

**Diplomarbeit**

**Anwendung einer humanen  
Knochentransplantatschraube zur Frakturversorgung  
bei speziellen Indikationen im Kindes- und Jugendalter –  
Eine retrospektive Datenanalyse**

eingereicht von

**Lea Kendlbacher**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde**

**(Dr<sup>in</sup>. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie**

unter der Anleitung von

Univ. FÄ. Dr. med. univ. Margarita Eibisberger

Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer

Graz, am 30. März 2026

## **Eidesstattliche Erklärung**

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

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, am 30. März 2026

Lea Kendlbacher eh.

## Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich auf meinem Weg durch das Studium und insbesondere bei der Erstellung dieser Diplomarbeit begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen Betreuer\*innen FÄ Dr. Margarita Eibisberger und Assoz. Prof. Dr. Georg Singer für die fachliche Anleitung und geduldige Unterstützung während des gesamten Arbeitsprozesses. Die intensive Betreuung und wertvollen Hilfestellungen haben maßgeblich zur Qualität dieser Arbeit beigetragen.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch meinen Studienkolleg\*innen sowie Freund\*innen, die mich in dieser intensiven Zeit mit Verständnis, Zuspruch und Motivation unterstützt haben.

Ganz besonders danke ich auch meiner Familie, insbesondere meinen Eltern und meiner Schwester für ihre großartige Unterstützung, ihren Rückhalt und ihr Vertrauen – nicht nur während dieser Arbeit, sondern über die Dauer meines gesamten Studiums hinweg. Ohne sie wäre dieser Weg nicht möglich gewesen.

Diese Arbeit ist auch ein Ausdruck der vielen Menschen, die mich durch ihre Begleitung in meinem beruflichen Werdegang geprägt haben. Ihnen allen gilt mein großer Dank.

## Zusammenfassung

**Einleitung:** Frakturen des Sprunggelenks und des Epicondylus ulnaris sind häufige Verletzungen im Kindes- und Jugendalter, welche aufgrund des wachsenden muskuloskelettalen Apparats eine besondere therapeutische Herausforderung darstellen. Um ein bestmögliches Outcome zu erzielen, sollten die therapeutischen Möglichkeiten kontinuierlich evaluiert werden. Das Ziel dieser Studie war ein retrospektiver Vergleich von Patient\*innen mit Sprunggelenks- und Epicondylus ulnaris-Frakturen hinsichtlich des klinischen und radiologischen Outcomes bei unterschiedlicher Frakturversorgung mittels herkömmlicher Osteosyntheseverfahren aus Metall vs. autologer Knochenschrauben namens Shark Screw®.

**Methode:** Es wurden all jene Patient\*innen, die im Zeitraum vom 01.01.2023 bis 27.03.2024 an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie mittels Shark Screw® aufgrund von Frakturen versorgt wurden in die Studie inkludiert. Es erfolgte ein gesonderter Vergleich zwischen Patient\*innen mit Sprunggelenks- und Epicondylus ulnaris-Frakturen und Shark Screw® Versorgung und einer entsprechenden Kontrollgruppe mit Patient\*innen, die mit diesen Frakturen mittels Osteosynthesematerialien aus Metall behandelt wurden.

**Ergebnisse:** Insgesamt konnten 31 Patient\*innen mit einem durchschnittlichen Alter von 13,08 Jahren (Spanne zehn bis 17 Jahre), welche mittels Shark Screw® versorgt wurden, in die Studie eingeschlossen werden. Dabei wurden 9 Sprunggelenks- und 9 Epicondylus ulnaris-Frakturen, die mittels Shark Screw® versorgt wurden, mit insgesamt 44 Patient\*innen, jeweils 22 Sprunggelenks- und 22 Epicondylus ulnaris-Frakturen, die mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien versorgt wurden, miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass sich die beiden Behandlungsformen hinsichtlich des klinischen und radiologischen Outcomes nach Frakturversorgung nicht signifikant unterscheiden. Es zeigte sich bezogen auf die OP-Zeit ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der beiden Behandlungsformen mit längeren OP-Zeiten der mittels Shark Screw® versorgten Gruppe (SG), wobei unter Einbeziehung der OP-Zeit nach Metallentfernung kein signifikanter Unterschied mehr nachzuweisen war. Bezüglich der stationären Aufenthaltszeit zeigte sich eine signifikant längere Aufenthaltsdauer bei jenen, welche mittels Metallen behandelt

wurden, unter Einbeziehung der stationären Aufenthaltsdauer zur Metallentfernung. Einen signifikanten Unterschied lieferte auch der Vergleich der Sportbefristungsdauer zugunsten der SG, dieser konnte jedoch unter Einbeziehung der Sportbefristung nach Metallentfernung wiederum nicht nachgewiesen werden.

**Schlussfolgerung:** Die Ergebnisse zeigen, dass die allogene Knochenschraube namens Shark Screw® bei der Frakturversorgung ausgewählter Indikationen im Kindes- und Jugendalter erfolgreich anwendbar und mit herkömmlichen Osteosynthesematerialien aus Metall vergleichbar ist. Ihr Vorteil liegt darin, dass kein weiterer Eingriff zur Metallentfernung notwendig ist, und dass die damit verbundenen Risiken den Patient\*innen erspart bleiben. Nichtsdestotrotz sind weitere prospektive Studien nötig, um die Langzeitergebnisse und Komplikationsraten dieser neuen Methode zu erfassen.

## Abstract

**Aim of the Study:** Fractures of the ankle joint and the medial epicondyle are common injuries in childhood and adolescence and pose therapeutic challenges due to the growing musculoskeletal system. To achieve the best possible outcome, therapeutic options should be continuously evaluated. The aim of this study was a retrospective comparison of patients with ankle and ulnar epicondyle fractures regarding clinical and radiological outcomes following different fracture fixation methods using conventional metal osteosynthesis versus autologous bone screws known as Shark Screw®.

**Methods:** All patients who were treated with the Shark Screw® for fractures at the University Clinic for Pediatric and Adolescent Surgery of Graz between January 1<sup>st</sup>, 2023, and March 27<sup>th</sup>, 2024, were included in the study. A separate comparison was performed between patients with ankle and medial epicondyle fractures treated with the Shark Screw® and a corresponding control group consisting of patients with the same fractures treated with conventional osteosynthesis materials.

**Results:** In this study 31 patients with a mean age of 13.08 years (range 10 to 17 years) were included. Nine ankle fractures and nine ulnar epicondyle fractures treated with the Shark Screw® were compared with 22 ankle fractures and 22 ulnar epicondyle fractures treated with conventional osteosynthesis materials. The results showed that the two treatment options (Shark Screw® and conventional osteosynthesis materials) differed very little regarding clinical and radiological outcomes after fracture treatment. A significant difference was found in operative time between the two treatment methods in favor of the Shark Screw®; however, when including the operative time required for metal removal, no significant difference could be demonstrated. With respect to the length of hospital stay, a significantly longer duration was observed for metal fixation when the time for metal removal was included. A significant difference was also found in the comparison of the duration of sports restriction in favor of the Shark Screw®, although this difference could again not be demonstrated when including the sports restriction period following metal removal. Therefore, the allogeneic bone screw represents a viable alternative for specific indications in fracture management for pediatric and adolescent patients.

**Conclusion:** Based on the results, the allogenic Shark Screw<sup>®</sup> appears to be a promising alternative for fracture fixation in selected indications in children and adolescents. A key advantage of the Shark Screw<sup>®</sup> lies in the elimination of a secondary procedure to remove the metal, which can reduce both potential anesthesiological risks and the total length of hospitalization. Nevertheless, further prospective studies are required to evaluate long-term outcomes and complication rates of this novel technique.

# Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	II
DANKSAGUNGEN .....	III
ZUSAMMENFASSUNG .....	IV
ABSTRACT.....	VI
INHALTSVERZEICHNIS.....	VIII
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN.....	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	2
TABELLENVERZEICHNIS .....	4
<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>5</b>
1.1.  FRAKTUREN IM KINDES- UND JUGENDALTER.....	5
1.2.  DISTALE TIBIAFRAKTUREN .....	5
1.2.1. <i>Anatomie des Sprunggelenks</i> .....	5
1.2.2. <i>Epidemiologie und Unfallmechanismus</i> .....	7
1.2.3. <i>Klassifikationen</i> .....	8
1.2.4. <i>Diagnostik</i> .....	10
1.2.5. <i>Versorgungsmöglichkeiten</i> .....	12
1.2.5.1. <i>Allgemeine Richtlinien</i> .....	12
1.2.5.2. <i>Salter-Harris I Frakturen</i> .....	13
1.2.5.3. <i>Salter-Harris II Frakturen</i> .....	13
1.2.5.4. <i>Salter-Harris III und IV Frakturen</i> .....	14
1.2.5.5. <i>Tillaux- und Triplane-Frakturen</i> .....	14
1.2.6. <i>Komplikationen und Spätfolgen</i> .....	15
1.2.6.1. <i>Wachstumsstörungen</i> .....	15
1.2.6.2. <i>Posttraumatische Komplikationen</i> .....	16
1.3.  EPICONDYLUS ULNARIS-FRAKTUREN .....	17
1.3.1. <i>Anatomie des Ellenbogens</i> .....	17
1.3.2. <i>Epidemiologie und Unfallmechanismus</i> .....	17
1.3.3. <i>Diagnostik</i> .....	18
1.3.4. <i>Versorgungsmöglichkeiten</i> .....	18
1.3.4.1. <i>Allgemeine Richtlinien</i> .....	18
1.3.4.2. <i>Konservative Versorgung</i> .....	19
1.3.4.3. <i>Operative Versorgung</i> .....	19
1.3.5. <i>Komplikationen und Spätfolgen</i> .....	20
1.3.5.1. <i>Spätes Erkennen einer Fragmentinterposition im Gelenk</i> .....	20
1.3.5.2. <i>Verletzung des N. ulnaris</i> .....	20
1.3.5.3. <i>Symptomatische Non-Union</i> .....	20
1.4.  SHARK SCREW® .....	21

<b>2. MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>22</b>
2.1 ZIEL UND HYPOTHESEN.....	22
2.2 DATENERHEBUNG.....	23
2.3 ERLÄUTERUNG DER ANGEgebenEN PARAMETER.....	24
2.4 ANALYSE.....	24
2.5 STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	25
2.6 ETHIKKOMMISSION.....	25
<b>3. RESULTATE.....</b>	<b>26</b>
3.1 GESAMTES PATIENT*INNENGUT .....	26
3.2 VERGLEICH DER KLINISCHEN DATEN DER PATIENT*INNEN NACH BEHANDLUNGSFORMEN	
SPRUNGGELENKS- UND EPICONDYLUS ULNARIS-FRAKTUREN.....	30
3.2.1 <i>Alter der Patient*innen hinsichtlich der Behandlungsformen im Vergleich</i> .....	30
3.2.2 <i>Stationäre Aufenthaltsdauer der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich</i> .....	32
3.2.2.1 <i>Sprunggelenksfrakturen: stationäre Aufenthaltsdauer SG-UE vs. MG-UE</i> .....	33
3.2.2.2 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: stationäre Aufenthaltsdauer SG-OE vs. MG-OE</i> .....	34
3.2.2.3 <i>Dauer bis zur Bewegungsfreigabe der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich</i> .....	35
3.2.2.4 <i>Sprunggelenksfrakturen: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe SG-UE vs. MG-UE</i> .....	36
3.2.2.5 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe SG-OE vs. MG-OE</i> .....	37
3.2.3 <i>Dauer der Sportbefristung der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich</i> .....	38
3.2.3.1 <i>Sprunggelenksfrakturen: Dauer der Sportbefristung SG-UE vs. MG-UE</i> .....	39
3.2.3.2 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: Dauer der Sportbefristung SG-OE vs. MG OE</i> .....	40
3.2.4 <i>OP-Dauer der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich</i> .....	41
3.2.4.1 <i>Sprunggelenksfrakturen: OP-Dauer SG-UE vs. MG-UE</i> .....	42
3.2.4.2 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: OP- Dauer SG-OE vs. MG-OE</i> .....	43
3.2.5 <i>Gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) Shark Screw® vs. Metalleinbringung und -entfernung</i> <i>44</i>	
3.2.5.1 <i>Sprunggelenksfrakturen: Gesamte stationäre Aufenthaltsdauer SG-UE vs. MG-UE</i> .....	45
3.2.5.2 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: Gesamte stationäre Aufenthaltsdauer SG-OE vs. MG-OE</i> ... 46	
3.2.6 <i>Gesamtdauer der Sportbefristung Shark Screw® (SG) vs. Metalleinbringung und -entfernung</i> <i>(MG) 47</i>	
3.2.6.1 <i>Sprunggelenksfrakturen: gesamte Dauer bis zur Sportfreigabe SG-UE vs. MG-UE</i> .....	48
3.2.6.2 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: gesamte Dauer bis zur Sportfreigabe SG-OE vs. MG -OE</i> ... 49	
3.2.6.3 <i>OP-Dauer Shark Screw® (SG) vs. gesamte OP-Dauer (=Dauer der Metalleinbringung und –</i> <i>entfernung (MG))</i> .....	50
3.2.6.4 <i>Sprunggelenksfrakturen: OP-Dauer SG-UE vs. gesamte OP-Dauer MG-UE</i> .....	51
3.2.6.5 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: OP-Dauer SG-OE vs. gesamte OP-Dauer MG-OE</i> .....	52
3.2.7 <i>Postoperative Komplikationen SG (n=18) vs. MG (n=44)</i> .....	53
3.2.7.1 <i>Sprunggelenksfrakturen: Postoperative Komplikationen SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)</i> ... 54	
3.2.7.2 <i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: Postoperative Komplikationen SG-OE (n=9) vs. MG-OE</i> <i>(n=22) 55</i>	
3.2.8 <i>Radiologischer Heilungsverlauf SG (n=18) vs. MG (n=44)</i> .....	56

3.2.8.1	<i>Sprunggelenksfrakturen: radiologischer Heilungsverlauf SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)</i>	57
3.2.8.1.1	<i>Radiologische Verlaufskontrolle nach distaler Tibiafraktur (MG)</i>	60
3.2.8.1.2	<i>Radiologische Verlaufskontrolle nach distaler Tibiafraktur (SG)</i>	62
3.2.8.2	<i>Epicondylus ulnaris-Frakturen: radiologischer Heilungsverlauf SG-UE vs. MG-UE</i>	64
3.2.8.2.1	<i>Radiologische Verlaufskontrolle nach Epicondylus ulnaris-Fraktur (MG)</i>	66
3.2.8.2.2	<i>Radiologische Verlaufskontrolle nach Epicondylus ulnaris-Fraktur (SG)</i>	68
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>70</b>
4.1.	ANTWORTEN AUF DIE FORSCHUNGSFRAGE	70
4.2.	EPIDEMIOLOGISCHE DATEN	70
4.3.	VERGLEICHENDE ÜBERLEGUNGEN	71
4.3.1.	<i>Vergleichbarkeit bezüglich der stationären Aufenthaltsdauer</i>	71
4.3.2.	<i>Vergleichbarkeit bezüglich der Dauer der Sportbefristung</i>	72
4.3.3.	<i>Vergleichbarkeit bezüglich der OP-Zeiten</i>	73
4.3.4.	<i>Vergleichbarkeit bezüglich der postoperativen Komplikationen</i>	74
4.3.5.	<i>Vergleichbarkeit bezüglich des radiologischen Heilungsverlaufs</i>	75
4.3.6.	<i>Zusätzliche Überlegungen</i>	75
4.4.	SCHLUSSFOLGERUNG	77
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>79</b>

## Glossar und Abkürzungen

d	Tage
w	Wochen
min.	Minuten
Lig.	Ligament
SH-Klassifikation	Salter-Harris Klassifikation
BMI	Body Mass Index
CT	Computertomografie
pMDS	periphere Motorik, Durchblutung und Sensibilität
MT V	Os metatarsale V
aps	Anterior-posterior und seitlich
MRT	Magnetresonanztomographie
Proc.	Processus
Art.	Arteria
LKH	Landeskrankenhaus
SG	Shark Screw® Gruppe
MG	Metallgruppe
SG-UE	Shark Screw® Gruppe untere Extremität
SG-OE	Shark Screw® Gruppe obere Extremität
MG-UE	Metallgruppe untere Extremität
MG-OE	Metallgruppe obere Extremität

