadrizepsmuskels einschränkt: Ein atropher und schwacher Quadrizeps kann zu einer Fehlstellung der Kniescheibe mit erhöhter Gelenkbelastung führen, sodass Schmerzen zunehmen und darauffolgend die Beübung des Kniegelenks reduziert wird. Dies führt zu Muskelatrophie zunächst des M. vastus medialis obliquus, der für die Stabilisierung der Patellabewegung entscheidend ist. Das Auftreten von Schmerzen ist demnach nicht nur als Symptom der Patienten relevant, Schmerzen können eine frühzeitige Rehabilitation verhindern, sodass Muskelatrophie, ein eingeschränktes Bewegungsausmaß, Maltracking der Patella mit Förderung der Retropatellararthrose folgen.

Bei der Erfassung der NRS Schmerzskala (max. 10) in Ruhe und in Bewegung lag der Durchschnittswert in der vorliegenden Studie allzeit unter 3, sodass die Schmerzen sowohl in Ruhe als auch in Bewegung als „leicht“ zu werten waren. Vor allem in Ruhe bestanden mit einer NRS von 0,59 ein Jahr postoperativ kaum noch Schmerzen. In Bewegung wurden leichte Schmerzen von durchschnittlich 2,46 nach zwölf Monaten

angegeben. Je höher der BMI, desto geringer fiel die weitere Schmerzreduktion im postoperativen zeitlichen Verlauf aus. Wild et al. berichteten in einer retrospektiven Studie nach 50 Zuggurtungen von sowohl isolierten Polabrissen als auch Quer- und Trümmerfrakturen nach einem durchschnittlichen Follow-up von 4,2 Jahren über noch bestehende Schmerzen von 1,5 Punkten auf der NRS. Allerdings ohne Differenzierung zwischen Schmerzen in Ruhe oder bei Belastung (Wild et al., 2008). Auch Tan et al. berichteten in einer Fallkontrollstudie über moderate Schmerzen bei 31% der mittels Zuggurtung stabilisierten Patellafrakturen. 7% beklagten sogar Schmerzen während täglicher Aktivität (Tan et al., 2016). Ellwein et al. sowie Wild et al. untersuchten Schmerzen nach plattenosteosynthetischer Stabilisierung ein und sechs Jahre postoperativ. Hier ergaben sich Werte von 0,7-1,6 auf der NRS. Der BMI der untersuchten Patienten wurde jedoch nicht dokumentiert, obwohl dieser einen bedeutenden Einfluss auf die postoperative Entwicklung der Schmerzen hat.

Durch die oberflächliche Lage der Patella mit geringer Weichteildeckung stellt sich die Frage, ob gerade die winkelstabile Platte mit zusätzlicher Hakenkonfiguration (Suture Plate II) am exponierten distalen Pol besonders aufträgt und hier Schmerzen verursacht. Der Vergleich zwischen der SuturePlate I (ohne Haken) und der SuturePlate II (mit Haken) zeigte in der vorliegenden Arbeit keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf berichtete Polschmerzen. Somit scheint die SuturePlate II trotz der zusätzlichen Hakenkonfiguration nicht zu vermehrten Schmerzen am distalen Patellapol im Vergleich zur SuturePlate I zu führen.

### 5.3. Rehabilitationsprotokoll und Range of Movement

Die operative Stabilisierung von Patellafrakturen beinhaltet zwangsweise einen iatrogenen, zugangsbedingten Weichteilschaden im Bereich der Patella. Durch die häufig durchgeführte laterale Arthrotomie zur Darstellung und exakten Reposition der Gelenkfläche wird unter anderem das laterale Retinakulum gespalten, welches im Heilungsverlauf ebenfalls vernarben und verkürzen kann. Die Vernarbung der kniegelenkumgebenden Strukturen kann zu einem eingeschränkten Bewegungsausmaß postoperativ führen. Die hohe Stabilität der anterioren Plattenosteosynthese ermöglicht eine frühfunktionelle Beübung, sodass potentiell vermehrte Vernarbung und somit ein eingeschränktes Bewegungsausmaß verhindert werden kann.

Das in dem Patientenkollektiv der vorliegenden Arbeit empfohlene Standard-Rehabilitationsprotokoll wurde bei 77,5% der Studienteilnehmer umgesetzt. Bei 22,5% erfolgte

eine individuelle Anpassung des Protokolls aufgrund von Begleitverletzung und der Schwere der Verletzung. Bei nur einem Studienpatienten wurde aufgrund der Begleitverletzungen das Nachbehandlungsschema eingeschränkt, der Patient wurde aufgrund einer lappenplastischen Deckung im Bereich des Kniegelenks für acht Wochen in Extensionsstellung fixiert und nicht beübt. Alle anderen individuell angepassten Rehabilitationsprotokolle beinhalteten ein Nachbehandlungsschema entweder komplett ohne Bewegungslimitation direkt postoperativ (15%) oder mit Limitation der Flexion bis 90° für sechs Wochen (5%). Mit dem genannten Nachbehandlungsschema nach anteriorer Plattenosteosynthese konnte im Rahmen dieser Arbeit das Bewegungsausmaß des operierten Kniegelenks im zeitlichen Verlauf postoperativ signifikant gesteigert werden. Der Vergleich zwischen gesundem und operiertem Kniegelenk im zeitlichen Verlauf ergab jedoch, dass sowohl nach sechs als auch nach zwölf Monaten noch ein Unterschied zwischen beiden Kniegelenken verblieb. Das Bewegungsausmaß des gesunden Kniegelenks konnte auch nach zwölf Monaten noch nicht erreicht werden, eine Annäherung erfolgte jedoch bereits. Bei der zwölfmonatigen Nachuntersuchung betrug der durchschnittliche Bewegungsumfang des operierten Kniegelenks bereits  $129^\circ \pm 12,2^\circ$ , der Bewegungsumfang der Gegenseite betrug im Durchschnitt  $133^\circ \pm 10,9^\circ$ .

In einer retrospektiven Studie von Agarwala et al. wurden 48 Patienten nach Zuggurtungsosteosynthese bezüglich ihrer ROM untersucht (Agarwala et al., 2015). Ein Vergleich zur Gegenseite lag nicht vor. Bei 8,3% der Patienten trat eine Kniegelenksteife auf, was in 4,2% der Fälle eine Arthrolyse erforderlich machte. Besonders auffällig war ein Streckdefizit von 10-15° bei 31,25% der Patienten. Dies führte zu einem intensiven Bedarf an Physiotherapie, wobei jedoch nach zwölf Wochen kein Extensionsdefizit mehr nachweisbar war. Dieses Extensionsdefizit wird häufig nach Zuggurtungsosteosynthese berichtet. Le Brun et al. berichteten beispielsweise über ein Extensionsdefizit  $>5^\circ$  bei 20% ihrer Studienteilnehmer (LeBrun et al., 2012). Im Patientenkollektiv der vorliegenden Arbeit war nach 12 Monaten kaum ein Extensionsdefizit zu erkennen. Nur n=3 Studienteilnehmer (8,1%) präsentierten überhaupt noch ein Extensionsdefizit, nur n=1 (3,7%) Patient wies mit 15° ein Extensionsdefizit über 5° auf. Dieser Studienteilnehmer erhielt acht Monate postoperativ eine verfrühte Materialentfernung aufgrund eines intraartikulären Schraubenüberstands, was möglicherweise das eingeschränkte Bewegungsausmaß erklärt.