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Epiphysenfuge (mit freundlicher Genehmigung von Springer)(5)	6
Abbildung 2: Frakturentstehung durch Beteiligung der Epiphyse (mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer Health, Inc.)(13)	10
Abbildung 3: Shark Screw® (mit freundlicher Genehmigung von Life)(36)	21
Abbildung 4: Geschlechterverteilung SG (n=31)	26
Abbildung 5: Geschlechterverteilung MG (n=44)	27
Abbildung 6: Frakturlokalisationen der mittels Shark Screw® versorgten Frakturen als relative Häufigkeiten	28
Abbildung 7: Altersverteilung SG (n=18) vs. MG (n=44)	31
Abbildung 8: stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG (n=18) vs. MG (n=44)	32
Abbildung 9: stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-UE vs. MG-UE	33
Abbildung 10: stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-OE vs. MG-OE	34
Abbildung 11: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe (d) SG (n=18) vs. MG (n=44)	35
Abbildung 12: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe (d) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)	36
Abbildung 13: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe (d) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)	37
Abbildung 14: Dauer der Sportbefristung (w) SG (n=18) vs. MG (n=44)	38
Abbildung 15: Dauer der Sportbefristung (w) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)	39
Abbildung 16: Dauer der Sportbefristung (w) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)	40
Abbildung 17: OP-Dauer (min.) SG (n=18) vs. MG (n=44)	41
Abbildung 18: OP-Dauer (min.) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)	42
Abbildung 19: OP-Dauer (min.) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)	43
Abbildung 20: gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG (n=18) vs. MG (n=44)	44
Abbildung 21: gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)	45
Abbildung 22: gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)	46
Abbildung 23: gesamte Dauer der Sportbefristung (w) SG (n=18) vs. MG (n=44)	47
Abbildung 24: gesamte Dauer der Sportbefristung (w) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)	48
Abbildung 25: gesamte Dauer der Sportbefristung (w) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)	49
Abbildung 26: gesamte OP-Dauer (min.) SG (n=18) vs. MG (n=44)	50
Abbildung 27: gesamte OP-Dauer (min.) SG-UE (n=9) vs. MG-UE(n=22)	51
Abbildung 28: gesamte OP-Dauer (min.) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)	52

Abbildung 29: Röntgen direkt nach Frakturversorgung.....	60
Abbildung 30: Verlaufskontrolle 12 Tage nach OP .....	60
Abbildung 31: Verlaufskontrolle nach 30 Tagen .....	61
Abbildung 32: Verlaufskontrolle nach 3 Monaten .....	61
Abbildung 33: Röntgen bei Erstvorstellung .....	62
Abbildung 34: Röntgen nach operativer Versorgung.....	62
Abbildung 35: Verlaufskontrolle nach 3 Monaten .....	63
Abbildung 36: Verlaufskontrolle nach 6 Monaten .....	63
Abbildung 37: Röntgen am OP-Tag.....	66
Abbildung 38: Verlaufskontrolle 10 Tage nach OP .....	66
Abbildung 39: Verlaufskontrolle 24 Tage nach OP .....	67
Abbildung 40: Verlaufskontrolle 6 Wochen nach OP .....	67
Abbildung 41: Röntgen bei Erstvorstellung .....	68
Abbildung 42: Röntgen am Operationstag .....	68
Abbildung 43: Verlaufskontrolle 8 Wochen nach Operation .....	69
Abbildung 44: Verlaufskontrolle 3 Monate nach OP .....	69

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Postoperative Komplikationen SG-UE vs. MG-UE.....	54
Tabelle 2: Postoperative Komplikationen SG-OE vs. MG-OE.....	55
Tabelle 3: Knöcherner Konsolidierung SG-UE vs. MG-UE .....	58
Tabelle 4: radiologischer Heilungsverlauf SG-UE vs. MG-UE .....	59
Tabelle 5: Knöcherner Konsolidierung SG-OE vs. MG-OE .....	64
Tabelle 6: radiologischer Heilungsverlauf SG-OE vs. MG-OE .....	65

# **1. Einleitung**

## **1.1. Frakturen im Kindes- und Jugendalter**

Traumatische Extremitätenverletzungen im Kindes- und Jugendalter machen in Mitteleuropa etwa ein Viertel aller medizinisch erfassten und dokumentierten Verletzungen aus. In ca. 20-25% handelt es sich dabei um knöcherne Verletzungen, wovon in mehr als der Hälfte mit ca. 55% die langen Röhrenknochen betroffen sind. Die Prävalenz von Frakturen liegt in Mitteleuropa bei 21 bis 25 Frakturen pro 1000 Kinder jährlich, wobei die obere Extremität mit einem Anteil von zwei Dritteln am häufigsten betroffen ist. (1)

Die Inzidenz der einzelnen Frakturen wird in den jeweiligen Altersklassen von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Die häufigste Unfallursache stellen Stürze dar, sei es beim Spielen oder im Rahmen sportlicher Aktivität. Mit zunehmendem Alter werden sturzbedingte Frakturen seltener und Frakturen durch sportliche Aktivität nehmen zu. Es besteht ein signifikanter Unterschied bezüglich der Häufigkeit von Frakturen hinsichtlich des Geschlechts, wobei Buben häufiger als Mädchen betroffen sind. (2)

## **1.2. Distale Tibiafrakturen**

Frakturen der distalen Tibia zählen zu den häufigsten Frakturen im Kindesalter, wobei das Durchschnittsalter der betroffenen Kinder bei zehn Jahren liegt. Sie machen in etwa 15% aller die Epiphysenfuge betreffenden Frakturen aus. Die operative Versorgung von Frakturen der distalen Tibia stellt eine große Herausforderung dar, da die Schonung der Epiphysenfuge essenziell ist, um ein gutes Langzeitoutcome ohne Wachstumsstörungen zu erzielen.(3)

### **1.2.1. Anatomie des Sprunggelenks**

Das Sprunggelenk setzt sich im Wesentlichen aus zwei Teilen zusammen, einerseits dem oberen Sprunggelenk (Art. talocruralis) und andererseits aus dem unteren Sprunggelenk (Art. talotarsalis), welches wiederum aus zwei Teilgelenken besteht (der Art. subtalaris bzw. talocalcanea und der Art. talocalcaneonavicularis). (4)

Die Gelenkspfanne des oberen Sprunggelenks wird medialseitig durch die Tibia (Malleolus medialis) und lateralseitig durch die Fibula (Malleolus lateralis) begrenzt. Diese sogenannte Malleolengabel umschließt und artikuliert mit der Talusrolle (Trochlea tali). Das

obere und das untere Sprunggelenk bilden eine funktionale Einheit und ermöglichen eine Bewegung im Sinne einer Extension und Flexion sowie eine frontale Pro- und Supination um eine schräge, annähernd sagittale Achse. Somit fungiert das obere Sprunggelenk als Scharniergelenk und das untere Sprunggelenk als Zapfen-Kugelgelenk. (4)

Stabilisiert wird das Sprunggelenk durch einen ausgeprägten Bandapparat, welcher sich medialseitig aus dem Ligamentum deltoideum (bestehend aus der Pars tibiotalaris posterior, der Pars tibiocalcanea, der Pars tibiotalaris anterior und der Pars tibionavicularis) und lateralseitig aus den Kollateralbändern (dem Lig. talofibulare posterius, dem Lig. calcaneofibulare und dem Lig. talofibulare anterius) zusammensetzt. Die beiden Unterschenkelknochen werden ventral und dorsal über die Syndesmosis tibiofibularis (zusammengesetzt aus dem Lig. tibiofibulare anterius und dem Lig. tibiofibulare posterius) miteinander verbunden und verleihen so dem Sprunggelenk die notwendige Stabilität. (3,4)

Eine besondere Herausforderung bei der Behandlung von Frakturen der kindlichen, distalen Tibia stellt die Beteiligung der Epiphysenfuge dar. Zu den schwerwiegendsten Komplikationen zählen hierbei in erster Linie vorzeitiger Wachstumsfugenschluss, Bildung von Wachstumsfugenbrücken, Gelenkseinziehungen und Gelenksinkongruenz.

Die Epiphysenfuge ist grundsätzlich in vier Zonen gegliedert, welche sich zwischen der Epi- und der Metaphyse aufspannen. Die mechanische Stabilität hängt vom Verhältnis zwischen Matrix und Zellen ab und nimmt in Richtung der Metaphyse ab. Von der Epiphyse ausgehend kann man die Epiphysenfuge in die Reservezone, die proliferative Zone, die hypertrophe Zone und abschließend, die provisorische Verkalkungszone einteilen (Abbildung 1). (3)

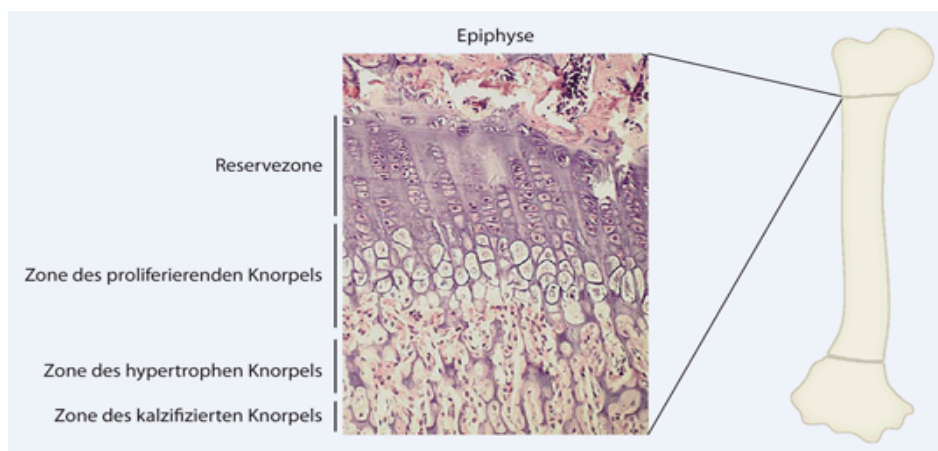


Abbildung 1: Aufbau der Epiphysenfuge (mit freundlicher Genehmigung von Springer)(5)

Aufgrund der Richtung Metaphyse abnehmenden Festigkeit, bedingt durch größere Zellen und einen geringeren Anteil an extrazellulärer Matrix, zeigen sich Verletzungen im Bereich der Epiphysenfuge vor allem in der hypertrophen Zone. Meist bleibt dabei die Reservezone intakt. Es können jedoch auch epiphysenfugenüberschreitende Frakturen (Salter-Harris (SH)-Typ III und IV) auftreten, die bis in die proliferative Zone der Epiphysenfuge reichen und somit ein erhöhtes Risiko für Wachstumsstörungen aufweisen. (3)

Die distale Wachstumsfuge der Tibia trägt mit bis zu 40% zum Längenwachstum der Tibia und mit bis zu 17% zum Längenwachstum der gesamten unteren Extremität bei. Der Verschluss der Wachstumsfuge der distalen Tibia erfolgt bei Mädchen im Alter von etwa 12-17 Jahren und bei Jungen im Alter von 15-20 Jahren. Je jünger die Patient\*innen bei der Verletzung der Wachstumsfuge der distalen Tibia sind, desto höher ist das Risiko für die Entstehung von Wachstumsstörungen im Sinne einer Beinlängendifferenz.

Eine Besonderheit während der Schließungsphase der Wachstumsfuge stellen die sogenannten „Übergangsfakturen“ dar. Durch die teilweise abgeschlossene Fusion der Epiphysenfuge entstehen charakteristische Frakturmuster mit speziellen Versorgungsindikationen. (3)

### **1.2.2. Epidemiologie und Unfallmechanismus**

In etwa 5,5% aller Frakturen im Kindes- und Jugendalter betreffen das Sprunggelenk. Die häufigste Unfallsursache für jene Frakturen stellen Sportverletzungen, insbesondere durch Kontaktsportarten wie Basketball, Fußball und Football, sowie Scooter-Unfälle dar. (3,6)

Buben sind in der Regel zweimal so oft betroffen wie Mädchen. Die höchste Inzidenz liegt im Alter von 8-15 Jahren. Ein vermehrtes Vorkommen von Sprunggelenksfrakturen im Rahmen von sportlichen Aktivitäten wird bei Kindern mit erhöhtem Body Mass Index (BMI) beobachtet. (4,6,7)

Vor dem endgültigen Schluss der Wachstumsfuge ist der noch offene Teil der tibialen Epiphysenfuge der mechanisch schwächste Teil des Gelenks, weshalb das Einwirken von Scherkräften in diesem Bereich eine vollständige Trennung der Fuge zur Folge hat. Während der Übergangsphase, in welcher sich die Wachstumsfuge beginnt zu schließen, besteht ein Ungleichgewicht der Stabilität innerhalb des Gelenks. Der mineralisierte, mediale Teil der Tibia verfügt über eine höhere mechanische Stabilität als der laterale, nicht mineralisierte

Teil. Daher kommt es zum spezifischen Verlauf der Frakturlinie von schräg lateral in die Epiphyse und ins Gelenk. Durch zusätzlich einwirkende Kräfte kann die Verletzung in verschiedene Richtungen verlaufen und so zu unterschiedlichen Frakturmustern führen. (6)

### 1.2.3. Klassifikationen

Um eine objektive Beurteilung von Frakturen zu gewährleisten ist die Verwendung von Klassifikationssystemen essenziell. Sie erleichtern unter anderem die Kommunikation zwischen behandelnden Ärzt\*innen und geben Auskunft über Prognose und vorgesehene Behandlungsmethoden. (8)

Die am häufigsten genutzte Klassifikation zur Einteilung von pädiatrischen Tibiafrakturen ist die Salter-Harris Klassifikation (Abbildung 2). Sie bezieht sich auf Frakturen die, die Wachstumsfuge betreffen und unterteilt sie wie folgt:

- SH I (Epiphysiolysis): Hierbei verläuft die Frakturlinie durch die Wachstumsfuge oder innerhalb der Wachstumsplatte. Sie entstehen durch longitudinale Krafteinwirkung auf die Epiphysenfuge, wodurch die Lösung der Epiphyse von der Metaphyse verursacht wird. Dies lässt sich im Röntgen jedoch nicht immer mit letzter Sicherheit darstellen. Daher ist eine umfassende klinische Untersuchung und das Achten auf eine radiologische Erweiterung der Epiphysenfuge entscheidend. Hinweisend auf eine okkulte Fraktur können in der klinischen Untersuchung unter anderem Druckempfindlichkeit, Schwellung oder Hämatome im Bereich der Epiphysenfuge sein (Abbildung 2). (9)
- SH II (Metaphysäre Frakturen): Bei einer SH II Fraktur ist sowohl die Epiphyse als auch die Metaphyse betroffen. Es handelt sich um eine extraartikuläre Fraktur (Abbildung 2). (9)
- SH III (Epiphysäre Fraktur): Im Vergleich zur SH II Fraktur ist bei der SH III Fraktur der gelenkbildende Anteil mitbetroffen und die Fraktur reicht von der Epiphysenfuge bis in die Epiphyse (Abbildung 2). (9)
- SH IV (Meta-epiphysäre Fraktur): Die SH IV Fraktur betrifft sowohl die Epiphyse, die Epiphysenfuge als auch die Metaphyse (Abbildung 2). (9)
- SH V (Kompressionsfraktur): Diese Art der Fraktur tritt sehr selten und nur im Rahmen eines schwerwiegenden Direkttraumas auf. Durch eine Quetsch- oder Kompressionsverletzung der Epiphysenfuge kann es, durch Übertragung der Kraft über die Epiphyse auf die Epiphysenfuge, zu Störungen der Blutversorgung der

hypertrophen Zone kommen. Dies führt in den allermeisten Fällen zum Wachstumsstillstand (Abbildung 2). (9)

- Übergangsfrakturen treten nur in der Phase der Schließung der Wachstumsfuge auf. Sie werden folgendermaßen eingeteilt:

- Tillaux-Fraktur (=Twoplane-Fraktur): Bei der Tillaux-Fraktur handelt es sich um eine Avulsionsfraktur des lateralen Fugengelenksanteils, die auf das spezifische Schließungsmuster der Epiphysenfuge der distalen Tibia zurückzuführen ist. Die tibiale Wachstumsfuge schließt sich asymmetrisch von medial nach lateral über einen Zeitraum von 18 Monaten. Bei Mädchen beginnt der Verschluss der tibialen Wachstumsfuge in der Regel früher als bei Buben, und zwar zwischen 12 und 14 Jahren. Dies liegt am früher ansteigenden Östrogenspiegel, der den Schluss der Wachstumsfuge vorantreibt. (10,11)

Bei Jungen beginnt die Fusion zwischen 15 und 18 Jahren. Das Frakturmuster scheint mit einer teilweise abgeschlossenen Fusion der medialen Epiphysenfuge in Zusammenhang zu stehen. Aus diesem Grund treten Tillaux-Frakturen nur während der 18-20 Monate dauernden Fusion der Wachstumsfuge auf. Es kommt durch den Zug des Lig. tibiofibulare anterius inferius zu einem Abriss der anterolateralen Fläche der distalen Tibiaepiphyse. Dies entsteht durch die unterschiedlichen Festigkeiten der beteiligten Komplexe. Während der mediale Anteil der Epiphysenplatte bereits verknöchert ist, ist der laterale Teil der Fuge noch nicht komplett fusioniert. Die knorpelige Epiphysenfuge verfügt über weniger mechanische Festigkeit als Knochen, Sehnen und Bänder und bricht deswegen eher, während das distal, zur tibialen Wachstumsplatte ansetzende Lig. tibiofibulare anterius inferius, intakt bleibt. Durch den Zug der Bänder kann das Fragment nach lateral oder anterolateral dislozieren. (9,10,11)

- Triplane-Fraktur: Wie die Tillaux-Fraktur, tritt auch die Triplane-Fraktur während der Phase der Schließung der Wachstumsfuge auf und macht in etwa 5% bis 15% der Frakturen im adoleszenten Alter aus. Sie betrifft im Vergleich zu Tillaux-Fraktur alle drei Ebenen der distalen Tibia. Um den genauen Frakturverlauf, den Verschiebungsgrad und die artikuläre Dislokation bei geplanter operativer Versorgung beurteilen zu können, ist eine Schnittbilddiagnostik mittels CT unumgänglich. (12)

Die Fraktur der Epiphyse erfolgt in sagittaler Ebene, während die Frakturlinie der Metaphyse in der koronalen Ebene sichtbar wird und die Epiphysenfuge in der axialen Ebene getrennt wird. (12)

Am häufigsten treten lateralseitige Triplane-Frakturen auf, da sich die Epiphysenfuge auf der lateralen Seite zuletzt schließt und hier außerdem das zugstarke Lig. tibiofibulare anterius inferius ansetzt. Medialseitige Triplane-Frakturen treten seltener auf, meist in Folge einer Adduktionsbewegung des Sprunggelenks. (9,10,12)

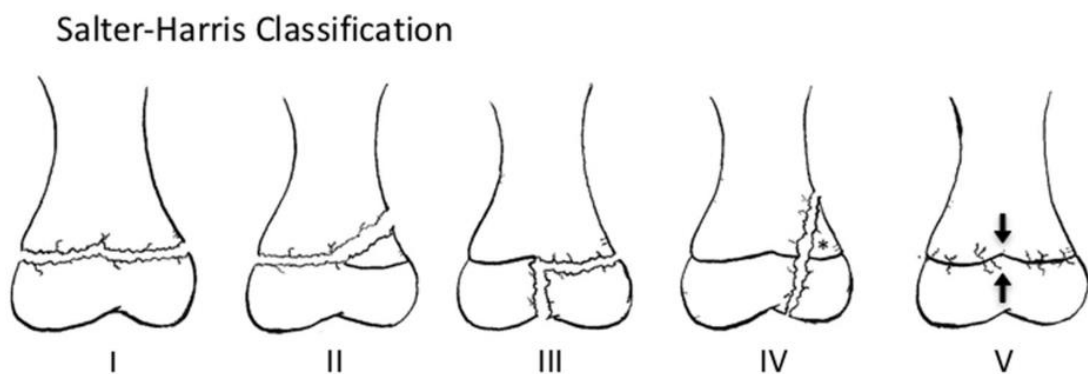


Abbildung 2: Frakturentstehung durch Beteiligung der Epiphyse (mit freundlicher Genehmigung von Wolters Kluwer Health, Inc.)(13)

#### 1.2.4. Diagnostik

Der häufigste Verletzungsmechanismus bei Sprunggelenksfrakturen ist das Supinationstrauma. Zur klinischen Untersuchung gehören die Inspektion, Palpation und Überprüfung der Funktionalität und Stabilität. Inspektorisch sollte vor allem auf offene Wunden, Hämatome, Schwellungen oder eine offensichtliche Fehlstellung im Bereich des Sprunggelenks geachtet werden, wobei Ödeme und Verfärbungen auch erst mit einer Zeitverzögerung von 24-48h sichtbar werden können. Eine Überprüfung der peripheren Motorik, Durchblutung und Sensibilität (MDS) ist obligatorisch, da insbesondere bei Sprunggelenksluxationsfrakturen und dislozierten Frakturen die periphere MDS potenziell gefährdet ist. (6,12)

Weiters sollte eine gezielte Untersuchung des Sprunggelenks erfolgen. Im Rahmen der klinischen Untersuchung werden sowohl der Malleolus medialis und lateralis, die Basis

des Os metatarsale (MT) V, die hohe Fibula, als auch die Syndesmose auf Druckschmerzhaftigkeit sowie durch den Talusvorschubtest die Stabilität überprüft. (3,12)

Zur weiteren Diagnostik werden Röntgenaufnahmen in zumindest zwei Ebenen (antero-posterior und seitlich (aps)) durchgeführt. In der ap-Röntgenaufnahme, in welcher der aufgestellte Fuß senkrecht zur Platte ausgerichtet ist, ist der mediane Teil des oberen Sprunggelenks besser einsehbar und der laterale Teil der Epiphyse ist von der Fibula überlagert. Bei unklaren Befunden stellt der Mortise-View eine zusätzliche Ebene zur genaueren Beurteilung dar. In dieser Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenks, in welcher die Malleolen parallel zur Röntgenplatte liegen, ist der fibulotibiale Gelenksspalt gut einsehbar und Tillaux-Frakturen und Syndesmosenaustrisse sind besser erkennbar. Bei Verdacht auf Verletzungen der Syndesmose und, sofern es die Symptomatik der Patient\*innen es zulässt, können gehaltene Aufnahmen des belasteten Sprunggelenks durchgeführt werden. Diese Stressaufnahmen gehören bei Sprunggelenksfrakturen nicht zum Standardverfahren, da sie meist aufgrund der Schmerzen nicht gut toleriert werden. Sie können aber bei bestimmten Indikationen wichtige Informationen über die Gelenkstabilität und die Ausdehnung der Verletzung liefern. (12,14)

Bei der Beurteilung des Röntgenbildes wird besonderes Augenmerk auf die Epiphysenfuge gelegt. Erweiterungen der knorpeligen Fuge können für eine Verletzung ebendieser sprechen und sind auch im Röntgenbild sichtbar.

Zunehmende Relevanz hat die Computertomografie (CT) in der Beurteilung von pädiatrischen Sprunggelenksfrakturen, da sich dank modernisierter Technologien die Strahlenbelastung auf ein Minimum beläuft (das Äquivalent der Dosis einer CT-Untersuchung einer Extremität wird auf 0,9 Röntgenaufnahmen des Brustkorbs geschätzt). Besonders bei geplanter chirurgischer Versorgung kann das CT wertvolle Auskunft über die Gefäßsituation und Nervenverläufe liefern und Aufschluss über den Frakturverlauf ins Gelenk geben. Vor allem bei der Beurteilung von Triplane-Frakturen, die eine Ausrichtung in drei Ebenen haben, sind CT-Aufnahmen für eine adäquate Frakturbeurteilung von Vorteil. (12,14)

Magnetresonanztomografie (MRT)-Aufnahmen des Sprunggelenks sind nicht standardmäßig indiziert, können aber in Ausnahmefällen, vor allem bei persistierenden Beschwerden nach Ruhigstellung, bei Verdacht auf Osteochondrosis dissecans oder Syndesmosenaustrissen, wichtige Informationen über die Weichteilstrukturen, den Bandapparat, die Syndesmose und den Zustand des Gelenkknorpels liefern. (12,14)

Bei Nichtübereinstimmen der Anamnese und des Verletzungsmechanismus mit der vorliegenden Art der Fraktur, sollten Kindesmisshandlung und pathologische Frakturen ausgeschlossen werden. Meist präsentieren sich misshandelte Kinder mit typischen radiologischen Befunden wie Eckfrakturen und multiplen Frakturen in unterschiedlichen Heilungsstadien, sie können aber auch in bis zu 50% der Fälle mit isolierten Frakturen vorstellig werden. (14,16)

## **1.2.5. Versorgungsmöglichkeiten**

### **1.2.5.1. Allgemeine Richtlinien**

Die allgemeinen Behandlungsziele bei pädiatrischen Sprunggelenksfrakturen umfassen die anatomische Wiederherstellung des Gelenks und der Gelenkskongruenz, das Vermeiden von Wachstumsstörungen und -stillstand, das Vorbeugen von Deformitäten, die Wiederherstellung einer normalen Funktion des Sprunggelenks und die Vermeidung von verfrühtem Auftreten einer degenerativen Arthrose. (14)

Im Behandlungskonzept von Sprunggelenksfrakturen im Kindes- und Jugendalter sollte das Wissen über den Zeitpunkt des Schlusses der Epiphysenfuge mitberücksichtigt werden. Kinder, bei denen nach einer Sprunggelenksfraktur noch mehr als drei Jahre Wachstum zu erwarten sind, sollten hinsichtlich potenziell auftretender Wachstumsstörungen bis zum Wachstumsabschluss regelmäßig nachkontrolliert werden. Dazu sind alle sechs Monate Röntgenaufnahmen indiziert, bis ein symmetrisches Wachstum erkennbar ist. (12)

Bei allen undislozierten Frakturen sollte in erster Linie eine konservative Versorgung mittels Gipsruhigstellung angestrebt werden. Bei dislozierten Gelenksfrakturen mit einer Dislokation von  $> 2$  mm ist eine Reposition des dislozierten Fragments anzustreben. Ob eine Reposition geschlossen oder offen chirurgisch und mit zusätzlicher Stabilisierung mittels Schraubenosteosynthese notwendig ist, hängt von der Stabilität der Fraktur nach der Reposition ab. Gelingt eine geschlossene Reposition unter Analgosedierung nicht, ist eine operative Versorgung mit interner Fixierung in Narkose indiziert. (14)

Unterstützte Repositionstechniken unter Verwendung von Kirschner-Drähten können bei der Reposition hilfreich sein. Bei der internen Fixierung sollte möglichst epiphysenfugenschonend vorgegangen werden. (14)

Sowohl gewaltsame Mehrfachrepositionen als auch Repositionen von Frakturen, die älter als eine Woche sind, sollten wegen der Gefahr der potenziell auftretenden Wachstumsstörungen vermieden werden. Handelt es sich um stark dislozierte SH Typ I und II oder dislozierte SH Typ III und IV Frakturen kann eine offene Reposition mit/ ohne interne Fixierung indiziert sein. (14)

#### **1.2.5.2. Salter-Harris I Frakturen**

SH I Frakturen sind selten disloziert, wenn es sich um isolierte Frakturen der Tibia, ohne begleitende Verletzung der Fibula handelt. Für nicht dislozierte Tibia Frakturen vom SH-Typ I wird eine Ruhigstellung mittels Unterschenkelgips über einen Zeitraum von drei bis vier Wochen, unter regelmäßigen, wöchentlichen Röntgenkontrollen zum Ausschluss einer sekundären Dislokation, empfohlen. Aufgrund der bestehenden Schwellung nach Trauma wird initial ein Unterschenkelspaltgips angelegt, welcher bei der routinemäßigen Kontrolle nach einer Woche geschlossen wird. (14)

Bei dislozierten SH I Frakturen ist eine geschlossene Reposition und die Anlage eines Oberschenkelspaltgipses bei 20 Grad Beugung des Kniegelenks notwendig. Die erste Röntgenkontrolle wird nach einer Woche empfohlen, um eine sekundäre Dislokation nach Reposition auszuschließen. Bei interner Fixierung nach instabiler, geschlossener Reposition des dislozierten Fragments ist ein Unterschenkelgips ausreichend. (14)

#### **1.2.5.3. Salter-Harris II Frakturen**

SH II Frakturen machen 32-58% aller distalen Tibiaepiphysenfugenverletzungen aus und stellen hiermit die häufigste Art der Sprunggelenksfrakturen im Kindesalter dar. In den meisten Fällen können SH II Frakturen konservativ mittels Ruhigstellung im Unterschenkelgips für drei bis vier Wochen und konsekutiver, schrittweiser Belastung und Mobilisierung behandelt werden. (14)

Für alle dislozierten SH II Frakturen wird eine Reposition und Immobilisation in einem Oberschenkelgips empfohlen. Die Empfehlung zur geschlossenen Reposition hängt vom Abstand des dislozierten Fragments ab und wird ab einer Dislokation von  $> 3$  mm empfohlen, um Wachstumsstörungen vorzubeugen. Eine offen chirurgische Reposition ist bei instabilen Frakturen, sowie frustanem geschlossenen Repositionsversuch indiziert. Das primäre Behandlungsziel sollte das Erreichen einer anatomischen Reposition sein. In jedem Fall sollte über das Risiko eines frühzeitigen Wachstumsfugenschluss aufgeklärt werden,

welcher in etwa 13% der Fälle, ungeachtet der Repositionsmaßnahme, auftreten und chirurgische Folgeeingriffe notwendig machen kann. (14,15)

#### **1.2.5.4. Salter-Harris III und IV Frakturen**

Bei den SH III und IV Frakturen handelt es sich um intraartikuläre Frakturen, die insgesamt etwa 25% aller pädiatrischen Sprunggelenksfrakturen ausmachen. Nicht dislozierte Frakturen können mittels Unterschenkelgips behandelt werden, wobei eine Röntgenkontrolle nach einer Woche obligat ist, um eine sekundäre Dislokation auszuschließen. (14)

Bei Frakturen mit einer Dislokation von  $> 2$  mm und einer artikulären Stufenbildung wird eine offene, anatomische Reposition mit anschließender interner Fixierung empfohlen. Dabei wird in erster Linie eine Stabilisierung mittels einer Kompressionsschraube empfohlen, um die Bildung eines Epiphysenfugenspalts zu minimieren. Bei SH III Frakturen sollte die Schraube unter Schonung der Epiphysenfuge eingebracht werden und bei SH IV Frakturen kann eine zusätzliche Schraube zur Fixierung des metaphysären Fragments hilfreich sein. Eine geschlossene Reposition mit perkutaner Schraubenfixierung stellt eine akzeptable Alternative zur offenen Reposition mit Fixierung dar. (14)

#### **1.2.5.5. Tillaux- und Triplane-Frakturen**

Bei Tillaux-Frakturen mit einer Dislokation von  $> 2$  mm sollte eine geschlossene oder offene Reposition mit anschließender interner Fixierung angestrebt werden. Im Zuge des geschlossenen Repositionsmanövers wird der Fuß nach innen rotiert und dann direkte Krafteinwirkung auf den anterolateralen Teil der Tibia ausgeübt. Gelingt dies nicht, können perkutane Stifte eine Alternative darstellen, um das dislozierte Fragment in die anatomische Position zu bewegen, um es anschließend zu fixieren. Methode der Wahl bei der offenen chirurgischen Reposition ist das Einbringen einer Spongiosaschraube innerhalb der Epiphyse. Die Einbringung der Schraube sollte dabei von antero-lateral nach postero-medial erfolgen, um eine gute Kompression auf die Frakturstelle zu erzielen. Postoperativ sollten eine Entlastung für vier Wochen und eine anschließende konsekutive Belastungssteigerung erfolgen. Da es sich bei der Tillaux-Fraktur um eine Übergangsfaktur handelt, sind die betroffenen Kinder näher der Skelettreife und haben so kein Risiko für einen frühzeitigen Wachstumsstopp. (11,12,14)

Eine perfekte anatomische Reposition ist nicht zwingend notwendig. Ebenso können nicht-dislozierte Frakturen mit einer Dislokation von  $< 2$  mm im CT konservativ mittels

Sarmientogips behandelt werden und erfordern ein Kontrollröntgen nach einer Woche zum Ausschluss einer möglichen sekundären Dislokation. (14)

Bei Frakturen mit einer artikulären Stufenbildung von  $> 2$  mm ist eine geschlossene oder offene Reposition unumgänglich. Hierbei ist sowohl eine Herangehensweise mittels perkutaner Schraubenfixierung als auch eine offene chirurgische Reposition mit anschließender Fixierung zulässig. (14)

### **1.2.6. Komplikationen und Spätfolgen**

Zu den primären Behandlungszielen gehören die Aufrechterhaltung der anatomischen Gegebenheiten, die Wiederherstellung der Gelenkskongruenz, die Wiederherstellung der Funktionalität und die Schonung der Epiphysenfuge. In der Nachbeobachtungsphase ist bei Patient\*innen mit noch nicht abgeschlossenem Wachstum in erster Linie auf Anzeichen von partiellem Wachstumsfugenschluss und daraus resultierendem Fehlwachstum und Beinlängendifferenzen zu achten. (14)

#### **1.2.6.1. Wachstumsstörungen**

Das Gesamtrisiko für das Auftreten von Wachstumsstörungen beträgt 15,39%. (17) Einflussfaktoren für die Entstehung von Wachstumsstörungen sind der Frakturtyp, die Art des Traumas, sowie das Vorkommen von wiederholten Repositionen und der Zeitpunkt der Reposition, wobei hochenergetische Traumata, das Ausmaß der anfänglichen Dislokation und die Anzahl der Manipulationsversuche mit einem erhöhten Risiko für Komplikationen einhergehen. Weiters stellt ein Restspalt von  $> 3$  mm ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Wachstumsstörungen dar. (3,14)

Patient\*innen mit erhöhtem Risiko für Wachstumsstörungen werden über mehrere Jahre kontrolliert, bis ein physiologisches Wachstum erreicht wird. Hinweise für die Wiederherstellung des Epiphysenwachstums sind symmetrisch auftretenden Harris-Linien. Unvollständige oder bis in die Epiphysenfuge reichende Harris-Linien können wiederum auf die Bildung von Epiphysenbrücken hinweisen. (3,18,19)

Bei vollständigem Wachstumsstillstand kann es zu Beinlängendifferenzen kommen, während ein asymmetrischer Wachstumsstillstand im Sinne von partiellem Wachstumsfugenschluss meist zusätzlich mit Winkeldeformitäten einhergeht. Die Behandlungsmethode hängt vom noch zu erwartenden Wachstum des Kindes ab. Dies kann

mittels CT und mit Hilfe eines Handwurzelröntgens abgeschätzt werden. Bei einem noch zu erwartenden Wachstum von  $< 1$  cm ist meist eine konservative Behandlung mittels orthopädischen Einlagen ausreichend. Bei Kindern mit einem noch zu erwartenden Wachstum von  $> 1$  cm oder noch drei verbleibenden Wachstumsjahren sollte eine operative Korrektur in Erwägung gezogen werden. Ebenso sollte diese auch bei weniger zu erwartendem Wachstum aber zunehmender Winkeldeformität durchgeführt werden. (3,19)