Wild et al. sahen nach Zuggurtung von 50 Patellafrakturen ein Bewegungsumfang von 120° nach 4,2 Jahren. Dort betrug das durchschnittliche Patientenalter 51 Jahre. Ellwein et al. berichteten zwar über ein Bewegungsausmaß von bereits 138° sechs Monate postoperativ, dort zeigte sich jedoch auch ein höheres Bewegungsausmaß der Gegenseite von 143°. Im Verhältnis werden demnach ähnliche Werte berichtet. Moore et al. beschrieben nach Plattenosteosynthese verschiedener Hersteller (u.a. DePuy Synthes Mesh Plate) von 20 AO/OTA 34-C Frakturen über ein Bewegungsausmaß von durchschnittlich 126° innerhalb eines Untersuchungszeitraumes von im Mittel 33 Monaten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit nach plattenosteosynthetischer Stabilisierung von Patellafrakturen sind demnach konkordant mit den Ergebnissen der aktuellen Literatur und zeigen ein exzellentes Bewegungsausmaß ohne deutliche Einschränkung der Extension.

#### 5.4. Materialentfernung

Eine Materialentfernung wurde trotz des kurzen Untersuchungszeitraums häufig erfasst. Bei 30 % erfolgte innerhalb zwölf Monaten ein sekundärer Eingriff zur Materialentfernung. In 10 % war dies durch Komplikationen begründet, 20 % der Studienteilnehmer wünschten ausdrücklich die Materialentfernung, was in aller Regel auf subjektiv störendes Osteosynthesematerial zurückgeführt wurde. Dies kann durch die sehr oberflächliche Lage des Osteosynthesematerials begründet sein. Vergleichbare Studien beschrieben nach Zuggurtungsosteosynthese eine deutlich höhere Rate an Implantatentfernungen von bis zu 52% aufgrund von störend einliegendem Osteosynthesematerial (LeBrun et al., 2012, Shea et al., 2019). Torchia und Lewallen stellten fest, dass in etwa 36 % der Fälle sogar schmerzhaft einliegendes Zuggurtungs-Osteosynthesematerial entfernt werden musste (Torchia und Lewallen, 1996). Die Vergleichbarkeit mit der Zuggurtung ist nur eingeschränkt gegeben, da hier eine Materialentfernung häufig aufgrund von störenden Drähten mit konsekutiver Weichteilirritation etwa durch Materialmigration durchgeführt wurde (Luna-Pizarro et al., 2006, Mittal et al., 2022). Bei der Stabilisierung von einfachen und mehrfragmentären Patellafrakturen mittels modulierter LCP Platte (Fa. Synthes) wurde von Jang et al. über eine Rate an sekundären Eingriffen von 53% berichtet. Analog zu den erfassten 20 % der vorliegenden Arbeit erfolgte hier die Materialentfernung aufgrund des Patientenwunsches, nicht aufgrund echter Weichteilirritation (Jang et al., 2019). Auch Wild et al. dokumentierten

über 20% Materialentfernung aufgrund des ausdrücklichen Patientenwunsches (Wild et al., 2016). Berninger et al. schrieben in ihrer retrospektiven Multicenterstudie über Ergebnisse in Einklang mit der oben genannten Literatur: Aufgrund subjektiver Beschwerden und ausdrücklichem Patientenwunsch erfolgte eine Materialentfernung nach Zuggurtungsosteosynthese bei 56,7% und nach Plattenosteosynthese bei 23,5% der Fälle innerhalb von fünf Jahren nach Osteosynthese (Berninger et al., 2024). Einige der oben genannten Studien wurden in Deutschland durchgeführt (Berninger et al., 2024, Wild et al., 2016). Ein Teil der hohen Materialentfernungsraten sowohl nach Zuggurtungs- als auch nach Plattenosteosynthese wird durch das deutsche Versorgungssystem erklärt sein, hier erfolgen Materialentfernungen generell häufiger als in anderen Ländern. Zum Vergleich: In Deutschland stellen orthopädische Materialentfernungen 30% der elektiven Eingriffe dar (Izadpanah K., 2016), in Finnland 6,3% und in den USA nur 4,9% (Bostman und Pihlajamaki, 1996).

Insgesamt wurden in der Literatur geringfügig höhere Raten an Materialentfernungen an der Patella nach Plattenosteosynthese berichtet als in dieser Studie. Dies mag zum einen im besonders niedrigem Höhenprofil und der anatomischen Passform der Suture Plate liegen, aber auch vor allem an dem hier berichteten Follow-up Zeitraum von einem Jahr. Weitere Nachuntersuchungen nach zwei Jahren sind geplant, eine abschließende Beurteilung der Rate an Materialentfernungen bleibt somit noch abzuwarten.

## 5.5. Komplikationen

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden in n=3 Fällen (7,5%) Komplikationen beobachtet. Bei jedem der drei Studienteilnehmern kam es zu einem Implantatversagen, davon waren zwei Fälle durch einen Sturz mit konsekutiver Refraktur begründet, in einem Fall kam es zu einer atraumatischen Fragmentdislokation. Der Vergleich mit aktueller Literatur nach plattenosteosynthetischer Stabilisierung ist limitiert, da wenige Studien über die Schwere der Verletzung berichten. Berninger et al. zeigten in einer aktuellen Komplikationsanalyse, dass AO/OTA 34-C Frakturen eine signifikant höhere Komplikationsrate als AO/OTA 34-A und -B Verletzungen aufweisen (Berninger et al., 2024). Die Komplikationsrate nach plattenosteosynthetischer Stabilisierung von Patellafrakturen liegen in der aktuellen Literatur ungeachtet der Schwere der Verletzung zwischen 6 und 15% (Wurm et al., 2018, Tengler et al., 2021, Ellwein et al., 2019, Ellwein et al., 2017). Wurm et al. beschrieben zwar eine geringe Komplikationsrate von 6%, jedoch wurden alle Frakturmorphologien mit Operationsindikation in die Analyse

einbezogen und Patienten mit Begleitverletzungen ausgeschlossen (Wurm et al., 2018). Bei Ellwein et al. sowie Tengler et al. hingegen erfolgte eine Analyse fast ausschließlich von AO/OTA 34-C Verletzungen. Sie berichteten sogar über deutlich höhere Komplikationsraten von 15% und 13% (Tengler et al., 2021, Ellwein et al., 2019). Bedeutend ist jedoch vor allem der Vergleich zur Zuggurtungsosteosynthese. Obwohl die Zuggurtung scheinbar einfacher zu handhaben ist, führt diese Technik zu erheblichen postoperativen Komplikationsraten von 21-43% (Tian et al., 2011, Wang et al., 2014). Vor allem Repositionsverluste, Materiallockerungen mit Drahtmigrationen und daraus folgenden hohen Raten an Revisionsoperationen wurden beschrieben (Tengler et al., 2021, Smith et al., 1997). Die Notwendigkeit einer Revision scheint auch hier vor allem bei Trümmerfrakturen zu bestehen (Catalano et al., 1995). Smith et al. berichten von einer Fragmentverschiebung von >2mm in den ersten zwei Monaten postoperativ in 22% der Studienteilnehmer (Smith et al., 1997). Wild et al. dokumentierten sogar Frakturdehiszenzen von 62%. 58% davon wurden zwar als Minor-Komplikation mit einer Dehiszenz <2mm gewertet, bei 42% war jedoch eine Frakturdehiszenz >2mm festzustellen (Wild et al., 2008). Es existieren multiple klinische Studien, die das Maß der Gelenkinkongruenz und der daraus folgenden posttraumatischen Arthrose untersuchen. Zwar bestehen zwischen verschiedenen Gelenken verschiedene Richtwerte, viele Autoren sind jedoch der Meinung, dass Frakturen, die mit einer Stufenbildung von >2 mm verheilen, mit frühzeitiger Arthrose assoziiert sind (Giannoudis et al., 2010, Beals et al., 2018). Somit ist insbesondere nach Patellafrakturen die posttraumatische patellofemorale Arthrose ein wesentliches Problem. Sorensen berichteten über eine Rate von 70% patellofemoraler Arthrosen posttraumatisch. Aufgrund der traumatischen Verletzung des retropatellaren Knorpels und der hohen Kräfte, die bei persistierenden Gelenkstufen wirken, ist eine retropatellare Arthrose nach Patellafrakturen doppelt so häufig im Gegensatz zur nicht betroffenen Seite zu finden (Sørensen, 1964, Lazaro et al., 2013b). Auch eine aktuellere Registerstudie aus Dänemark zeigte, dass nach Patellafraktur in den Jahren nach Verletzung 83% häufiger eine Knieendoprothese eingesetzt wurde als bei einer vergleichbaren Gruppe ohne Patellafraktur. Insgesamt deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass das Risiko für die Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose mit langfristigen Schmerzen nach einem Kniescheibenbruch erhöht ist. Um diese Langzeitfolgen zu vermeiden, ist somit eine möglichst stufenfreie und anatomische Reposition mit anschließend stabiler Fixierung unabdingbar.