Bei signifikanter prognostizierter Beinlängendifferenz, zunehmender Winkeldeformität und einer Beteiligung der Epiphysenfuge von mehr als 50% kann über eine temporäre Epiphysiodese der Gegenseite nachgedacht werden, um eine Zunahme der Beinlängendifferenz bis zum Erreichen der Skelettreife zu verhindern. (3,20)

Ein Wachstumsstopp im Bereich der Epiphysenfuge mit nachfolgender Winkeldeformität führt konsekutiv zu einer asymmetrischen Krafteinwirkung auf das Sprunggelenk. Dadurch kommt es zu Veränderungen in der Biomechanik, im Sinne einer eingeschränkten Sprunggelenksbeweglichkeit und asymmetrischen Druckverteilung, wodurch wiederum eine verfrühte Arthrosebildung begünstigt werden kann. Entscheidungen über etwaige operative Korrekturoperationen mittels Umstellungsosteotomien müssen individuell getroffen werden. (3)

#### **1.2.6.2. Posttraumatische Komplikationen**

Das Risiko für die Entstehung von Sprunggelenksarthrosen mit Steifigkeit und chronischen Schmerzen ist bei Patient\*innen mit intraartikulären Sprunggelenksfrakturen deutlich erhöht. Eine erhöhte Inzidenz an posttraumatischen Arthrosen wird in erster Linie bei SH III und IV Frakturen beobachtet, meist einhergehend mit einer persistierenden Varus- oder Valguswinkeldeformität von  $> 5$  Grad. Durch eine korrekte anatomische Reposition kann das Risiko für eine posttraumatisch auftretende Sprunggelenksarthrose signifikant verringert werden. Physikalische Therapien und Rehabilitationsprogramme können als additive Maßnahmen eingesetzt werden, um Gelenkssteifheit zu reduzieren und muskuläre Dysbalancen wieder auszugleichen. (3)

### **1.3. Epicondylus ulnaris-Frakturen**

Ellbogenfrakturen zählen mit einem Anteil von 28% zu den häufigsten Frakturen im Kindes- und Jugendalter, wobei die häufigste Fraktur die suprakondyläre Humerusfraktur ist. Frakturen des medialen Epicondylus machen in etwa 12-20% der pädiatrischen Ellbogenfrakturen aus. Diese Frakturen treten häufig im Rahmen von Ellbogenluxationen und durch wiederholte Valgusbelastungen auf. Bei der Ellbogenluxation kommt es in bis zu 90% der Fälle zu Begleitverletzungen. In erster Linie ist dabei der Epicondylus ulnaris, seltener das radiale Seitenband oder der Condylus radialis betroffen. Frakturen des Caput radii, der proximalen Ulna oder des Proc. coronoideus sind möglich, treten aber selten auf. Liegt eine neurovaskuläre Beteiligung vor, ist eine rasche Behandlung indiziert. Je nach Ausmaß der Dislokation des Abrissfragments des Epicondylus ulnaris ist eine operative Reposition mit interner Stabilisierung erforderlich. (4,20,21)

#### **1.3.1. Anatomie des Ellenbogens**

Beim Ellbogengelenk handelt es sich um eine *Articulatio composita*, bestehend aus der distalen Epiphyse des Humerus und den proximalen Anteilen des Radius und der Ulna. Durch die Zusammensetzung aus mehreren Gelenksanteilen (*Art. humeroulnaris*, *Art. humeroradialis* und *Art. radioulnaris proximalis*) ergibt sich die Möglichkeit zur Flexion und Extension um eine transversale Achse im Sinne eines Scharniergelenks und eine Beteiligung an Pronation und Supination des Unterarms, indem sich der Radius um die Ulna dreht. (4)

Eine Gelenkkapsel umhüllt alle drei Skelettanteile unter Aussparung der Epicondylen. Für Stabilität sorgen das *Lig. collaterale ulnare*, welches sich fächerförmig vom Epicondylus medialis zur Ulna aufspannt und das *Lig. collaterale radiale*, welches vom Condylus lateralis ins *Lig. anulare radii* einstrahlt. (4)

#### **1.3.2. Epidemiologie und Unfallmechanismus**

Die Fraktur des Epicondylus ulnaris ist die dritthäufigste Fraktur des Ellbogengelenks im Kindesalter. Sie tritt häufig im Alter zwischen neun und vierzehn Jahren auf. Jungen sind häufiger davon betroffen als Mädchen. Sportarten wie Fußball, Baseball oder Gymnastik gehen mit einem erhöhten Frakturrisiko des Epicondylus ulnaris einher. (4)

Meist treten Frakturen des Epicondylus ulnaris durch axiale Kompression bei gleichzeitiger Valgusbelastung wie zum Beispiel beim Sturz auf den ausgetreckten Arm während sportlicher Aktivitäten auf. Weitere Unfallmechanismen sind der direkte Sturz auf das Olecranon, sowie der Abriss des medialen Epicondylus durch eine heftige Kontraktion der Beugemuskulatur des Unterarms und wiederholte valgische Belastungen wie zum Beispiel beim Werfen eines Balls. (23,24,25)

### **1.3.3. Diagnostik**

Starke, stechende Schmerzen am medialen Epicondylus fortgeleitet in den Unterarm stellen typische Symptome einer Fraktur des Epicondylus ulnaris dar. Meist besteht dabei eine Schonhaltung in flektierter Stellung im Ellbogengelenk. Offensichtliche Deformitäten, Schwellungen und Druckempfindlichkeit sind ebenfalls hinweisgebend. (25)

Zusätzlich kann es zu Nervenläsionen des N. ulnaris kommen, mit konsekutiver Sensibilitätsstörung der ulnaren Kante des vierten, sowie des gesamten fünften Fingers oder motorischen Dysfunktionen im Sinne einer „Krallenhand“. Bei der klinischen Untersuchung ist daher die Überprüfung der peripheren MDS obligat. (25)

Zum diagnostischen Standardverfahren bei suszipten Ellbogenfrakturen gehört die radiologische Bildgebung mittels Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen (aps). (25)

### **1.3.4. Versorgungsmöglichkeiten**

#### **1.3.4.1. Allgemeine Richtlinien**

Eine absolute Indikation für die operative Versorgung einer Fraktur des Epicondylus ulnaris stellen offene Frakturen und Dislokationen von Frakturfragmenten mit intraartikulärer Einklemmung dar. Zu den relativen OP-Indikationen zählen begleitende Ulnarispareesen und eine deutliche Instabilität des Ellbogengelenkes. Frakturen, welche nicht eindeutig die zuvor genannten Kriterien aufweisen, bedürfen einer individuellen Behandlungsstrategie. Die derzeitige Studienlage liefert keine eindeutigen Ergebnisse, inwiefern Patient\*innen von einer operativen Versorgung, im Vergleich zu einer konservativen Behandlung profitieren. Allgemeingültiger Konsensus in der Kinder- und Jugendchirurgie ist, dass bei einer Dislokation des Frakturfragments von > 3mm eine offene Reposition und interne Fixation angestrebt werden sollte. Eine harte Indikation wird meist

ab >5 mm Dislokation gestellt. Frakturen mit minimaler Dislokation (< 3 mm) können mit Aussicht auf ein gutes funktionelles Ergebnis konservativ behandelt werden. (26)

Nicht operativ versorgte Frakturen zeigen häufig eine höhere Rate an verbleibender sagittaler Deformität, sowie ein Therapieversagen in 8,9-20,6%, dass schlussendlich eine operative Versorgung nötig macht. Weitere Faktoren, die für eine operative Versorgung sprechen sind Rotationsfehlstellungen, Varus-/Valgusfehlstellungen und ein Schaft-/Kondylenwinkel von unter 30 Grad. (27)

Vor allem Patient\*innen mit hohen Anforderungen an die Funktionalität des Ellbogengelenks für zum Beispiel sportliche Aktivitäten, profitieren von einer operativen Versorgung, weil dadurch eine orthotope, anatomische Reposition erzielt werden kann. Außerdem werden durch die operative Versorgung Spätfolgen wie späte Deformität, Pseudoarthrosenbildung und die Wahrscheinlichkeit von Steifheit durch verlängerte Immobilisation minimiert. (24,28)

#### **1.3.4.2. Konservative Versorgung**

Nichtdislozierte Frakturen können mittels Ruhigstellung in einem Oberarmgips behandelt werden. Der Ellbogen wird dabei in einer Beugstellung von 90 Grad immobilisiert und der Unterarm wird in eine neutrale Position gebracht. Nach Abklingen der Schwellung darf die Oberarmgipslonguette geschlossen werden. Ein Kontrollröntgen nach einer Woche wird empfohlen, um eine sekundäre Dislokation, sowie weitere Kontrollröntgen im Verlauf, um frühe Anzeichen einer Non-Union zu erkennen. In den meisten Fällen ist eine Immobilisation für drei bis vier Wochen ausreichend. (26)

#### **1.3.4.3. Operative Versorgung**

Bei einer Dislokation des Fragments von > 5 mm, einer Rotationsfehlstellung des Fragments, einer offenen Fraktur oder beim Vorliegen eines Gefäß- und/oder Nervenschadens ist ein operativer Eingriff mittels offener Reposition indiziert. Das Fragment sollte je nach Größe mittels Bohrdraht oder Schraubenosteosynthese fixiert werden. Anschließend erfolgt eine Immobilisation in einer Oberarmgipslonguette oder in einer Oberarmschiene für zwei bis drei Wochen. (28)

### **1.3.5. Komplikationen und Spätfolgen**

#### **1.3.5.1. Spätes Erkennen einer Fragmentinterposition im Gelenk**

Wenn verkeilte Fragmentstücke im Gelenkspalt nicht erkannt werden, kann dies zu erheblichen Komplikationen, wie zum Beispiel zum Verlust der Ellbogenbeweglichkeit, führen. Eine späte operative Exaktion des Fragments führt in den meisten Fällen zu keiner wesentlichen Besserung der bereits eingeschränkten Funktionalität des Gelenks. (29)

#### **1.3.5.2. Verletzung des N. ulnaris**

Die Verletzung des N. ulnaris im Zusammenhang mit einer Epicondylus ulnaris-Fraktur wird mit einer Häufigkeit von 10% bis 16% beschrieben. Eine Fragmentinterposition in den Gelenkspalt ist in 50% der Fälle mit einer N. ulnaris-Läsion assoziiert. (29)

Auch im Zuge der operativen Versorgung, welche offen chirurgisch vorgenommen wird, kann der N. ulnaris verletzt werden. Tritt eine N. ulnaris-Symptomatik mit verzögertem Onset (etwa eine bis zwei Wochen postoperativ) auf, ist der Funktionsverlust am wahrscheinlichsten auf die Bildung von Narbengewebe zurückzuführen und kann durch eine mikrochirurgische Neurolyse revidiert werden. (29)

#### **1.3.5.3. Symptomatische Non-Union**

Symptomatische Pseudoarthrosen präsentieren sich häufig mit Schmerzen beim Heben von Gewichten oder Werfen eines Balls, sowie durch einen eingeschränkten Bewegungsumfang, Valgusinstabilität oder Kompression des N. ulnaris. Als Behandlungsmaßnahme kann eine offene Reposition und interne Fixierung angestrebt werden, diese zeigt vor allem radiologisch ein gutes Ergebnis. Außerdem kann damit eine Verbesserung des Schmerzscores von durchschnittlich 6,2 auf 0,5 Punkte und eine Wiederaufnahme von sportlicher Aktivität erreicht werden. (30)

Kommt es jedoch zu anhaltenden Beschwerden, wird das dislozierte Fragment operativ reponiert und fixiert. Dies führt in den meisten Fällen zu einem sehr guten Outcome und zu Beschwerdefreiheit. (29)

## 1.4. Shark Screw®

Bei der Shark Screw® (Abbildung 3) handelt es sich um eine Schraube aus allogenen, menschlichen Knochenkortexmaterial mit einem Gewindedesign und einem Durchmesser von 3,5 bis 5,0 mm. Sie wurde ursprünglich für die stabile Osteosynthese in der Orthopädie und Unfallchirurgie entwickelt und kann sowohl eigenständig als auch in Kombination mit Implantaten aus Metall verwendet werden. (32,33)

Im Bereich der adulten Chirurgie hat die allogene Knochenkortexschraube bei der Fixierung von Frakturen, der Osteotomie, bei primärer Arthrodesen, bei Salvage-Arthrodesen und in der operativen Versorgung von Pseudoarthrosen konstante Erfolge gezeigt. Durch die Verbindung der mechanischen und biologischen Aspekte des Heilungsprozesses ist die Shark Screw® in vielen verschiedenen orthopädischen und unfallchirurgischen Bereichen anwendbar. (32,33)

Nach dem Einbringen der Shark Screw® in den vitalen Knochen der Patient\*innen sprossen Gefäße vom umliegenden Gewebe ein und ermöglichen eine Besiedelung durch körpereigene Zellen, die in das Havers-System der Schraube eindringen. Durch An- und Abbauprozesse des Knochens wird die Schraube sukzessive in die bestehende Knochenstruktur integriert und stetig in patient\*inneneigenen Knochen umgewandelt. Da es bei der allogenen Knochenschraube im Körper der Patient\*innen zu einem physiologischen Remodelling kommt, passiert dies ohne Destabilisierung der Schraube selbst. Insbesondere für pädiatrische Patient\*innen entfallen somit Folgeeingriffe zur Metallentfernung und die damit verbundenen Risiken. (33,34)

Die Shark Screw® hat ein feines Gewinde mit hoher Rotationstabilität, jedoch werden Scherkräfte weniger gut toleriert. Es wird angenommen, dass die allogene Knochenschraube durch den menschlichen Knochenmetabolismus nach einem Jahr vollständig in den Patient\*innenknochen integriert und radiologisch nicht mehr vom umliegenden Knochengewebe abgrenzbar ist. (35)



Abbildung 3: Shark Screw® (36)

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Ziel und Hypothesen

Ziel dieser retrospektiven Datenanalyse war es zu überprüfen, ob die humane Knochentransplantatschraube namens Shark Screw® im Rahmen der Frakturversorgung bei speziellen Indikationen im Kindes- und Jugendalter eine vergleichbare Alternative zur herkömmlichen Frakturversorgung mit Osteosynthesematerialien aus Metallen darstellt. Dazu wurden die stationäre Aufenthaltsdauer in Tagen (d), die Remobilisierungszeiten in Tagen (d), die Dauer bis zur Sportfreigabe in Wochen (w), die Operationszeiten in Minuten (min), etwaige postoperative Komplikationen und der radiologische Knochenheilungsverlauf (anhand von Röntgenbildern) von herkömmlichen, operativen Verfahren mit der Behandlung mittels Shark Screw® verglichen.

Als Nullhypothese nahmen wir an, dass die Anwendung von humanen Knochentransplantatschrauben zur Frakturversorgung bei speziellen Indikationen im Kindes- und Jugendalter zu einem schlechten Outcome führt und nicht mit herkömmlichen Osteosynthesematerialien aus Metall vergleichbar ist. Die Verwendung der Shark Screw® ist nicht vergleichbar mit der Verwendung herkömmlicher Osteosynthesematerialien aus Metall bezogen auf die stationäre Aufenthaltsdauer (d), Remobilisierungszeit (d), Dauer bis zur Sportfreigabe (w), die OP-Zeit (min), etwaige postoperative Komplikationen und den radiologischen Heilungsverlauf (beurteilt anhand von Röntgenbildern).

Als Alternativhypothese definierten wir, dass die Anwendung von humanen Knochentransplantatschrauben zur Frakturversorgung bei speziellen Indikationen im Kindes- und Jugendalter zu einem guten Outcome führt und diese mit der bisher gängigen Methode zur Frakturversorgung mittels Osteosynthesematerialien aus Metall, insbesondere bezogen auf die stationäre Aufenthaltsdauer (d), die Remobilisierungszeit (d), die Dauer bis zur Sportfreigabe (w), die OP-Zeit (min), etwaige postoperative Komplikationen und den radiologischen Knochenheilungsverlauf (beurteilt anhand von Röntgenbildern), vergleichbar ist.

## 2.2 Datenerhebung

Im Rahmen dieser retrospektiven Fall-Serien-Studie wurden die Daten von Patient\*innen, welche im Zeitraum vom 01.01.2023 bis 27.03.2024 an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie der Medizinischen Universität Graz im Rahmen einer Frakturversorgung mittels Shark Screw® behandelt wurden, erfasst. Als Vergleichsgruppe wurden die Daten von Kindern und Jugendlichen, welche im Zeitraum vom 15.04.2022 bis 17.05.2024 an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie wegen einer Epicondylus ulnaris-Fraktur oder Sprunggelenksfraktur mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien aus Titan und Stahl versorgt wurden, herangezogen. Die Fallrekrutierung und explorative Datenanalyse erfolgte über die elektronische Patient\*innendatenbank des Landeskrankenhauses (LKH) Graz (Medocs®). Über dieses elektronische Kommunikations- und Informationssystem wurden anhand von Arztbriefen, Ambulanzbefunden, Dekursen, Operationsberichten, radiologischen Befunden und Röntgenbildern, Informationen über allgemeine und klinische Daten der Kinder und ihre Frakturen, angelegt.