Darüber hinaus kommt es nach Zuggurtungsosteosynthese zu weiteren implantatasoziierten Komplikationen wie Knochenlysen (4%), Materialbruch (2%), Infektion (2%) und besonders Implantatlockerung (26%) mit Migration der Cerclagen (20%) sowie der K-Drähte (6%) (Wild et al., 2008). Dies könnte darin begründet liegen, dass die Drähte kein Gewinde aufweisen und sich somit schwerer im Knochen fest fixieren lassen. Somit erscheint das Risiko eines Materialversagens nach Zuggurtungsosteosynthese gerade bei schlechter Knochenqualität, z.B. osteoporotische Knochenstruktur beim älteren Menschen, erhöht. Eine zusätzliche Ursache für das Versagen der Zuggurtung kann der häufig fehlenden CT-Bildgebung geschuldet sein, sodass insbesondere mehrfragmentäre Frakturen unterschätzt und inadäquat osteosynthetisch stabilisiert werden (Lazaro et al., 2013a). Neuere Studien wie Berninger et al. zeigten Komplikationen nach Zuggurtungsosteosynthese von 16,7%, hier erhielten immerhin ca. 35% der Studienteilnehmer eine präoperative CT Bildgebung (Berninger et al., 2024). Die vorliegende Studie zeigt, dass die anteriore Plattenosteosynthese mit einer geringeren Komplikationsrate verbunden ist und dem derzeitigen Standard der Zuggurtungsosteosynthese überlegen ist.

## 5.6. Herausforderungen dieser Arbeit

Mit dem Start der Patientenrekrutierung Ende 2019 begann auch die COVID-Pandemie mit Ihren Einschränkungen und der erhöhten Infektionsgefahr vor allem in Krankenhäusern. Aufgrund dessen war die Rekrutierung wegen fehlender Bereitschaft oder der einschränkenden Schutzmaßnahmen erheblich erschwert. Einige Patienten verweigerten die initiale Teilnahme (n=5 am UKE), mussten die Studie abbrechen oder konnten nicht zu Folgeuntersuchungen erscheinen, sodass die Zahl der vollständig erfassten Studienteilnehmer darunter geringfügig reduziert werden musste. In einigen Fällen erfolgten soweit möglich Hausbesuche zur klinischen Untersuchung. Einige Patienten konnten aufgrund schwerer Polytraumatisierung oder fehlenden Sprachkenntnissen nicht eingeschlossen werden (n=3 am UKE). Auch wünschten einige Studienteilnehmer im fortgeschrittenen Alter und mit Komorbiditäten (und teilweise Exazerbation dieser Komorbiditäten im weiteren Studienverlauf) trotz initialer Bereitschaft der Studienteilnahme im weiteren Studienverlauf keine weitere Vorstellung zu den Nachuntersuchungen (n=12).

## 5.7. Ausblick

Die Stärke dieser Studie liegt in ihrem prospektiven Design mit festgelegten Nachuntersuchungen nach sechs und zwölf Monaten. Dies ermöglichte eine genaue Verfolgung des Rehabilitationsfortschritts. Aufgrund des multizentrischen Studiendesigns und der Behandlung durch verschiedene Chirurgen sind die Ergebnisse von hoher externer Validität und damit besonders repräsentativ. Dennoch gibt es einige Einschränkungen, wie die geringe Stichprobengröße, wenngleich diese in der vorliegenden Arbeit im Vergleich zu meisten aufgeführten Studien deutlich höher ist, und eine fehlende Vergleichsgruppe. Durch die begrenzte Anzahl an Patienten sind unabhängige Faktoren, welche unzureichende Ergebnisse vorhersagen könnten, kaum zuverlässig zu identifizieren. Der berichtete Nachuntersuchungszeitraum von zwölf Monaten ist verhältnismäßig kurz, um eine optimale Aussage über den langfristigen Behandlungserfolg treffen zu können, daher werden die Studienteilnehmer in einem sich anschließenden Studienvorhaben auch nach 24 Monaten einbestellt und untersucht. Die Einbeziehung von StarPlates wird von den Autoren nicht als Einschränkung angesehen. Insgesamt füllt diese multizentrische Studie mit hoher Studienteilnehmeranzahl eine Lücke in der Literatur; insbesondere liefert sie ausführliche funktionelle Ergebnisse nach der chirurgischen Behandlung von Patellafrakturen. Um zuverlässig beurteilen zu können, ob nach plattenosteosynthetisch stabilisierter Patellafraktur eine dauerhafte funktionelle Einschränkung verbleibt, welches Ausmaß diese Einschränkungen einnehmen und welche Faktoren dies beeinflussen können sind noch größere Studien mit einem großen Patientenkollektiv und einem Nachuntersuchungszeitraum über zwei Jahre notwendig. Diese Arbeit publiziert Zwischenergebnisse einer groß angelegten multizentrischen Studie mit geplantem Zwei-Jahres-Nachuntersuchungszeitraum. Die Rekrutierung ist noch nicht abgeschlossen, sodass ein größeres Patientenkollektiv geschaffen wird.

## 6. Zusammenfassung

Obwohl Patellafrakturen mit etwa 1 % aller Knochenbrüche relativ selten auftreten, ist die Bedeutung einer intakten Kniescheibe für die Funktion des Kniegelenks und den aufrechten Gang auf zwei Beinen entscheidend. Eine vollständige knöcherne Konsolidierung und anatomische Rekonstruktion sind essenziell, um den biomechanischen Belastungen des Alltags standhalten zu können. Für ein optimales funktionelles Ergebnis ist ein detailliertes Verständnis der Frakturmorphologie sowie eine an die individuelle Fraktur angepasste Osteosynthese unerlässlich. Trotz moderner bildgebender Verfahren und einer Vielzahl verfügbarer Osteosyntheseoptionen bleibt die operative Stabilisierung von Patellafrakturen nach wie vor eine therapeutische Herausforderung. Es existieren zahlreiche biomechanische und klinische Studien, welche unterschiedliche Therapiestrategien im Hinblick auf Komplikationsraten und die langfristige Wiederherstellung der Kniefunktion untersuchen. Dennoch zeigt sich insbesondere in Deutschland, dass die praktische Umsetzung dieser Erkenntnisse häufig hinter dem wissenschaftlichen Stand zurückbleibt. Die kostengünstige Zuggurtungsosteosynthese ist trotz hoher Raten an implantatbezogenen Komplikationen und Versagensraten aktuell das am häufigsten angewandte Verfahren. Die winkelstabile Plattenosteosynthese bietet die höchste biomechanische Primärstabilität und zeigt in aktuellen klinischen Studien mit vergleichsweise kleinerem Patientenkollektiv vielversprechende Ergebnisse mit niedrigeren Komplikationsraten.

Diese Arbeit liefert daher einen wichtigen Beitrag, um die Vorteile der winkelstabilen Plattenosteosynthese, sowie die guten bis sehr guten klinischen Ergebnisse, als auch die Überlegenheit bezüglich Komplikationsraten zu belegen. Schlussendlich muss auf Basis dieser Arbeit und zukünftiger Literatur der vermehrte klinische Einsatz der winkelstabilen Plattenosteosynthese nach Patellafraktur gefördert sowie auch gefordert und der Versorgungsstandard nicht nur in Deutschland angepasst werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorgestellte winkelstabile Platte ein sicheres und wirksames Implantat für die Behandlung von Patellafrakturen, besonders bei Trümmerfrakturen, ist. Die funktionellen Scores zeigen bereits ein Jahr nach Operation gute bis sehr gute Ergebnisse und sind im zeitlichen Verlauf weiter zunehmend, während die Komplikationen im Vergleich zu anderen Implantaten in der Literatur geringer sind. Die hohe Stabilität ermöglicht eine frühfunktionelle Rehabilitation, sodass ein hohes postoperatives Bewegungsausmaß mit vollständiger Rückkehr zu Aktivitäten des täglichen Lebens möglich ist.

Although patellar fractures account for only about 1% of all fractures and are therefore relatively rare, the integrity of the kneecap is crucial for proper knee joint function and upright bipedal walking. Complete bony consolidation and anatomical reconstruction are essential to withstand the biomechanical strain of daily life. For an optimal functional outcome, a detailed understanding of the fracture morphology and an osteosynthesis technique tailored to the individual fracture are indispensable. Despite modern imaging techniques and a variety of available osteosynthesis options, the surgical stabilization of patellar fractures remains a therapeutic challenge.

Numerous biomechanical and clinical studies have investigated various treatment strategies in terms of complication rates and long-term restoration of knee function. Nevertheless, especially in Germany, the practical implementation of these findings often lags behind the current scientific knowledge. The cost-effective tension band wiring technique is still the most commonly used method, despite its high rates of implant-related complications and failure. In contrast, locking plate osteosynthesis offers the highest biomechanical primary stability and, according to recent clinical studies with comparatively small patient groups, shows promising results with lower complication rates.

Thus, this study makes an important contribution by demonstrating the advantages of locking plate osteosynthesis, its good to very good clinical outcomes, and its superiority in terms of complication rates. Ultimately, based on this study and future literature, the increased clinical use of locking plate osteosynthesis for patellar fractures must be promoted and demanded, and the standard of care not only in Germany should be adapted accordingly.

In summary, the locking plate presented here is a safe and effective implant for the treatment of patellar fractures, especially comminuted fractures. Functional scores show good to very good results as early as one year post-operation and continue to improve over time, while complication rates are lower compared to other implants reported in the literature. The high stability enables early functional rehabilitation, allowing for a wide range of postoperative motion and a full return to activities of daily living.

## 7. Literaturverzeichnis

1. AGARWALA, S., AGRAWAL, P. & SOBTI, A. 2015. A novel technique of patella fracture fixation facilitating early mobilization and reducing re-operation rates. *J Clin Orthop Trauma*, 6, 207-211.
2. AHRBERG, A. & JOSTEN, C. 2007. Augmentation von Patellafrakturen und Patellarsehnenrupturen mittels McLaughlin-Cerclage. *Der Unfallchirurg*, 110, 685-690.
3. ALGHADIR, A. H., ANWER, S., IQBAL, A. & IQBAL, Z. A. 2018. Test-retest reliability, validity, and minimum detectable change of visual analog, numerical rating, and verbal rating scales for measurement of osteoarthritic knee pain. *J Pain Res*, 11, 851-856.
4. ARTHREX. 2020. *Produktfamilie FiberWire und FiberWire-Tape* [Online]. Arthrex. Available: <https://www.arthrex.com/de/weiterfuehrende-informationen/LB2-0234-DE/fiberwire-geflochtener-faden-aus-kompositmaterial?referringteam=knee> [Accessed 23.01.2023].
5. ARTHREX. 2021. *Patella SuturePlate™ II – 3 mm System* [Online]. München, Deutschland. Available: <https://www.arthrex.com/de/weiterfuehrende-informationen/op-anleitungen/GOWAfOi7P0ec-QFj0EaT7w/patella-sutureplate-ii-3-mm-system> [Accessed 20.06.2022].
6. BEALS, T. R., HARRIS, R. & AUSTON, D. A. 2018. Articular Incongruity in the Lower Extremity: How Much Is Too Much? *Orthop Clin North Am*, 49, 167-180.
7. BENGNER, U., JOHNELL, O. & REDLUND-JOHNELL, I. 1986. Increasing incidence of tibia condyle and patella fractures. *Acta Orthop Scand*, 57, 334-336.
8. BERNINGER, M. T. & FROSCH, K.-H. 2022. Wandel in der Behandlung der Patellafrakturen. *Der Unfallchirurg*.
9. BERNINGER, M. T., KORTHAUS, A., EGGELING, L., HERBST, E., NEUMANN-LANGEN, M. V., DOMNICK, C., FEHSKE, K., BARZEN, S., KÖSTERS, C., ZELLNER, J., RASCHKE, M. J., FROSCH, K.-H., HOFFMANN, R. & KRAUSE, M. 2024. Analysis of postoperative complications 5 years after osteosynthesis of patella fractures—a retrospective, multicenter cohort study. *Eur J Trauma Emerg Surg*.
10. BÖSTMAN, O., KIVILUOTO, O. & NIRHAMO, J. 1981. Comminuted displaced fractures of the patella. *Injury*, 13, 196-202.
11. BOSTMAN, O. & PIHLAJAMAKI, H. 1996. Routine Implant Removal after Fracture Surgery: A Potentially Reducible Consumer of Hospital Resources in Trauma Units. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 41, 846-849.
12. BOSTRÖM, A. 1972. Fracture of the patella. A study of 422 patellar fractures. *Acta Orthop Scand Suppl*, 143, 1-80.
13. BOUCHER, J. P., KING, M. A., LEFEBVRE, R. & PÉPIN, A. 1992. Quadriceps femoris muscle activity in patellofemoral pain syndrome. *Am J Sports Med*, 20, 527-532.
14. BRIGGS, K. K., KOCHER, M. S., RODKEY, W. G. & STEADMAN, J. R. 2006. Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee score and Tegner

activity scale for patients with meniscal injury of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 88, 698-705.