Für jene Patient\*innen, die im Rahmen der Frakturversorgung eine Osteosynthese mittels Shark Screw® erhalten haben, wurden folgende Parameter erhoben: Datum der Erstvorstellung, Alter zum Zeitpunkt der Erstvorstellung, Geschlecht, Diagnose, betroffene Seite und Extremität, Dauer des stationären Aufenthalts, Dauer bis zur Bewegungsfreigabe, Dauer der Sportbefristung, Dauer der Operation, radiologischer Heilungsverlauf (hinsichtlich knöcherner Konsolidierung), Auftreten einer sekundären Dislokation und/oder eines Implantatbruchs, Auftreten von Komplikationen oder Wundheilungsstörungen und Notwendigkeit einer Reoperation.

Für jene Patient\*innen, welche mit herkömmlichen Osteosynthesematerialien aus Titan oder Stahl versorgt wurden, wurden zusätzlich zu den oben genannten Parametern noch folgende erhoben: Datum der Metallentfernung, OP-Dauer bei Metallentfernung, stationäre Aufenthaltsdauer bei Metallentfernung, Dauer der Sportbefristung nach Metallentfernung, Notwendigkeit von Folgeeingriffen und deren Begründung, sowie stationäre Aufenthaltsdauer bei Folgeeingriffen.

## 2.3 Erläuterung der angegebenen Parameter

Das Alter der Patient\*innen zum Zeitpunkt der Erstvorstellung wurde in Jahren angegeben. Die Operationsdauer wurde in Minuten und die zeitliche Aufenthaltsdauer der Patient\*innen im stationären Bereich wurde in Tagen angegeben. Die Dauer bis zur Bewegungsfreigabe und die Dauer der Sportpause wurden in Tagen angegeben, wobei letztere zur besseren Übersicht zusätzlich in Wochen angeführt wurde. Um den Verlauf der knöchernen Heilung zu beurteilen, wurde erfasst, wie lange die Shark Screw® im Röntgen sichtbar war. Dieser Parameter wurde in Monaten angegeben. Die knöcherne Konsolidierung wurde anhand von Röntgenbildern durch zwei unabhängige Kinderradiologen beurteilt und klassifiziert, wobei „0“ keiner Konsolidierung, „1“ einer zunehmenden knöchernen Konsolidierung und „2“ einem nicht mehr einsehbaren Frakturspalt entsprach. Weiters wurde der radiologische Heilungsverlauf genauer spezifiziert und mit „sehr gut“, „gut“, „moderat“ und „schlecht“ beurteilt. Wobei die Einteilung wie folgt dargestellt wurde:

- **„Sehr gut“:** keine osteoporotischen Veränderungen, keine zystischen Aufhellungen bzw. kein Aufhellungssaum um die Knochenschraube; ausreichend knöcherne Konsolidierungszeichen
- **„Gut“:** partiell osteoporotische Veränderungen oder Aufhellungen bzw. zystischer Aufhellungssaum <2 mm um die Knochenschraube; knöcherne Konsolidierungszeichen
- **„Moderat“:** osteoporotische Veränderungen, verminderte Knochensubstanz, zystische Aufhellungen bzw. Aufhellungssaum >2 mm um die Knochenschraube; Zeichen für nicht regelrechtes Einwachsen
- **„Schlecht“:** osteoporotische Veränderungen mit verminderter Knochensubstanz, zystische Aufhellungen um die Schraube >2 mm; knöchern nicht konsolidiert

## 2.4 Analyse

Die statistische Analyse der Studiendaten erfolgte nach Erhebung und Verwaltung dieser mit Hilfe von Microsoft Excel 16.66.1 und SPSS (Version 28).

## **2.5 Statistische Auswertung**

Die Daten wurden anhand von Kreis- beziehungsweise Balkendiagrammen und Tabellen dargestellt und mit Hilfe von schematischen Darstellungen, anatomischen Abbildungen und Röntgenbildern veranschaulicht.

Es wurden Daten der mittels Shark Screw<sup>®</sup> behandelten Patient\*innen (SG) mit jenen, welche mit Metallen (MG) versorgt wurden, verglichen. Zusätzlich wurden die Subgruppen „Sprunggelenksfrakturen“ (SG-UE) und „Epicondylus ulnaris-Frakturen“ (SG-OE) innerhalb der Shark Screw<sup>®</sup> Gruppe geformt, welche stellvertretend für obere und untere Extremität zu verstehen sind.

Im Rahmen der statistischen Auswertung wurden der Mittelwert, die Standardabweichung und die Spannweite ermittelt. Um etwaige signifikante Unterschiede zwischen metrischen Daten zu ermitteln, wurde der Mann-Whitney-U Test und der Kruskal-Wallis-Test verwendet.

Für kategorielle Daten wurde je nach Gruppengröße der Chi-Quadrat-Test oder der exakte Test nach Fisher verwendet. Statistisch signifikante Unterschiede wurden ab einem Wert von  $p < 0,05$  angenommen.

## **2.6 Ethikkommission**

Die Studie wurde ordnungsgemäß von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz überprüft und ohne Einwände am 08.07.2024 bewilligt (1081/2024).

### 3. Resultate

#### 3.1 Gesamtes Patient\*innengut

Zur Auswertung und zum Vergleich der Osteosynthesematerialien wurden 75 Patient\*innen mit einem mittleren Alter von 13,7 Jahren (Standardabweichung 2,4, Spanne 7-17 Jahre) inkludiert. 32% (n=24) der Patient\*innen waren weiblich und 68% (n=51) männlich.

Bei einem Anteil von 41,3% der Patient\*innen (n=31) wurde eine primäre Frakturversorgung mittels Shark Screw® (SG) durchgeführt, während bei 58,7% der Patient\*innen (n=44) ein herkömmliches Osteosyntheseverfahren aus Titan oder Stahl (MG) gewählt wurde. In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels Shark Screw® (SG) versorgt wurden, gestaltete sich die Aufteilung nach Geschlechtern wie folgt: bei einem Anteil von 32,3% (n=10) handelte es sich um weibliche und bei einem Anteil von 67,7% (n=21) handelte es sich um männliche Patient\*innen (Abbildung 4).

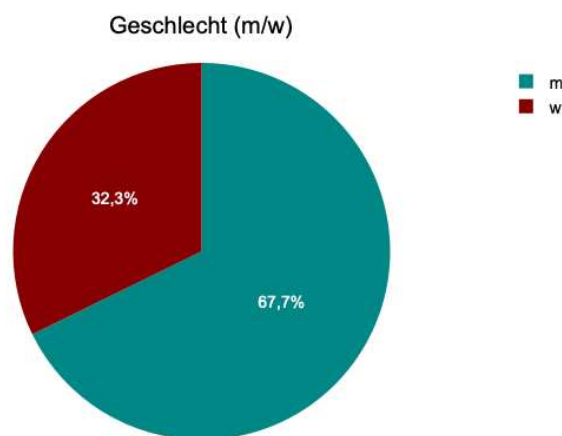


Abbildung 4: Geschlechterverteilung SG (n=31)

In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien (MG) versorgt wurden, verhielt sich die Geschlechterverteilung folgendermaßen: bei 31,8% (n=14) handelte es sich um Patientinnen und bei 68,2% (n=30) handelte es sich um Patienten (Abbildung 5).

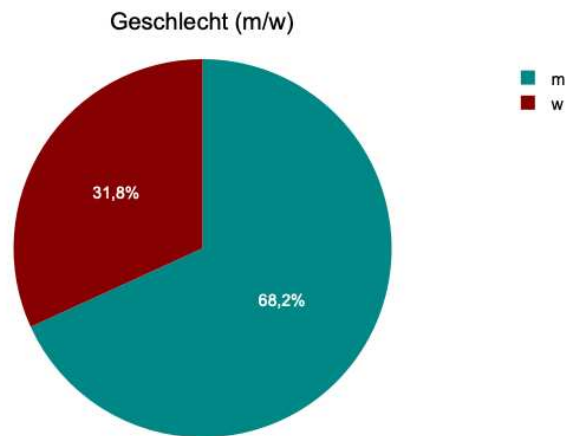


Abbildung 5: Geschlechterverteilung MG (n=44)

Die Diagnosehäufigkeiten der mittels Shark Screw® (SG) versorgten Patient\*innen, zeigten sich wie folgt: insgesamt wurden 31 Diagnosen erfasst, darunter 29,03% (n=9) Sprunggelenksfrakturen (SG-UE), 29,03% (n=9) Epicondylus ulnaris-Frakturen (SG-OE), jeweils 9,68% Patellafrakturen (n=3) und Scaphoidpseudoarthrosen (n=3), sowie jeweils 6,45% Jonesfrakturen (n=2) und Olecranonfrakturen (n=2), außerdem mit einem Anteil von 3,23% jeweils eine Claviculafraktur (n=1), eine Pseudoarthrose des Radius nach Unterarmfraktur (n=1) und eine Scaphoidfraktur (n=1) (Abbildung 6).



Abbildung 6: Frakturlokalisationen der mittels Shark Screw® versorgten Frakturen als relative Häufigkeiten

In der Gruppe, der Patient\*innen, welche mit herkömmlichen Osteosyntheseverfahren (MG) versorgt wurden, zeigte sich die Diagnoseverteilung ausgewogen. In 50% (n=22) handelte es sich um Sprunggelenksfrakturen (MG-UE) und in 50% (n=22) um Epicondylus ulnaris-Frakturen (MG-OE).

Weiters wurden Daten bezüglich der betroffenen Seite und der betroffenen Extremität erhoben. Hier zeigte sich die Aufteilung in der Gruppe der mittels Shark Screw® versorgten Patient\*innen (SG) folgendermaßen: bei 45,2% (n=14) war die linke und bei 54,8% (n=17) die rechte Seite betroffen. Die untere Extremität war in 45,2% (n=14) und die obere in 54,8% (n=17) betroffen.

In der Vergleichsgruppe (MG) zeigte sich folgende Verteilung: von den 44 Frakturen, betrafen 52,3% (n=23) die rechte und 47,7% (n=21) die linke Seite. Die obere Extremität war in 50% (n=22) und die untere in ebenfalls 50% (n=22) betroffen.

Hinsichtlich der Unfallursache zeigte die Auswertung in der SG (n=31) folgende Ergebnisse: am häufigsten kam es, mit 67,7% (n=21), zu Verletzungen bei sportlichen Aktivitäten, vor allem beim Ausüben von Ballsportarten. Weitere Unfallursachen waren, mit 16,1% (n=5), Unfälle im privaten Bereich, sowie mit ebenfalls 16,1% (n=5) Verkehrsunfälle.

In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels herkömmlichen Osteosyntheseverfahren versorgt wurden (MG), zeigte sich, dass sich 75% (n=33) eine Verletzung beim Sport zugezogen hatten, 22,7% (n=10) hatten einen Unfall im privaten Bereich und 2,27% (n= 1) hatten einen Verkehrsunfall.

## **3.2 Vergleich der klinischen Daten der Patient\*innen nach Behandlungsformen Sprunggelenks- und Epicondylus ulnaris-Frakturen**

Um einen besseren Vergleich zwischen den zwei Behandlungsformen zu ermöglichen, beschränkte man sich in der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden, auf jeweils zwei Frakturentitäten. Einerseits auf Sprunggelenks- und andererseits auf Epicondylus ulnaris-Frakturen. Im Folgenden wird der Vergleich zwischen Behandlung der zwei Frakturentitäten mittels Shark Screw<sup>®</sup> (SG, n=18) und Metallversorgung (MG, n=44) im Allgemeinen, sowie isoliert auf Sprunggelenks- (SG-UE, n=9 vs. MG-UE, n=22) beziehungsweise Epicondylus ulnaris-Frakturen (SG-OE, n=9 vs. MG-OE, n=22) bezogen, dargestellt.

### **3.2.1 Alter der Patient\*innen hinsichtlich der Behandlungsformen im Vergleich**

In der Gruppe der Patient\*innen, welche auf Grund von Sprunggelenks- und Epicondylus ulnaris-Frakturen mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden (n=18), lag das mittlere Alter der Kinder und Jugendlichen bei 13,9 Jahren (Standardabweichung 1,9 Jahre). Wobei der/die jüngste Patient\*in zehn und der/die älteste Patient\*in 17 Jahre alt war.

In der Gruppe der Patient\*innen, die mit herkömmlichen Osteosyntheseverfahren versorgt wurden (n=44), zeigte sich die Altersverteilung wie folgt: der/die jüngste Patient\*in war sieben Jahre und der/die älteste Patient\*in 17 Jahre alt. Das mittlere Alter lag bei 13,0 Jahren (Standardabweichung 2,7 Jahre) (Abbildung 7).

Der statistische Vergleich des Alters zwischen den zwei Gruppen war statistisch nicht signifikant ( $p=0,322$ ; Mann-Whitney-U Test).

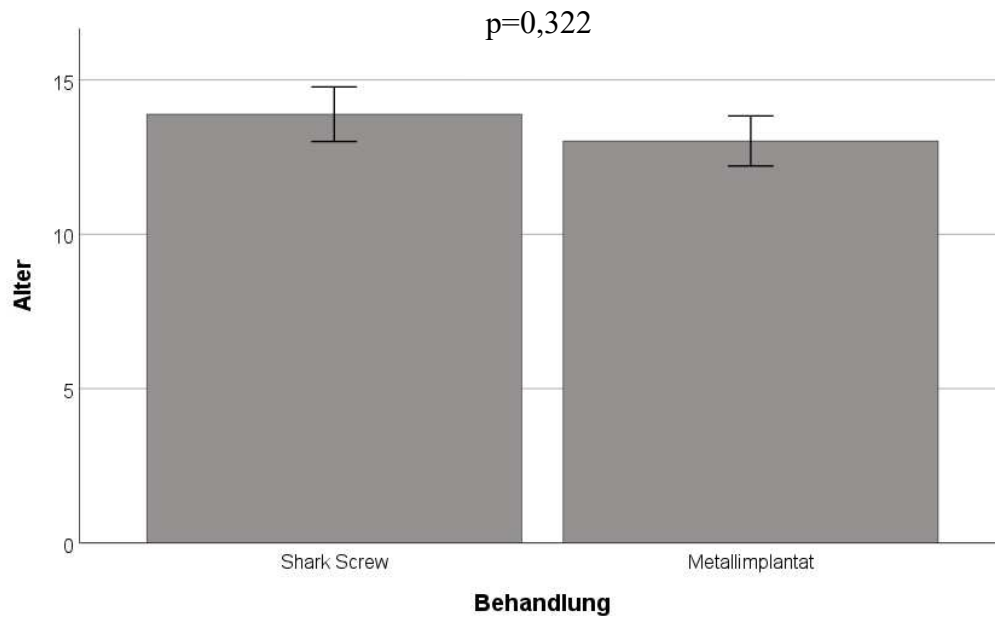


Abbildung 7: Altersverteilung SG ( $n=18$ ) vs. MG ( $n=44$ )

### 3.2.2 Stationäre Aufenthaltsdauer der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich

Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer derjenigen Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® versorgt wurden (n=18), betrug 3,4 Tage (Standardabweichung 1,3 Tage). Davon belief sich der kürzeste Aufenthalt auf zwei und der längste auf sieben Tage.

Kinder und Jugendliche, welche mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien aus Metall versorgt wurden (n=44), wiesen eine durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer von 3,7 Tagen (Standardabweichung 2,4 Tage) auf, wobei die minimale Aufenthaltszeit zwei und die maximale 13 Tage betrug (Abbildung 8).

Hinsichtlich der stationären Aufenthaltsdauer zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen (p=0,840, Mann-Whitney-U Test).

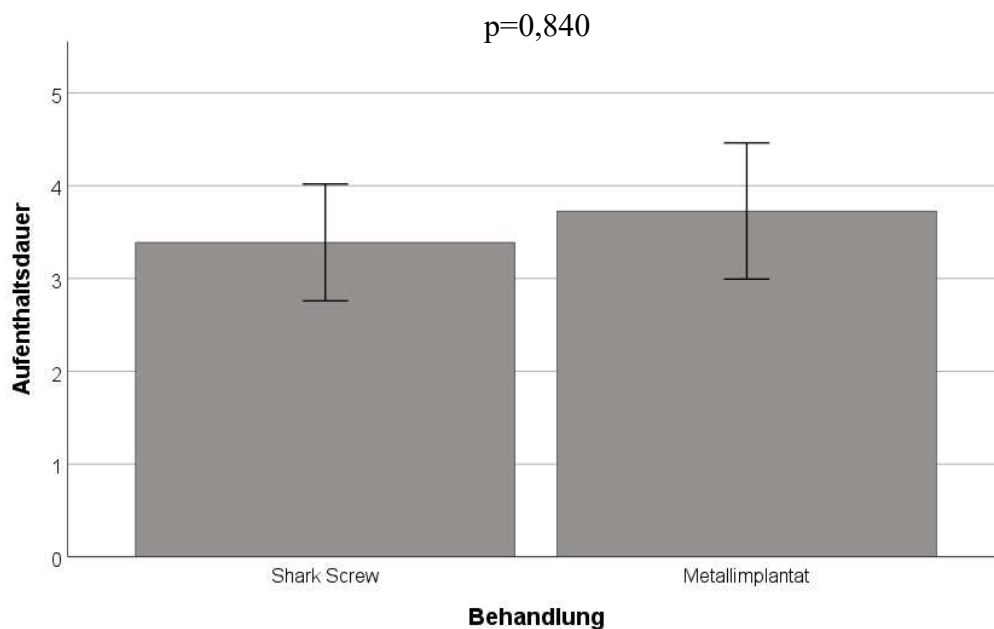


Abbildung 8: stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG (n=18) vs. MG (n=44)

Hinzu kommt in der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Titan oder Stahl versorgt wurden (n=44), die stationäre Aufenthaltsdauer (d) zur Metallentfernung. Bei der stationären Aufenthaltsdauer zum Zweck der Metallentfernung handelte es sich im Großteil der Fälle (81,8%, n=36) um einen tagesklinischen Aufenthalt. Im Mittel hielten sich die Patient\*innen zur Metallentfernung 1,2 Tage im Krankenhaus auf. Die minimale stationäre Aufenthaltsdauer betrug einen Tag und die maximale sieben.