15. BRIGGS, K. K., LYSHOLM, J., TEGNER, Y., RODKEY, W. G., KOCHER, M. S. & STEADMAN, J. R. 2009. The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am J Sports Med*, 37, 890-897.
16. BURVANT, J. G., THOMAS, K. A., ALEXANDER, R. & HARRIS, M. B. 1994. Evaluation of methods of internal fixation of transverse patella fractures: a biomechanical study. *J Orthop Trauma*, 8, 147-153.
17. BUSCHBECK, S., GÖTZ, K., KLUG, A., BARZEN, S., GRAMLICH, Y. & HOFFMANN, R. 2022. Comminuted AO-C3 fractures of the patella: good outcome using anatomically contoured locking plate fixation. *Int Orthop*, 46, 1395-1403.
18. CAMARDA, L., MORELLO, S., BALISTRERI, F., D'ARIENZO, A. & D'ARIENZO, M. 2016. Non-metallic implant for patellar fracture fixation: A systematic review. *Injury*, 47, 1613-1617.
19. CARPENTER, J. E., KASMAN, R. A., PATEL, N., LEE, M. L. & GOLDSTEIN, S. A. 1997. Biomechanical evaluation of current patella fracture fixation techniques. *J Orthop Trauma*, 11, 351-356.
20. CATALANO, J. B., IANNAcone, W. M., MARCZYK, S., DALSEY, R. M., DEUTSCH, L. S., BORN, C. T. & DELONG, W. G. 1995. Open fractures of the patella: long-term functional outcome. *J Trauma*, 39, 439-444.
21. COHEN, Z. A., ROGLIC, H., GRELSAMER, R. P., HENRY, J. H., LEVINE, W. N., MOW, V. C. & ATESHIAN, G. A. 2001. Patellofemoral stresses during open and closed kinetic chain exercises. An analysis using computer simulation. *Am J Sports Med*, 29, 480-487.
22. DOWNIE, W. W., LEATHAM, P. A., RHIND, V. M., WRIGHT, V., BRANCO, J. A. & ANDERSON, J. A. 1978. Studies with pain rating scales. *Ann Rheum Dis*, 37, 378-381.
23. ELLWEIN, A., LILL, H., DEYHAZRA, R.-O., SMITH, T. & KATTHAGEN, J. C. 2019. Outcomes after locked plating of displaced patella fractures: a prospective case series. *International Orthopaedics*, 43, 2807-2815.
24. ELLWEIN, A., LILL, H., JENSEN, G., GRUNER, A. & KATTHAGEN, J. C. 2017. Die Plattenosteosynthese der Patellafraktur – Technik und erste Ergebnisse einer prospektiven Studie. *Der Unfallchirurg*, 120, 753-760.
25. FEHSKE, K., BERNINGER, M. T., ALM, L., HOFFMANN, R., ZELLNER, J., KÖSTERS, C., BARZEN, S., RASCHKE, M. J., IZADPANAH, K., HERBST, E., DOMNICK, C., SCHÜTTRUMPF, J. P. & KRAUSE, M. 2021. [Current treatment standard for patella fractures in Germany]. *Der Unfallchirurg*, 124, 832-838.
26. FORTIS, A. P., MILIS, Z., KOSTOPOULOS, V., TSANTZALIS, S., KORMAS, P., TZINIERIS, N. & BOUDOURIS, T. 2002. Experimental investigation of the tension band in fractures of the patella. *Injury*, 33, 489-493.
27. GAO, S., ZHANG, F., GAO, T., LIU, X., ZHANG, Z. & DAI, M. 2018. A novel technique of using a miniature plate in combination with tension band wiring to treat comminuted patellar fractures. *Medicine*, 97, e0311.

28. GIANNOUDIS, P. V., TZIOUPIS, C., PAPATHANASSOPOULOS, A., OBAKPONOVWE, O. & ROBERTS, C. 2010. Articular step-off and risk of post-traumatic osteoarthritis. Evidence today. *Injury*, 41, 986-995.
29. GOODFELLOW, J., HUNGERFORD, D. S. & WOODS, C. 1976. Patello-femoral joint mechanics and pathology. 2. Chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br*, 58, 291-299.
30. GWINNER, C., MÄRDIAN, S., SCHWABE, P., SCHASER, K. D., KRAPOHL, B. D. & JUNG, T. M. 2016. Current concepts review: Fractures of the patella. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW*, 5, 21-24.
31. HARRINGTON, I. J. 1976. A bioengineering analysis of force actions at the knee in normal and pathological gait. *Biomed Eng*, 11, 167-72.
32. HUANG, S., ZOU, C., KENMEGNE, G. R., YIN, Y., LIN, Y. & FANG, Y. 2023. Management of comminuted patellar fractures using suture reduction technique combined with the modified Kirschner-wire tension band. *BMC Surg*, 23, 251.
33. IZADPANAH K., J. M., MAIER D., SÜDKAMP N. 2016. Metallentfernungen an der oberen Extremität. *OP-JOURNAL* 2016, 32, 120–125.
34. JANG, J. H., RHEE, S. J. & KIM, J. W. 2019. Hook plating in patella fractures. *Injury*, 50, 2084-2088.
35. KESSLER, S., LANG, S., PUHL, W. & STÖVE, J. 2003. [The Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score--a multifunctional questionnaire to measure outcome in knee arthroplasty]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 141, 277-282.
36. KOCHER, M. S., STEADMAN, J. R., BRIGGS, K. K., STERETT, W. I. & HAWKINS, R. J. 2004. Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee scale for various chondral disorders of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 86, 1139-1145.
37. KOVAL, K. J. & KIM, Y. H. 1997. Patella fractures. Evaluation and treatment. *Am J Knee Surg*, 10, 101-108.
38. KRAUSE, M., FROSCH, K. H. & LINKE, P. 2023. [Anterior plate osteosynthesis for multifragmentary patella fracture with additive stabilization of the distal pole using suture cerclage]. *Unfallchirurgie (Heidelb)*, 126, 586-590.
39. KRUSE, M., WOLF, O., MUKKA, S. & BRÜGGEMANN, A. 2022. Epidemiology, classification and treatment of patella fractures: an observational study of 3194 fractures from the Swedish Fracture Register. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 48, 4727-4734.
40. LABITZKE, R. 1997. [Proper and improper tension band fixation exemplified by patellar fracture]. *Chirurg*, 68, 638-642.
41. LALIBERTÉ, M., MAZER, B., OROZCO, T., CHILINGARYAN, G., WILLIAMS-JONES, B., HUNT, M. & FELDMAN, D. E. 2017. Low Back Pain: Investigation of Biases in Outpatient Canadian Physical Therapy. *Physical Therapy*, 97, 985-997.
42. LARSEN, P., COURT-BROWN, C. M., VEDEL, J. O., VISTRUP, S. & ELSØE, R. 2016. Incidence and Epidemiology of Patellar Fractures. *Orthopedics*, 39, 1154-1158.
43. LARSEN, P., RATHLEFF, M. S., ØSTGAARD, S. E., JOHANSEN, M. B. & ELSØE, R. 2018. Patellar fractures are associated with an increased risk of

- total knee arthroplasty: A Matched Cohort Study of 6096 Patellar Fractures with a mean follow-up of 14.3 Years. *Bone Joint J*, 100-b, 1477-1481.
44. LAZARO, L. E., WELLMAN, D. S., PARDEE, N. C., GARDNER, M. J., TORO, J. B., MACINTYRE, N. R., 3RD, HELFET, D. L. & LORICH, D. G. 2013a. Effect of computerized tomography on classification and treatment plan for patellar fractures. *J Orthop Trauma*, 27, 336-344.
  45. LAZARO, L. E., WELLMAN, D. S., SAURO, G., PARDEE, N. C., BERKES, M. B., LITTLE, M. T., NGUYEN, J. T., HELFET, D. L. & LORICH, D. G. 2013b. Outcomes after operative fixation of complete articular patellar fractures: assessment of functional impairment. *J Bone Joint Surg Am*, 95, 1-8.
  46. LEBRUN, C. T., LANGFORD, J. R. & SAGI, H. C. 2012. Functional outcomes after operatively treated patella fractures. *J Orthop Trauma*, 26, 422-426.
  47. LEVACK, B., FLANNAGAN, J. P. & HOBBS, S. 1985. Results of surgical treatment of patellar fractures. *J Bone Joint Surg Br*, 67, 416-9.
  48. LISTER, J. 1883. An Address on the Treatment of Fracture of the Patella. *Br Med J*, 2, 855-860.
  49. LORICH, D. G., WARNER, S. J., SCHOTTEL, P. C., SHAFFER, A. D., LAZARO, L. E. & HELFET, D. L. 2015. Multiplanar Fixation for Patella Fractures Using a Low-Profile Mesh Plate. *J Orthop Trauma*, 29, e504-e510.
  50. LUNA-PIZARRO, D., AMATO, D., ARELLANO, F., HERNÁNDEZ, A. & LÓPEZ-ROJAS, P. 2006. Comparison of a technique using a new percutaneous osteosynthesis device with conventional open surgery for displaced patella fractures in a randomized controlled trial. *J Orthop Trauma*, 20, 529-535.
  51. LYSHOLM, J. & GILLQUIST, J. 1982. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*, 10, 150-154.
  52. MAO, N., LIU, D., NI, H., TANG, H. & ZHANG, Q. 2013. Comparison of the cable pin system with conventional open surgery for transverse patella fractures. *Clin Orthop Relat Res*, 471, 2361-2366.
  53. MCLAUGHLIN, H. L. 1947. Repair of major tendon ruptures by buried removable suture. *Am J Surg*, 74, 758-764.
  54. MEINBERG, E., AGEL, J., ROBERTS, C., KARAM, M. & KELLAM, J. 2018. Fracture and Dislocation Classification Compendium—2018. *J Orthop Trauma*, 32, 1-10.
  55. MEYER, D. C., BACHMANN, E., LÄDERMANN, A., LAJTAI, G. & JENTZSCH, T. 2018. The best knot and suture configurations for high-strength suture material. An in vitro biomechanical study. *Orthop Traumatol Surg Res*, 104, 1277-1282.
  56. MITTAL, S., DAVID, V. K. & SHARMA, V. 2022. Incidence of Implant Removal in Surgically Treated Patella Fractures. *Cureus*, 14, e25377.
  57. MÜLLER, E. C. & FROSCH, K. H. 2017. [Plate osteosynthesis of patellar fractures]. *Oper Orthop Traumatol*, 29, 509-519.
  58. MÜLLER, E. C. & FROSCH, K. H. 2019. [Fractures of the patella]. *Chirurg*, 90, 243-254.