### 3.2.2.1 Sprunggelenksfrakturen: stationäre Aufenthaltsdauer SG-UE vs. MG-UE

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Sprunggelenksfrakturen der beiden Gruppen (SG-UE, n=9 und MG-UE, n=22), stellvertretend für die Frakturversorgung der unteren Extremität, gesondert verglichen.

Die mittlere stationäre Aufenthaltsdauer der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden (SG-UE), betrug vier Tage (Standardabweichung 1,4 Tage), wobei die kürzeste zwei Tage und die längste sieben Tage betrug.

In der Vergleichsgruppe (MG-UE) betrug die mittlere Aufenthaltsdauer 5,1 Tage (Standardabweichung 2,8 Tage), wobei sich der kürzeste Aufenthalt, ebenso wie in der ersten Gruppe auf zwei Tage und der längste auf 13 Tage belief.

Als Ergebnis zeigte sich bezüglich der stationären Aufenthaltsdauer (d) kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den zwei Behandlungsgruppen (SG-UE und MG-UE) ( $p=0,356$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 9).

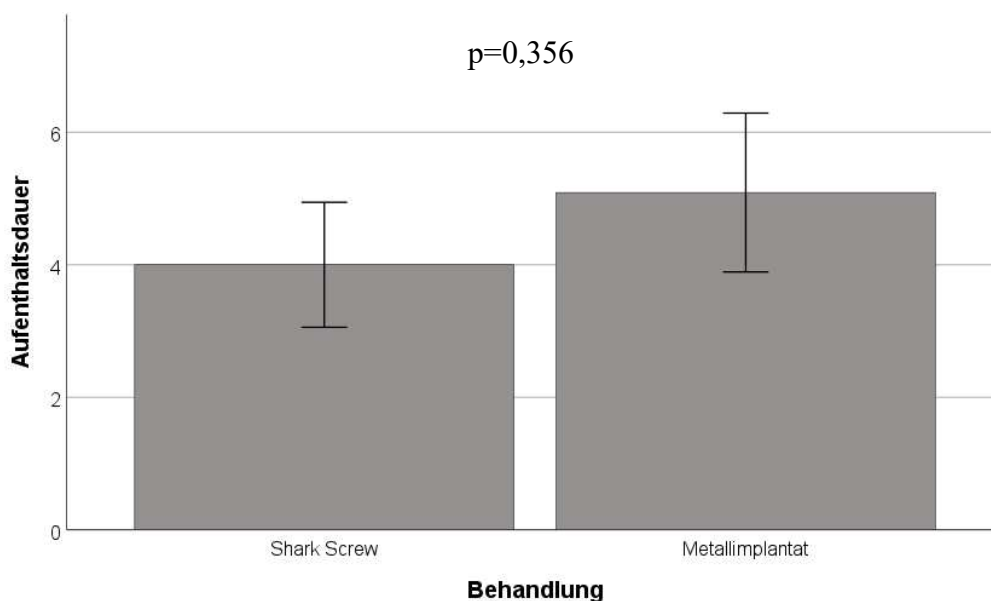


Abbildung 9: stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-UE vs. MG-UE

### 3.2.2.2 Epicondylus ulnaris-Frakturen: stationäre Aufenthaltsdauer SG-OE vs. MG-OE

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Epicondylus ulnaris-Frakturen der beiden Gruppen (SG-OE, n=9 und MG-OE, n=22) stellvertretend für die Frakturversorgung der oberen Extremität gesondert verglichen.

Die mittlere stationäre Aufenthaltsdauer (d) in der Patient\*innengruppe welche mittels Shark Screw® versorgt wurden (SG-OE), betrug 2,78 Tage (Standardabweichung 1 Tag), wobei sich die kürzeste auf zwei und die längste auf vier Tage belief.

In der Vergleichsgruppe (MG-OE) zeigte sich eine mittlere Aufenthaltsdauer von 2,36 Tagen (Standardabweichung 0,6 Tage), mit einer minimalen Aufenthaltsdauer von zwei Tagen und einer maximalen Aufenthaltsdauer von vier Tagen.

Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Subgruppen der OE der SG und der MG hinsichtlich der stationären Aufenthaltszeit ( $p=0,379$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 10).

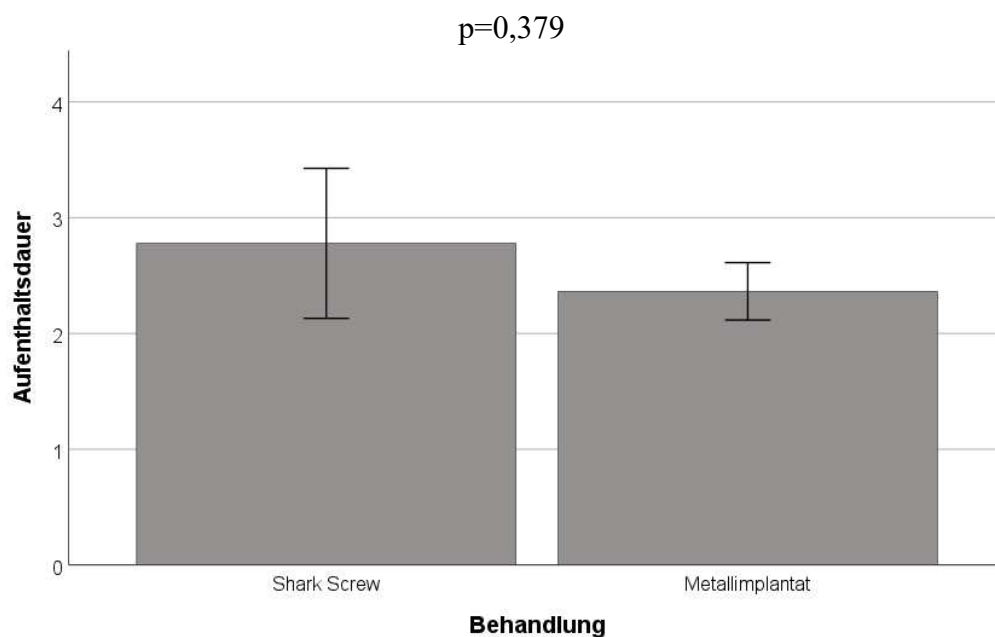


Abbildung 10: stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-OE vs. MG-OE

### 3.2.2.3 Dauer bis zur Bewegungsfreigabe der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich

Es wurde die Anzahl der postoperativen Tage bis zur Bewegungsfreigabe erhoben, welche für die Gruppe der Patient\*innen, die aufgrund von Sprunggelenksfrakturen oder Epicondylus ulnaris-Frakturen mittels Shark Screw® (n=18) versorgt wurden, einen durchschnittlichen Zeitraum von 34,1 Tagen (Standardabweichung 10,3 Tage) ergab, wobei die kürzeste Dauer 14 Tage und die längste 51 Tage betrug.

In der Vergleichsgruppe MG (n=44) zeigte sich die Dauer bis zur Bewegungsfreigabe wie folgt: der durchschnittliche Wert betrug 31,3 Tage (Standardabweichung 11 Tage), das Minimum belief sich auf 14 Tage und das Maximum auf 57 Tage.

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied im Vergleich der beiden Gruppen ( $p=0,277$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 11).

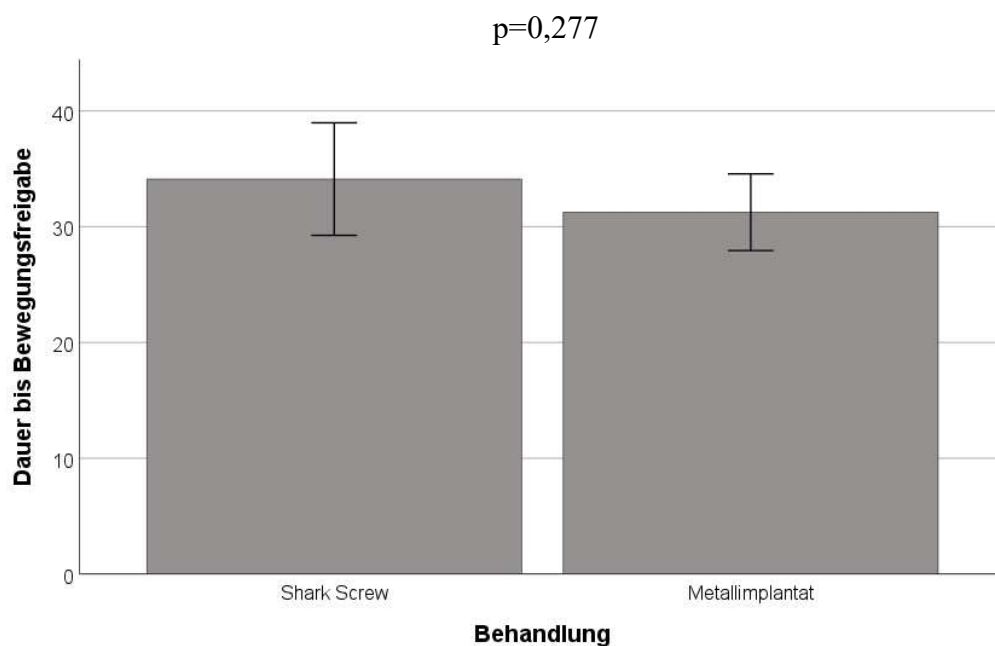


Abbildung 11: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe (d) SG (n=18) vs. MG (n=44)

### 3.2.2.4 Sprunggelenksfrakturen: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe SG-UE vs. MG-UE

Das durchschnittliche Belastungsverbot war in der Gruppe der mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgten Patient\*innen mit Sprunggelenksfrakturen (SG-UE, n=9) 42,6 Tage (Standardabweichung 5,8 Tage), die kürzeste 33 Tage und die längste 51 Tage.

In der Gruppe der Patient\*innen, die aufgrund von Sprunggelenksfrakturen mit herkömmlichen Osteosyntheseverfahren versorgt wurden (MG-UE, n=22), dauerte es bis zur Bewegungsfreigabe im Durchschnitt 37,6 Tage (Standardabweichung 9,6 Tage), wobei sich die kürzeste Bewegungsbefristung auf 17 und die längste auf 57 Tage belief.

Auch bei der Dauer der Bewegungsbeschränkung (d) zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungsformen ( $p=0,147$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 12).

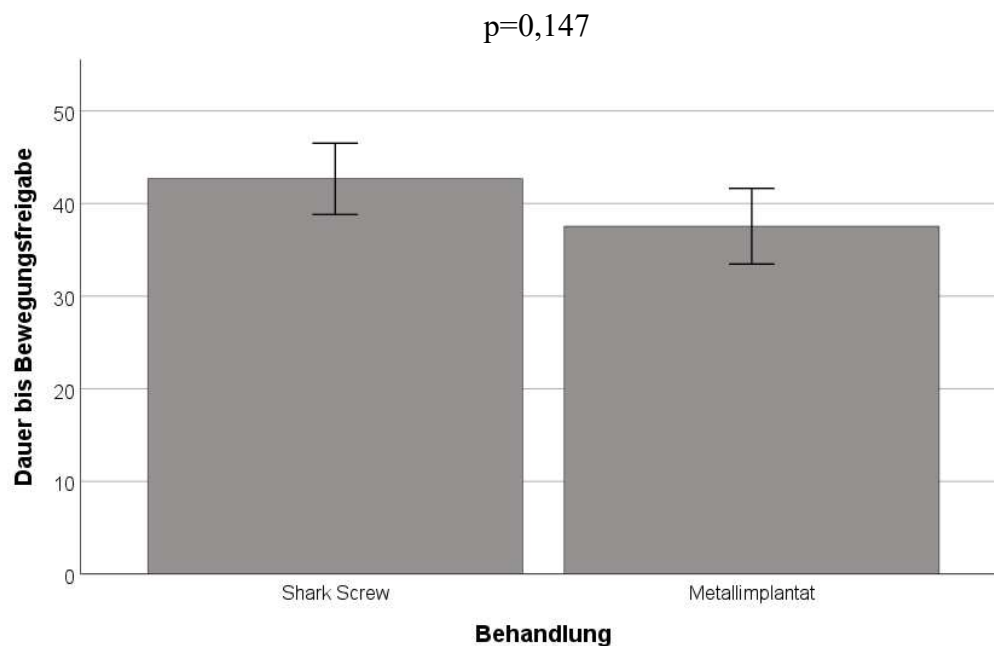


Abbildung 12: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe (d) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

### 3.2.2.5 Epicondylus ulnaris-Frakturen: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe SG-OE vs. MG-OE

Die durchschnittliche Dauer bis zur Bewegungsfreigabe bei den Patient\*innen, welche aufgrund von Epicondylus ulnaris-Frakturen mittels Shark Screw® versorgt wurden (SG-OE, n=9) betrug 25,6 Tage (Standardabweichung 5,3 Tage), wobei die kürzeste 14 und die längste 30 Tage betrug.

In der Gruppe der Patient\*innen, welche mit herkömmlichen Osteosynthesematerialien versorgt wurden (MG-OE, n=22), dauerte die Befristung durchschnittlich 25 Tage (Standardabweichung 8,5 Tage), wobei die kürzeste 14 Tage und die längste 45 Tage betrug.

Zwischen den beiden Gruppen besteht kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Bewegungsbefristung ( $p=0,356$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 13).

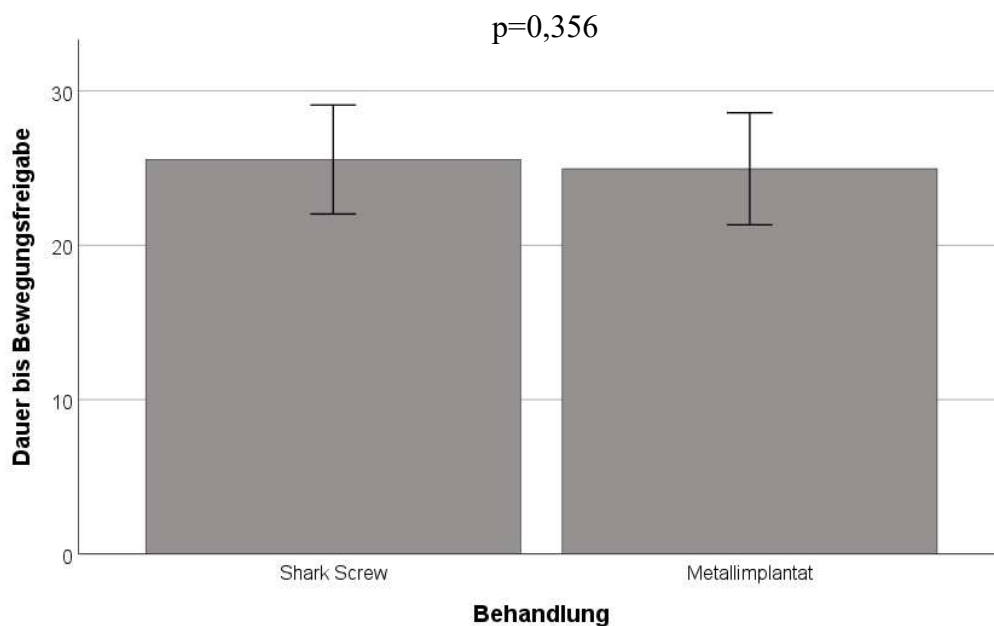


Abbildung 13: Dauer bis zur Bewegungsfreigabe (d) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

### 3.2.3 Dauer der Sportbefristung der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich

Es wurde die Dauer, angegeben in Wochen, bis zur endgültigen Freigabe für sportliche Aktivitäten nach dem operativen Eingriff ermittelt.

Für die Gruppe der mittels Knochenschraube versorgten Patient\*innen mit Sprunggelenksfrakturen oder Epicondylus ulnaris-Frakturen (SG, n=18) zeigte sich eine durchschnittliche Sportbefristung von 13,3 Wochen (Standardabweichung 7 Wochen) mit einem Minimum von vier und einem Maximum von 28 Wochen.

Die Sportbefristung der MG (n=44) war durchschnittlich 9,9 Wochen (Standardabweichung 4 Wochen), mit einem Minimum von vier Wochen und einem Maximum von 22 Wochen.

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ( $p=0,118$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 14).