59. NIKIFORIDIS, P., BABIS, G., TSAROUCAS, J., KOUDIS, G. & KORRES, D. S. 1999. Patellar fractures: contemporary approach to operative treatment, using different types of the tension band principles. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 9, 21-26.
60. PAICE, J. A. & COHEN, F. L. 1997. Validity of a verbally administered numeric rating scale to measure cancer pain intensity. *Cancer Nurs*, 20, 88-93.
61. PAXTON, E. W., FITHIAN, D. C., STONE, M. L. & SILVA, P. 2003. The reliability and validity of knee-specific and general health instruments in assessing acute patellar dislocation outcomes. *Am J Sports Med*, 31, 487-492.
62. PLANCHER, K. D., MATHENY, L. M., BRIGGS, K. K. & PETTERSON, S. C. 2022. Reliability and Validity of the Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score in Patients Undergoing Unicompartmental Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*, 37, 1998-2003.
63. ROOS, E. M. & LOHMANDER, L. S. 2003. The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health Qual Life Outcomes*, 1, 64.
64. ROOS, E. M., ROOS, H. P., LOHMANDER, L. S., EKDAHL, C. & BEYNNON, B. D. 1998. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther*, 28, 88-96.
65. RUPP, M., WALTER, N., PFEIFER, C., LANG, S., KERSCHBAUM, M., KRUTSCH, W., BAUMANN, F. & ALT, V. 2021. The Incidence of Fractures Among the Adult Population of Germany--an Analysis From 2009 through 2019. *Dtsch Arztebl Int*, 118, 665-669.
66. SCAPINELLI, R. 1967. Blood supply of the human patella. Its relation to ischaemic necrosis after fracture. *J Bone Joint Surg Br*, 49, 563-570.
67. SCHÜTTRUMPF, P., STÜRMER, K. M. & PIATEK, S. 2020. *Leitlinie Patellafraktur, AWMF-Nr. 012-017* [Online]. Berlin: AWMF. Available: [https://register.awmf.org/assets/guidelines/012-017l\\_S2e\\_Patellafraktur\\_2021-02\\_01.pdf](https://register.awmf.org/assets/guidelines/012-017l_S2e_Patellafraktur_2021-02_01.pdf) [Accessed 18.01.2023].
68. SCOTT, J. & HUSKISSON, E. C. 1976. Graphic representation of pain. *Pain*, 2, 175-184.
69. SHEA, G. K., HOI-TING SO, K., TAM, K. W., YEE, D. K., FANG, C. & LEUNG, F. 2019. Comparing 3 Different Techniques of Patella Fracture Fixation and Their Complications. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*, 10, 215-223.
70. SILJANDER, M., KOUEITER, D. M., GANDHI, S., WIATER, B. P. & WIATER, P. J. 2018. Outcomes Following Low-Profile Mesh Plate Osteosynthesis of Patella Fractures. *J Knee Surg*, 31, 919-926.
71. SINGER, M. S., HALAWA, A. M. & ADAWY, A. 2017. Outcome of low profile mesh plate in management of comminuted displaced fracture patella. *Injury*, 48, 1229-1235.
72. SMITH, S. T., CRAMER, K. E., KARGES, D. E., WATSON, J. T. & MOED, B. R. 1997. Early complications in the operative treatment of patella fractures. *J Orthop Trauma*, 11, 183-187.

73. SØRENSEN, K. H. 1964. The Late Prognosis after Fracture of the Patella. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 34, 198-212.
74. SPECK, M. & REGAZZONI, P. 1994. Classification of patellar fractures. *Z Unfallchir Versicherungsmed*, 87, 27-30.
75. SPRINGORUM, H. P., SIEWE, J., DARGEL, J., SCHIFFER, G., MICHAEL, J. W. & EYSEL, P. 2011. Classification and treatment of patella fractures. *Orthopade*, 40, 877-882.
76. STEURER, P. A., JR., GRADISAR, I. A., JR., HOYT, W. A., JR. & CHU, M. 1979. Patellectomy: a clinical study and biomechanical evaluation. *Clin Orthop Relat Res*, 84-90.
77. SUN, Y., SHENG, K., LI, Q., WANG, D. & ZHOU, D. 2019. Management of comminuted patellar fracture fixation using modified cerclage wiring. *J Orthop Surg Res*, 14, 324.
78. SWANENBURG, J., KOCH, P. P., MEIER, N. & WIRTH, B. 2014. Function and activity in patients with knee arthroplasty: validity and reliability of a German version of the Lysholm Score and the Tegner Activity Scale. *Swiss Med Wkly*, 144, w13976.
79. TAN, H., DAI, P. & YUAN, Y. 2016. Clinical results of treatment using a modified K-wire tension band versus a cannulated screw tension band in transverse patella fractures: A strobe-compliant retrospective observational study. *Medicine (Baltimore)*, 95, e4992.
80. TEGNER, Y. & LYSHOLM, J. 1985. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res*, 43-49.
81. TENGLER, M. B., LILL, H., WENTE, M. & ELLWEIN, A. 2021. Anterior Locking Plate Osteosynthesis of Patellar Fractures - Analysis of Complications and Functional Outcome. *Z Orthop Unfall*, 160, 549-558.
82. TIAN, Y., ZHOU, F., JI, H., ZHANG, Z. & GUO, Y. 2011. Cannulated screw and cable are superior to modified tension band in the treatment of transverse patella fractures. *Clin Orthop Relat Res*, 469, 3429-3435.
83. TORCHIA, M. E. & LEWALLEN, D. G. 1996. Open fractures of the patella. *J Orthop Trauma*, 10, 403-409.
84. VEDEL, J. O., VISTRUP, S., LARSEN, P. & ELSOE, R. 2018. Altered long-term health-related quality of life in patients following patella fractures: a long-term follow-up study of 49 patients. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 44, 707-716.
85. WAGNER, F. C., NEUMANN, M. V., WOLF, S., JONASZIK, A., IZADPANA, K., PIATEK, S. & SÜDKAMP, N. P. 2020. Biomechanical comparison of a 3.5 mm anterior locking plate to cannulated screws with anterior tension band wiring in comminuted patellar fractures. *Injury*, 51, 1281-1287.
86. WANG, C. X., TAN, L., QI, B. C., HOU, X. F., HUANG, Y. L., ZHANG, H. P. & YU, T. C. 2014. A retrospective comparison of the modified tension band technique and the parallel titanium cannulated lag screw technique in transverse patella fracture. *Chin J Traumatol*, 17, 208-213.
87. WANG, P. F., ZHANG, Y. T., XIA, Y., ZHOU, P. Y., WANG, Y., ZHANG, H. Y., WANG, H. R., FU, Q. G. & XU, S. G. 2021. A case-control study of two internal