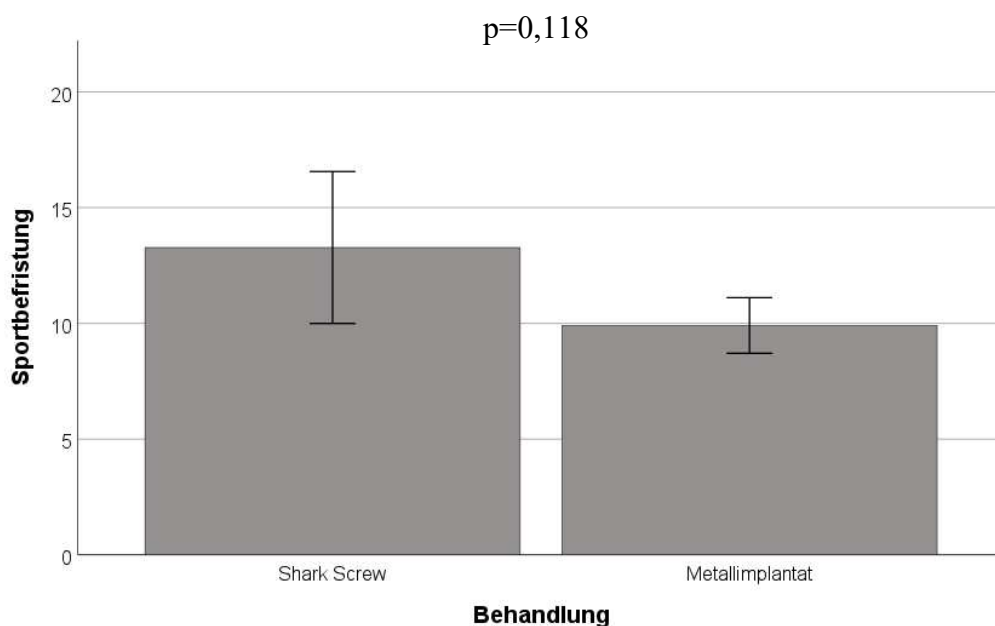


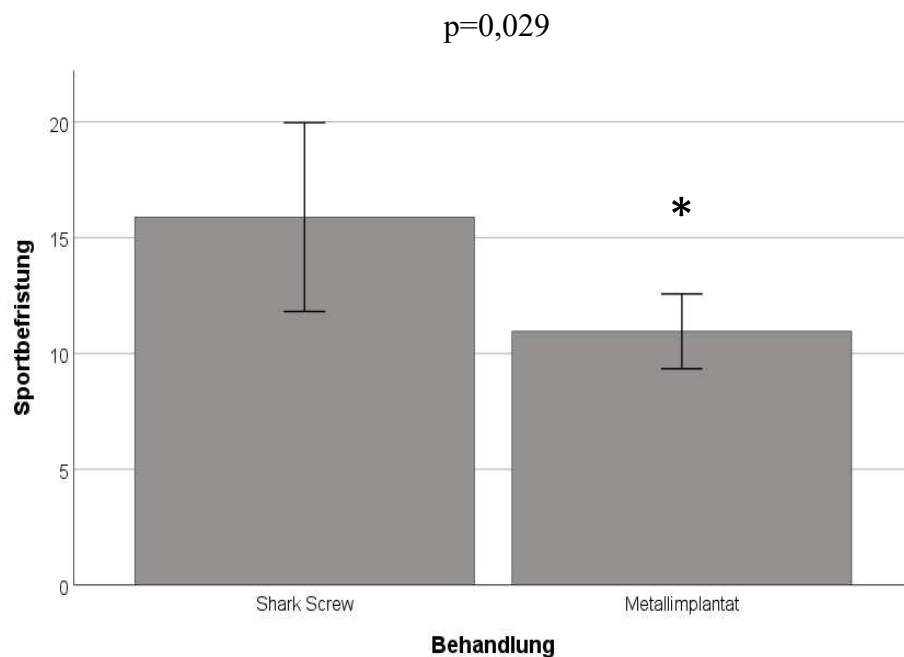
Abbildung 14: Dauer der Sportbefristung (w) SG (n=18) vs. MG (n=44)

### 3.2.3.1 Sprunggelenksfrakturen: Dauer der Sportbefristung SG-UE vs. MG-UE

Die durchschnittliche Dauer der Sportbefristung betrug in der mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgten Gruppe mit Sprunggelenksfrakturen (SG-UE, n=9) 15,9 Wochen (Standardabweichung 6,1 Wochen), wobei die kürzeste Befristung neun Wochen und die längste 28 Wochen war. Die Länge dieser Sportbefristung ist auf den Unfallmechanismus und die Begleitfrakturen der Patient\*in zurückzuführen und nicht der Behandlung mittels Shark Screw<sup>®</sup> geschuldet.

In der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Metallen (MG, n=22) versorgt wurden, betrug die kürzeste Dauer bis zur Sportfreigabe sechs Wochen und die längste 21 Wochen. Als Durchschnitt ergab sich eine Dauer von 11 Wochen (Standardabweichung 3,8 Wochen).

In Bezug auf die Sportbefristung gab es einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen ( $p=0,029$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 15).



\* statistisch signifikanter Unterschied bei  $p<0,05$

Abbildung 15: Dauer der Sportbefristung (w) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

### 3.2.3.2 Epicondylus ulnaris-Frakturen: Dauer der Sportbefristung SG-OE vs. MG OE

Die durchschnittliche Dauer der Sportbefristung (w) in der mittels Shark Screw® versorgten Gruppe mit Epicondylus ulnaris-Frakturen (SG-OE, n=9) betrug 10,7 Wochen (Standardabweichung 7,1 Wochen), wobei die kürzeste Dauer mit vier Wochen und die längste mit 26 Wochen angegeben wurde.

In der Vergleichsgruppe MG-OE (n=22) betrug das arithmetische Mittel 8,9 Wochen (Standardabweichung 4 Wochen), die kürzeste Sportbefristung vier Wochen und die längste 22 Wochen.

Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Behandlungsmethoden hinsichtlich der Sportbefristung ( $p=0,915$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 16).

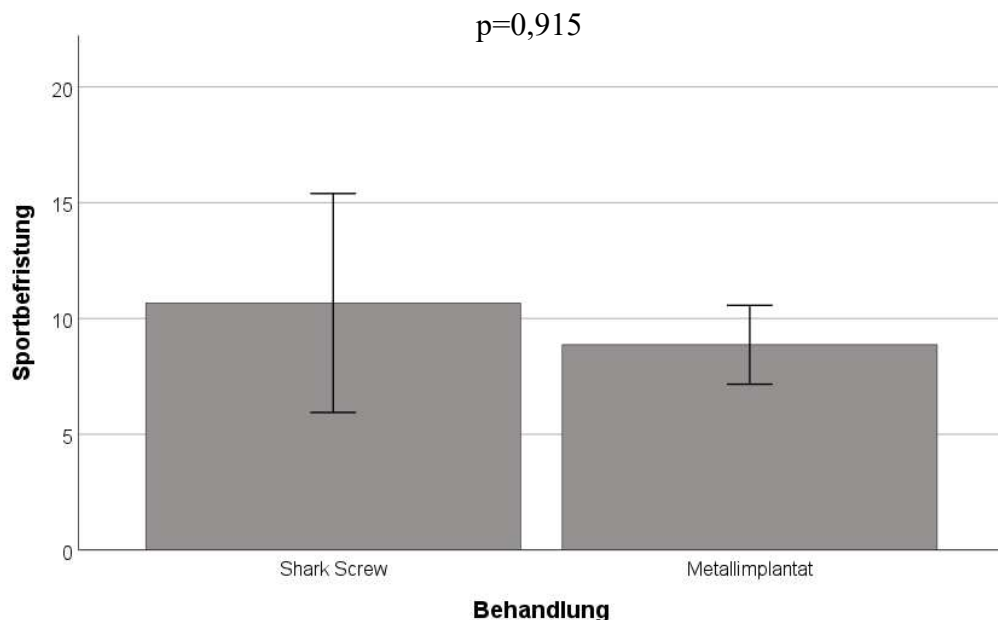


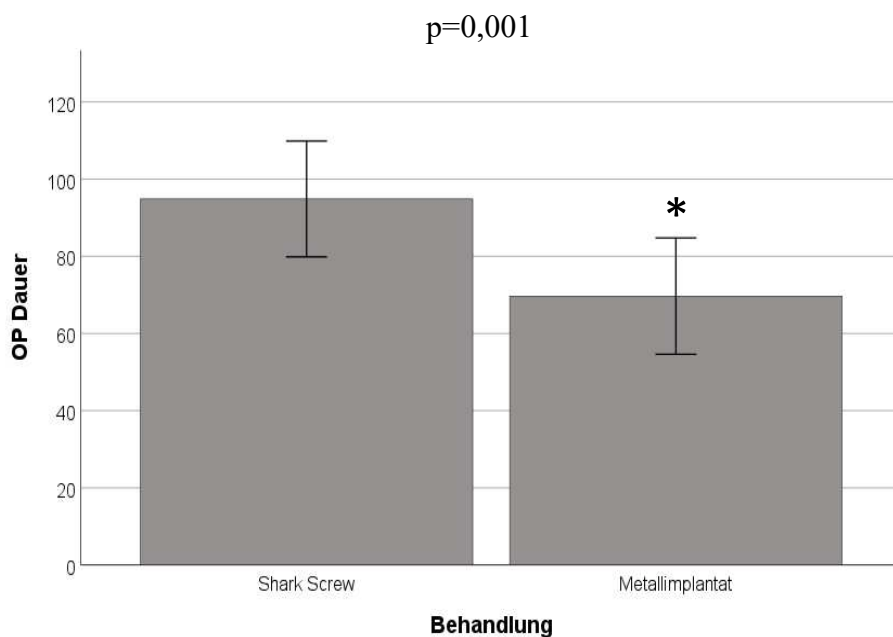
Abbildung 16: Dauer der Sportbefristung (w) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

### 3.2.4 OP-Dauer der einzelnen Behandlungsformen im Vergleich

In der Gruppe der Patient\*innen, welche aufgrund von Sprunggelenksfrakturen und Epicondylus ulnaris-Frakturen mittels Shark Screw® (n=18) versorgt wurden, lag die kürzeste OP-Dauer bei 51 und die längste bei 185 Minuten. Die Länge des längsten operativen Eingriffs ist auf die Versorgung von Begleitfrakturen im Bereich des Sprunggelenks bei Zustand nach Verkehrsunfall zurückzuführen. Die mittlere Operationszeit betrug 94,8 Minuten (Standardabweichung 31,8 Minuten).

Die Operation der Patient\*innen, welche mittels herkömmlichen Osteosyntheseverfahren versorgt wurden (n=44), dauerte im Mittel 69,7 Minuten (Standardabweichung 50 Minuten), wobei die kürzeste OP- Dauer bei 15 und die längste bei 292 Minuten umfasste.

Die mittlere Operationszeit der SG war statistisch signifikant länger als jene der MG (p=0,001, Mann-Whitney-U Test; Abbildung 17).



\*statistisch signifikanter Unterschied bei p<0,05

Abbildung 17: OP-Dauer (min.) SG (n=18) vs. MG (n=44)

In der MG (n=44) wurde zusätzlich die OP-Dauer der Metallentfernungen erhoben. Hierbei betrug die mittlere Operationszeit 32,9 Minuten (Standardabweichung 35,2 Minuten), wobei die kürzeste OP vier und die längste 183 Minuten dauerte.

### 3.2.4.1 Sprunggelenksfrakturen: OP-Dauer SG-UE vs. MG-UE

Das arithmetische Mittel der OP-Dauer der Sprunggelenksfrakturen, welche mittels Shark Screw® behandelt wurden (SG-UE, n=9), betrug 109,9 Minuten (Standardabweichung 37,7 Minuten), wobei die kürzeste OP 51 und die längste OP 185 Minuten dauerte.

In der Vergleichsgruppe mit Metallimplantaten (MG-UE, n=22) betrug die mittlere OP-Dauer 81,8 Minuten (Standardabweichung 37,7 Minuten), wobei die kürzeste OP 15 und die längste 292 Minuten dauerte.

Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Behandlungsmethoden stellvertretend für die Versorgung der unteren Extremität ( $p=0,064$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 18).

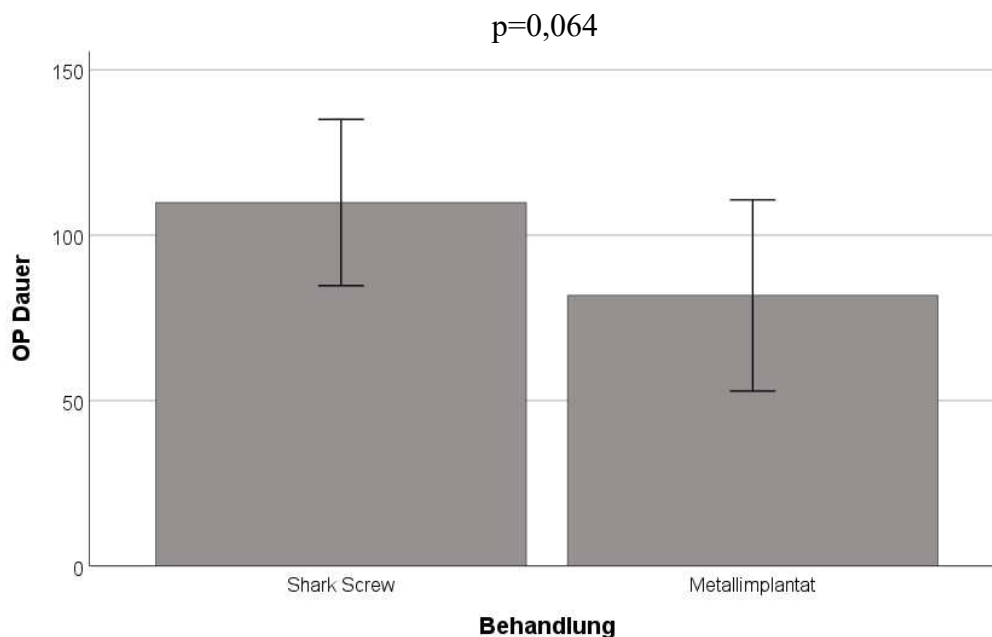


Abbildung 18: OP-Dauer (min.) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

### 3.2.4.2 Epicondylus ulnaris-Frakturen: OP- Dauer SG-OE vs. MG-OE

In der Gruppe der Patient\*innen, die wegen einer Epicondylus ulnaris-Fraktur mittels Shark Screw® (SG-OE, n=9) versorgt wurden, betrug die durchschnittliche OP-Dauer 79,8 Minuten (Standardabweichung 14,8 Minuten), wobei sich die kürzeste auf 61 und die längste auf 110 Minuten belief.

In der Vergleichsgruppe (MG-OE, n=22) betrug die durchschnittliche OP-Zeit 57,6 Minuten (Standardabweichung 14,9 Minuten). Die kürzeste Operation dauerte dabei 36 Minuten und die längste 80 Minuten.

Die Operationszeit der oberen Extremität, bei Patient\*innen, die mittels Shark Screw® versorgt wurden, war statistisch signifikant länger als jene, welche mittels Metallen versorgt wurden ( $p=0,002$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 19).

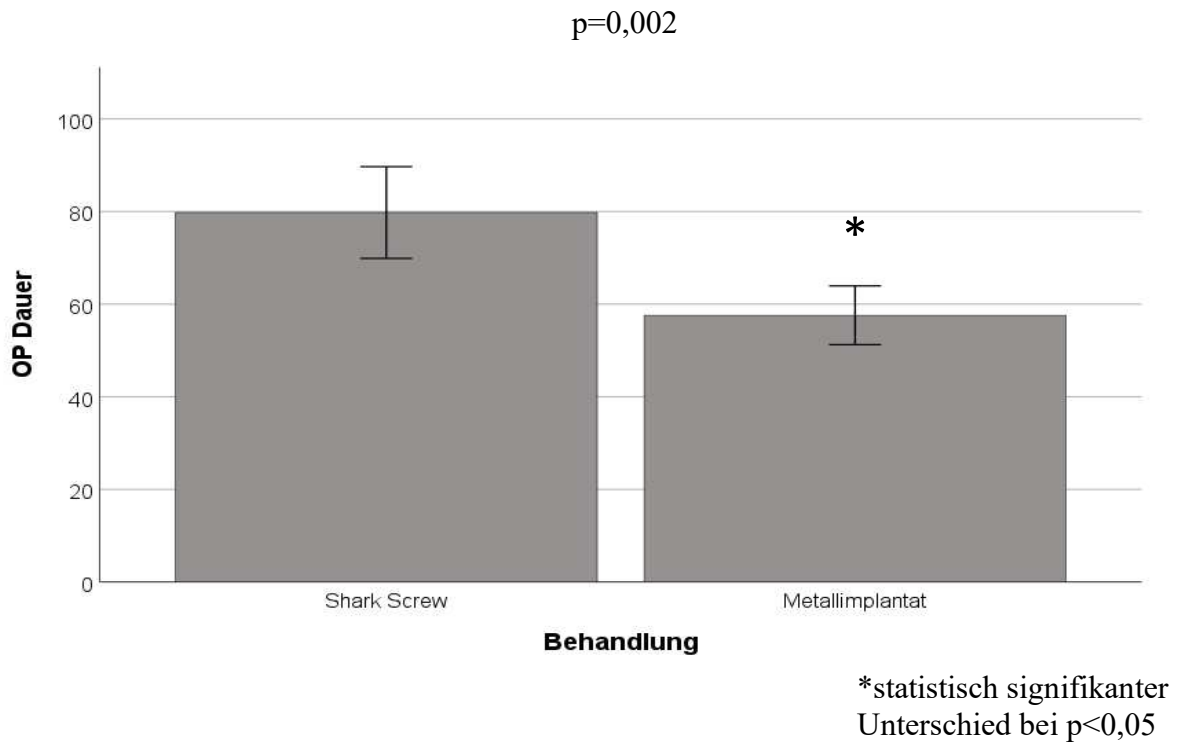


Abbildung 19: OP-Dauer (min.) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