- fixation methods in the treatment of comminuted fracture of inferior pole of patella. *Zhongguo Gu Shang*, 34, 920-924.
88. WEBER, M. J., JANECKI, C. J., MCLEOD, P., NELSON, C. L. & THOMPSON, J. A. 1980. Efficacy of various forms of fixation of transverse fractures of the patella. *J Bone Joint Surg Am*, 62, 215-20.
  89. WILD, M., FISCHER, K., HILSENBECK, F., HAKIMI, M. & BETSCH, M. 2016. Treating patella fractures with a fixed-angle patella plate-A prospective observational study. *Injury*, 47, 1737-1743.
  90. WILD, M., KHAYAL, T., MIERSCH, D., WINDOLF, J. & HAKIMI, M. 2008. Dynamic cerclage wiring of patellar fractures. Complications and midterm functional results. *Unfallchirurg*, 111, 892-897.
  91. WILD, M., WINDOLF, J. & FLOHÉ, S. 2010. Fractures of the patella. *Unfallchirurg*, 113, 401-411.
  92. WILLIAMSON, A. & HOGGART, B. 2005. Pain: a review of three commonly used pain rating scales. *J Clin Nurs*, 14, 798-804.
  93. WILSON, J., BAJWA, A., KAMATH, V. & RANGAN, A. 2011. Biomechanical comparison of interfragmentary compression in transverse fractures of the olecranon. *J Bone Joint Surg Br*, 93, 245-250.
  94. WIRTH, B., LIFFERT, F. & DE BRUIN, E. D. 2011. Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version des Lysholm-Scores zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbands. *Sportverletz Sportschaden*, 25, 37-43.
  95. WIRTH, B., MEIER, N., KOCH, P. P. & SWANENBURG, J. 2013. Development and evaluation of a German version of the Tegner activity scale for measuring outcome after anterior cruciate ligament injury. *Sportverletz Sportschaden*, 27, 21-27.
  96. WRIGHT, P. B., KOSMOPOULOS, V., COTÉ, R. E., TAYAG, T. J. & NANA, A. D. 2009. FiberWire is superior in strength to stainless steel wire for tension band fixation of transverse patellar fractures. *Injury*, 40, 1200-1203.
  97. WURM, S., AUGAT, P. & BÜHREN, V. 2015. Biomechanical Assessment of Locked Plating for the Fixation of Patella Fractures. *J Orthop Trauma*, 29, 305-308.
  98. WURM, S., BÜHREN, V. & AUGAT, P. 2018. Treating patella fractures with a locking patella plate - first clinical results. *Injury*, 49 Suppl 1, 51-55.
  99. WÜST, D. M., MEYER, D. C., FAVRE, P. & GERBER, C. 2006. Mechanical and handling properties of braided polyblend polyethylene sutures in comparison to braided polyester and monofilament polydioxanone sutures. *Arthroscopy*, 22, 1146-1153.
  100. ZDERIC, I., STOFFEL, K., SOMMER, C., HÖNTZSCH, D. & GUEORGUIEV, B. 2017. Biomechanical evaluation of the tension band wiring principle. A comparison between two different techniques for transverse patella fracture fixation. *Injury*, 48, 1749-1757.

## 8. Abkürzungsverzeichnis

ADL = Activity of daily living, dt. Funktion im täglichen Leben

ANOVA = Analysis of Variance, dt. Varianzanalyse

AO = Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

a.p. = anterior-posterior

BMI = Body Mass Index, dt. Körpermasseindex

CT = Computertomographie

DXA = Dual Energy X-ray Absorptiometry, dt. Dual-Röntgen-Absorptiometrie

FU = Follow-up, dt. Nachuntersuchung

K-Draht = Kirschner-Draht

KOOS = Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score

M. = Musculus

MAC = Macintosh by Apple ®

MW = Mittelwert

NRS = Numerische Rating-Skala

OTA = Orthopaedic Trauma Association

QOL = Quality of Life, dt. Lebensqualität

ROM = Range of Movement, dt. Bewegungsausmaß

SDS = Simple descriptor scale

SPSS = Statistical Package für Social Sciences

Std. = Standardabweichung

USA = United States of America

VAS = Visuelle Analog Skala

WOMAC = Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

## 9. Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> AO/OTA Klassifikation der Patellafraktur (Region 34), in Anlehnung an (Meinberg et al., 2018) .....	9
<b>Abbildung 2:</b> Röntgenbildgebung linkes Knie in a.p. (links) und seitlicher (rechts) Projektion mit modifizierter Zuggurtungsosteosynthese.....	13
<b>Abbildung 3:</b> Röntgenbildgebung linkes Knie in a.p. (links) und seitlicher (rechts) Projektion mit Schraubenosteosynthese .....	14
<b>Abbildung 4:</b> Formvarianten der SuturePlate, in Anlehnung an (Arthrex, 2021).....	17
<b>Abbildung 5:</b> Röntgenbildgebung verschiedener Knie in seitlicher (a), a.p. (b) und axialer (c) Projektion nach Plattenosteosynthese.....	19
<b>Abbildung 6:</b> Flowchart zeigt den Aus- und Einschlussprozess.....	32
<b>Abbildung 7:</b> Altersverteilung per Geschlecht .....	34
<b>Abbildung 8:</b> Veränderung des Tegner Activity Score (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung).....	38
<b>Abbildung 9:</b> Veränderung des Lysholm- und Böstman Scores (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung).....	39
<b>Abbildung 10:</b> Entwicklung der KOOS Sub-Scores (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung).....	40
<b>Abbildung 11:</b> Veränderung der NRS (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung). .....	41
<b>Abbildung 12:</b> Veränderung der ROM (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung). .....	44

## 10. Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Tegner Activity Score (deutsch), (Wirth et al., 2013).....	23
<b>Tabelle 2:</b> Lysholm Knee Scoring Scale in Anlehnung an (Tegner und Lysholm, 1985).....	25
<b>Tabelle 3:</b> Böstman Score in Anlehnung an (Böstman et al., 1981) .....	27
<b>Tabelle 4:</b> Demografische Daten.....	33
<b>Tabelle 5:</b> Fraktureigenschaften.....	36
<b>Tabelle 6:</b> Anzahl Einheiten Physiotherapie.....	37

# 11. Anhang

## 11.1. Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (Tabelle)

<b>Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score</b>	
<b>Symptome</b>	<b>Punkte</b>
<b>S1. Haben Sie Schwellungen an Ihrem Knie?</b>	
Nie	0
Selten	1
Manchmal	2
Oft	3
Immer	4
<b>S2. Fühlen Sie manchmal ein Mahlen, hören Sie manchmal ein Klicken oder irgendein Geräusch, wenn Sie Ihr Knie bewegen?</b>	
Nie	0
Selten	1
Manchmal	2
Oft	3
Immer	4
<b>S3. Bleibt Ihr Knie manchmal hängen, oder blockiert es, wenn Sie es bewegen?</b>	
Nie	0
Selten	1
Manchmal	2
Oft	3
Immer	4
<b>S4. Können Sie Ihr Knie ganz ausstrecken?</b>	
Nie	4
Selten	3
Manchmal	2
Oft	1
Immer	0
<b>S5. Können Sie Ihr Knie ganz beugen?</b>	
Nie	4
Selten	3
Manchmal	2
Oft	1
Immer	0
<b>S6. Wie stark ist Ihre Kniesteifigkeit morgens direkt nach dem Aufstehen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>S7. Wie stark ist Ihre Kniesteifigkeit nach dem Sie saßen, lagen, oder sich ausruhten im Verlauf des Tages?</b>	

Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>Pain (Schmerzen)</b>	
<b>P1. Wie oft tut Ihnen ihr Knie weh?</b>	
Nie	0
Monatlich	1
Wöchentlich	2
Täglich	3
Immer	4
<b>Wie ausgeprägt waren Ihre Schmerzen in der vergangenen Woche als Sie...</b>	
<b>P2. sich im Knie drehen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>P3. Ihr Knie ganz ausstrecken?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>P4. Ihr Knie ganz beugen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>P5. auf ebenem Boden gehen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>P6. Treppen herauf oder heruntergehen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>P7. nachts im Bett liegen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2

Stark	3
Sehr stark	4
<b>P8. saßen oder lagen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>P9. aufrecht standen?</b>	
Keine	0
Schwach	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>Aktivität des täglichen Lebens</b>	
<b>Welche Schwierigkeiten hatten Sie letzte Woche als Sie...</b>	
<b>A1. Treppen herunterstiegen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A2. Treppen hinaufstiegen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A3. vom Sitzen aufstanden?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A4. standen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A5. sich bückten um z.B. etwas vom Boden aufzuheben?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4

<b>A6. auf ebenen Boden gingen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A7. ins Auto ein- oder ausstiegen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A8. einkaufen gingen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A9. Strümpfe/Socken anzogen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A10. vom Bett aufstanden?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A11. Strümpfe/Socken auszogen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A12. im Bett lagen und sich drehten, ohne das Knie dabei zu beugen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A13. in oder aus der Badewanne kamen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3

Sehr große	4
<b>A14. saßen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A15. sich auf die Toilette setzten oder aufstanden?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A16. schwere Hausarbeit verrichteten (schrubben, Garten umgraben, ...)?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>A17. leichte Hausarbeit verrichteten (Staub wischen, kochen,...)?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>Sport und Freizeit</b>	
<b>Hatten Sie Schwierigkeiten letzte Woche als Sie...</b>	
<b>SP1. in die Hocke gingen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>SP2. rannten?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>SP3. hüpfen?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>SP4. sich auf Ihrem kranken Knie umdrehten?</b>	

Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>SP5. sich hinknieten?</b>	
Keine	0
Wenige	1
Einige	2
Große	3
Sehr große	4
<b>Quality of Life (Lebensqualität)</b>	
<b>Q1. Wie oft spüren Sie Ihr erkranktes Knie?</b>	
Nie	0
Monatlich	1
Wöchentlich	2
Täglich	3
Immer	4
<b>Q2. Haben Sie Ihre Lebensweise verändert, um eventuell Ihrem Knie schadende Tätigkeiten zu vermeiden?</b>	
Gar nicht	0
Wenig	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>Q3. Wie sehr macht es Ihnen zu schaffen, dass Ihr Knie nicht stabil ist?</b>	
Gar nicht	0
Wenig	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4
<b>Q4. Wie würden Sie insgesamt die Schwierigkeiten bewerten die Sie durch das Knie haben?</b>	
Gar nicht	0
Wenig	1
Mäßig	2
Stark	3
Sehr stark	4

## 12. Erklärung des Eigenanteils

Die Konzeption der vorliegenden Arbeit erfolgte durch PD Dr. Berninger und mich. Als Projektleiter der zugrundeliegenden multizentrischen Studie übernahm PD Dr. Berninger die Koordination der Finanzierung durch die Firma Arthrex sowie die Koordination der teilnehmenden Studienzentren.

Die Planung der Besuche, Kontaktaufnahme mit den Patienten, sowie die Erfassung der in dieser Doktorarbeit verwendeten Daten am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf erfolgte isoliert durch mich. In den anderen Studienzentren in Murnau und Hannover wurde die Datenerfassung durch Prof. Dr. Stuby und Dr. Kratzer (BG Unfallklinik Murnau) sowie durch PD Dr. Ellwein und Dr. Bieling (Diakovere Friederikenstift Hannover) durchgeführt. Das Datenmanagement erfolgte durch das Clinical Trial Center North (CTC North). Ich habe die erfassten Studiendaten gemeinsam mit dem CTC North auf Vollständigkeit und Richtigkeit überprüft und ergänzt. Durch mich wurden außerdem halbjährliche Berichte bezüglich des Studienfortschritts an die Finanzgeber der Firma Arthrex erstellt. Nach Beendigung der Datenerfassung der Ein-Jahres Ergebnisse erfolgte mit Hilfe von Dr. Dr. Strahl die statistische Auswertung durch mich. Die gesamte vorliegende Arbeit inklusive Tabellen und Graphiken wurden durch mich verfasst. Eine Korrektur und Beratung erfolgten durch die Kollegen Prof. Dr. Dr. Keller und PD Dr. Berninger.

Zusammenfassend:

- Projektleitung: PD Dr. Berninger
- Konzept und Design der Studie: PD Dr. Berninger, Luisa Müller-Rahmel
- Datenerfassung
  - o UKE: Luisa Müller-Rahmel
  - o BG Murnau: Prof. Dr. Stuby, Dr. Kratzer
  - o Diakovere Hannover: PD Dr. Ellwein, Dr. Bieling
- Datenmanagement: CTC North, Luisa Müller-Rahmel
- Statistische Auswertung: Dr. Dr. Strahl, Luisa Müller-Rahmel
- Interpretation der Daten: Luisa Müller-Rahmel
- Verfassung der Monographie, Erstellung von Tabellen und Graphiken: Luisa Müller-Rahmel
- Revision der Monographie: Prof. Dr. Dr. Keller, PD Dr. Berninger

### 13. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Datum

Unterschrift:

## 14. Danksagung

Meinen Eltern gilt mein größter und tiefster Dank – für ihre bedingungslose Liebe, und ihre unermüdliche Unterstützung in allen Lebenslagen. Es ist ein großes Privileg, zwei Elternteile zu haben, die immer für einen da sind, Halt geben, Mut machen und einen in jedem neuen Lebensabschnitt begleiten.

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. med. Johannes Keller danke ich dafür, dass er so kurzfristig, mit ehrlichem Interesse und freundlicher Begleitung die Betreuung meiner Dissertation übernommen hat – seine Unterstützung, sein Vertrauen und seine stets persönliche Art haben mich auf diesem Weg sehr bestärkt.

Ein besonderer Dank gilt außerdem meinem Betreuer, PD Dr. med. Markus Berninger, der mich mit seinem Einsatz, seiner Fachkompetenz und seinem stets offenen Ohr durch die gesamte Zeit begleitet hat. Es war ein langer Weg, den wir gemeinsam bis zum Abschluss dieser Arbeit gegangen sind und ich hoffe, er ist noch nicht zu Ende.

Ohne die Beratung durch Dr. Dr. Strahl wäre die Arbeit nicht das, was sie ist. Vielen Dank für die Geduld, ausführliche Beratung und unermüdliche Erklärung der Statistik. Auch Prof. Dr. med. Seitz möchte ich meinen Dank aussprechen, der mir als stets ansprechbarer und hilfsbereiter Berater während des gesamten Prozesses zur Seite stand. Seine regelmäßigen, konstruktiven Rückmeldungen und eine stets offene Tür haben mir enorm geholfen, meine Arbeit zu verfeinern und weiterzuentwickeln.

Nicht zuletzt möchte ich meinem wunderbaren Freund danken, der mich in während des intensiven Endspurts der Arbeit mit viel Geduld, Verständnis und praktischer Hilfe unterstützt hat. Deine Liebe und dein Zuspruch haben mir in den letzten Monaten sehr geholfen, durchzuhalten.

Ich danke auch allen anderen, die auf jeglicher Weise zu dieser Arbeit beigetragen haben – sei es durch Inspiration, hilfreiche Gespräche oder praktische Unterstützung. Ohne Euch wäre diese Arbeit nicht das, was sie jetzt ist.