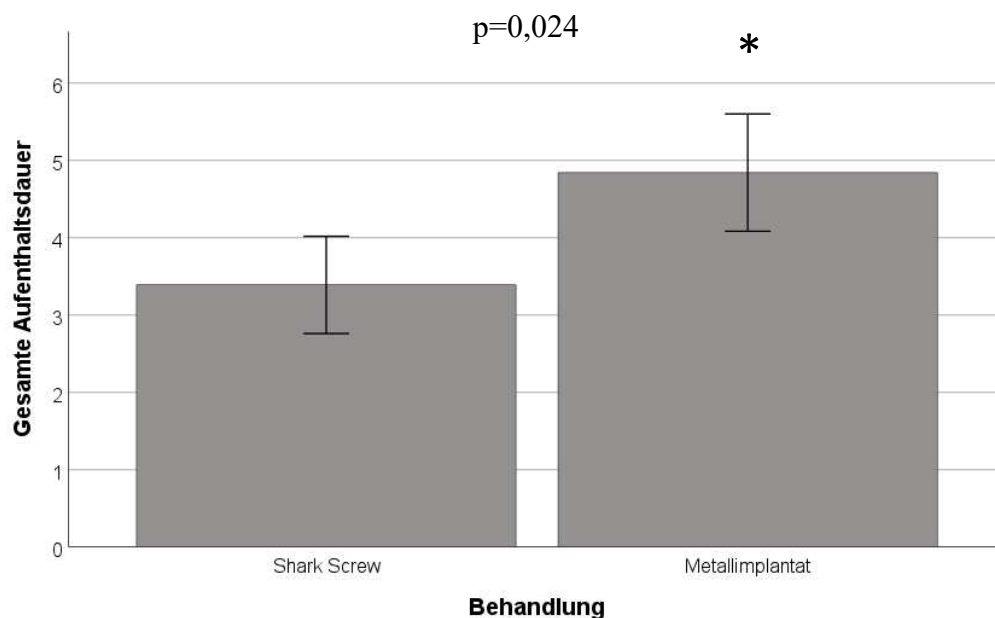
### 3.2.5 Gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) Shark Screw® vs. Metalleinbringung und -entfernung

Da bei jenen Patient\*innen, die mit herkömmlichen Osteosynthesematerialien versorgt wurden, ein zweiter Eingriff zur Metallentfernung notwendig war, wurde im Folgenden ein Vergleich zwischen der stationären Aufenthaltsdauer (d), der Dauer der Sportbefristung (w) und der OP-Dauer bei Behandlung mittels Shark Screw® vs. Behandlung mittels Metalleinbringung und -entfernung aufgestellt.

Die mittlere stationäre Aufenthaltsdauer in der Gruppe, welche mit Shark Screw® (SG, n=18) versorgt wurden, betrug 3,4 Tage (Standardabweichung 1,3 Tage). Die kürzeste belief sich dabei auf zwei Tage und die längste auf sieben Tage.

In der Vergleichsgruppe (MG, n=44) betrug die kombinierte durchschnittliche Aufenthaltsdauer 4,8 Tage (Standardabweichung 2,5 Tage). Die kürzeste betrug zwei Tage und die längste 13 Tage.

In der Vergleichsgruppe (MG) bestand eine statistisch signifikant längere stationäre Aufenthaltsdauer unter Berücksichtigung der Metallentfernung im Vergleich zur SG (n=22) ( $p=0,024$ , mann-Whitney-U Test; Abbildung 20).



\*statistisch signifikanter Unterschied bei  $p < 0,05$

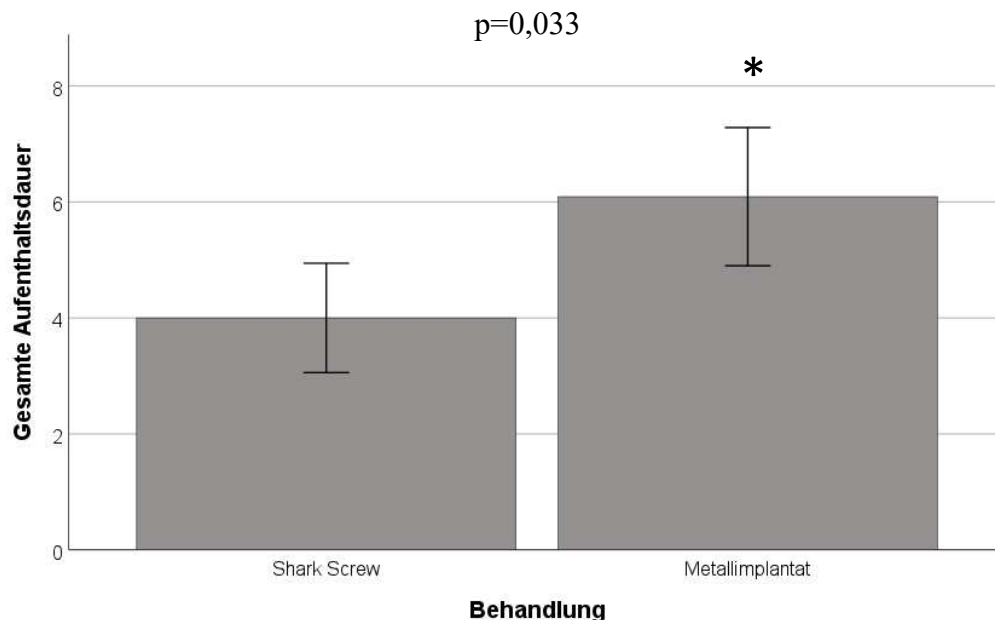
Abbildung 20: gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG (n=18) vs. MG (n=44)

### 3.2.5.1 Sprunggelenksfrakturen: Gesamte stationäre Aufenthaltsdauer SG-UE vs. MG-UE

Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer (d) der mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgten Sprunggelenksfrakturen (SG, n=9) betrug 4,0 Tage (Standardabweichung 1,4 Tage), wobei sich die kürzeste auf zwei Tage und die längste auf sieben Tage belief.

In der Vergleichsgruppe MG (n=22) betrug die mittlere gesamte Aufenthaltsdauer (d) 6,1 Tage (Standardabweichung 2,8 Tage), die kürzeste drei Tage und die längste dreizehn Tage. Die Dauer des 13-tägigen Aufenthalts auf Station lässt sich auf die weitere Versorgung zusätzlicher Frakturen und nicht auf die Versorgung mittels Shark Screw<sup>®</sup> zurückführen.

Patient\*innen, welche mittels herkömmlichen Osteosyntheseverfahren versorgt wurden, hatten eine statistisch signifikant längere stationäre Aufenthaltsdauer (p=0,033, Mann-Whitney-U Test; Abbildung 21).



\*statistisch signifikanter Unterschied bei  $p < 0,05$

Abbildung 21: gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

### 3.2.5.2 Epicondylus ulnaris-Frakturen: Gesamte stationäre Aufenthaltsdauer SG-OE vs. MG-OE

Zum besseren Vergleich wurden die Subgruppen der Epicondylus ulnaris-Frakturen, stellvertretend für die Frakturversorgung der oberen Extremität, sowohl der SG (SG-OE, n=9), als auch der MG (MG-OE, n=22) herangezogen. Beim Vergleich wurde in der MG sowohl die stationäre Aufenthaltsdauer nach Metalleinbringung als auch die stationäre Aufenthaltsdauer nach Metallentfernung herangezogen.

In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden, zeigte sich eine durchschnittliche Aufenthaltsdauer von 2,8 Tagen (Standardabweichung 1 Tag). Die kürzeste Aufenthaltsdauer betrug dabei zwei Tage und die längste vier Tage.

In der Vergleichsgruppe (MG-OE) betrug die durchschnittliche gesamte Aufenthaltsdauer 3,6 Tage (Standardabweichung 1,4 Tage). Die kürzeste betrug zwei Tage und die längste neun Tage.

Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Gruppen ( $p=0,103$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 22).

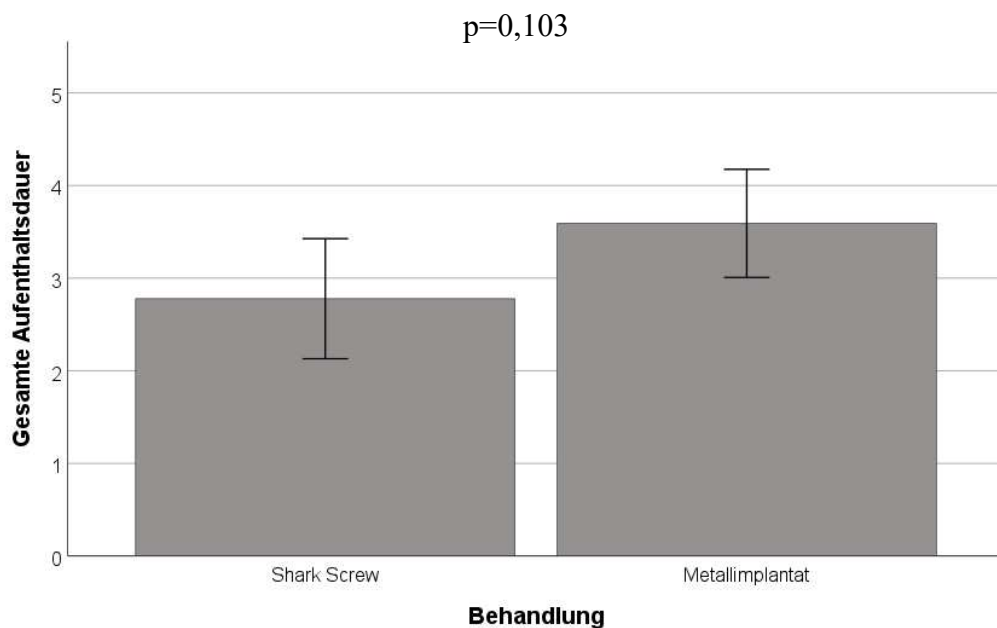


Abbildung 22: gesamte stationäre Aufenthaltsdauer (d) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

### 3.2.6 Gesamtdauer der Sportbefristung Shark Screw® (SG) vs. Metalleinbringung und -entfernung (MG)

In der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® versorgt wurden (SG, n=18) zeigte sich eine durchschnittliche Dauer der Sportbefristung (w) von 13,3 Wochen (Standardabweichung 7 Wochen), wobei die kürzeste Sportbefristung vier Wochen und die längste 28 Wochen betrug.

In der Vergleichsgruppe (MG, n=22) wurde sowohl die Zeit der Sportbefristung nach Einbringung des Metalls als auch die Sportbefristung nach Metallentfernung berücksichtigt. Dies ergab eine durchschnittliche Dauer der Sportbefristung (w) von 12,2 Wochen (Standardabweichung 4,5 Wochen), die kürzeste belief sich auf sechs Wochen und die längste auf 29 Wochen.

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen ( $p=0,899$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 23).

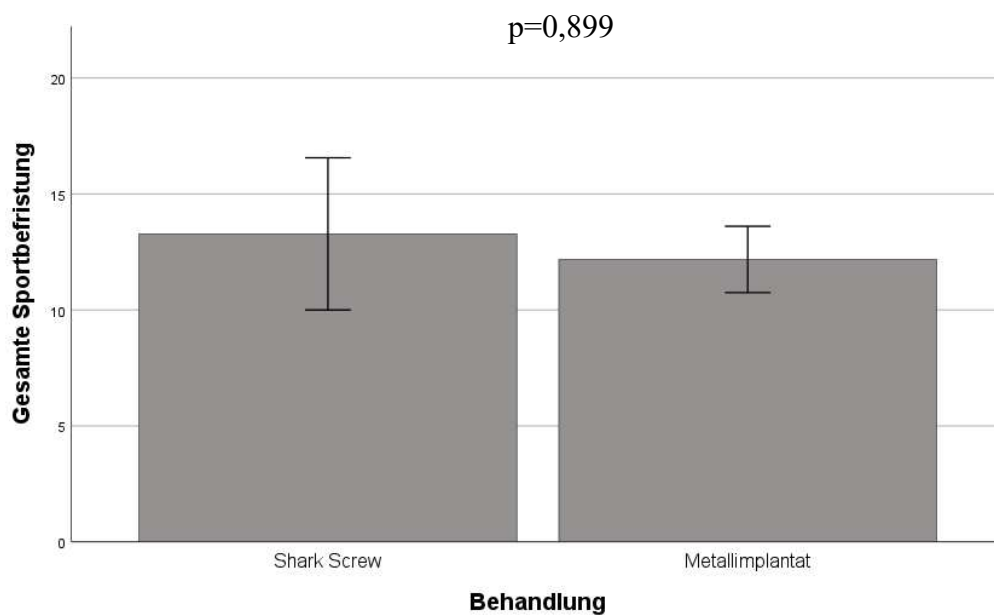


Abbildung 23: gesamte Dauer der Sportbefristung (w) SG (n=18) vs. MG (n=44)

### 3.2.6.1 Sprunggelenksfrakturen: gesamte Dauer bis zur Sportfreigabe SG-UE vs. MG-UE

Um einen besseren Vergleich herstellen zu können, wurde die Dauer der Sportbefristung zwischen den Sprunggelenksfrakturen der SG (SG-UE, n=9) und der MG (MG-UE, n=22) verglichen. Für die Dauer der Sportbefristung wurde in der MG auch die Dauer der Sportbefristung nach Metallentfernung berücksichtigt.

In der Gruppe, der Patient\*innen, die mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden (SG-UE, n=9), betrug die durchschnittliche Sportbefristung 15,9 Wochen (Standardabweichung 6,1), wobei sich die kürzeste auf 9 Wochen und die längste auf 28 Wochen belief.

In der Vergleichsgruppe (MG-UE, n=22) betrug die durchschnittliche Dauer der Sportbefristung 12,6 Wochen (Standardabweichung 3,1 Wochen), die kürzeste dauerte acht und die längste 20 Wochen.

Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Therapiemethoden ( $p=0,243$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 24).

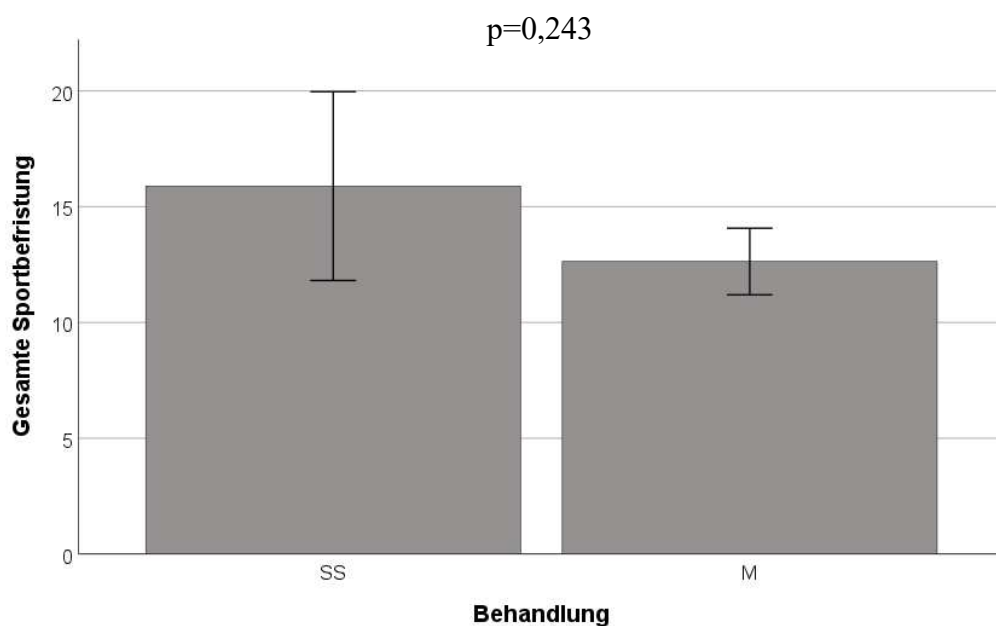


Abbildung 24: gesamte Dauer der Sportbefristung (w) SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

### 3.2.6.2 Epicondylus ulnaris-Frakturen: gesamte Dauer bis zur Sportfreigabe SG-OE vs. MG -OE

Um einen besseren Vergleich herstellen zu können, wurde die Dauer der Sportbefristung zwischen den Epicondylus ulnaris-Frakturen der SG (SG-OE, n=9) und der MG (MG-OE, n=22), stellvertretend für die Frakturversorgung der oberen Extremität, verglichen. Für die Dauer der Sportbefristung wurde in der MG auch die Zeit nach der Metallentfernung mitberücksichtigt.

In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden, zeigte sich eine durchschnittliche Sportbefristung von 10,7 Wochen (Standardabweichung 7,1 Wochen). Die kürzeste Dauer bis zur Sportfreigabe (w) belief sich in dieser Subgruppe (SG-OE, n=9) auf vier Wochen und die längste auf 26 Wochen.

In der Vergleichsgruppe (MG-OE, n=22) belief sich die durchschnittliche Dauer der Sportbefristung (w) auf 11,8 Wochen (Standardabweichung 5,5 Wochen), wobei die kürzeste sechs Wochen und die längste 29 Wochen betrug.

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Sportbefristung zwischen den zwei Behandlungsmethoden ( $p=0,193$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 25).

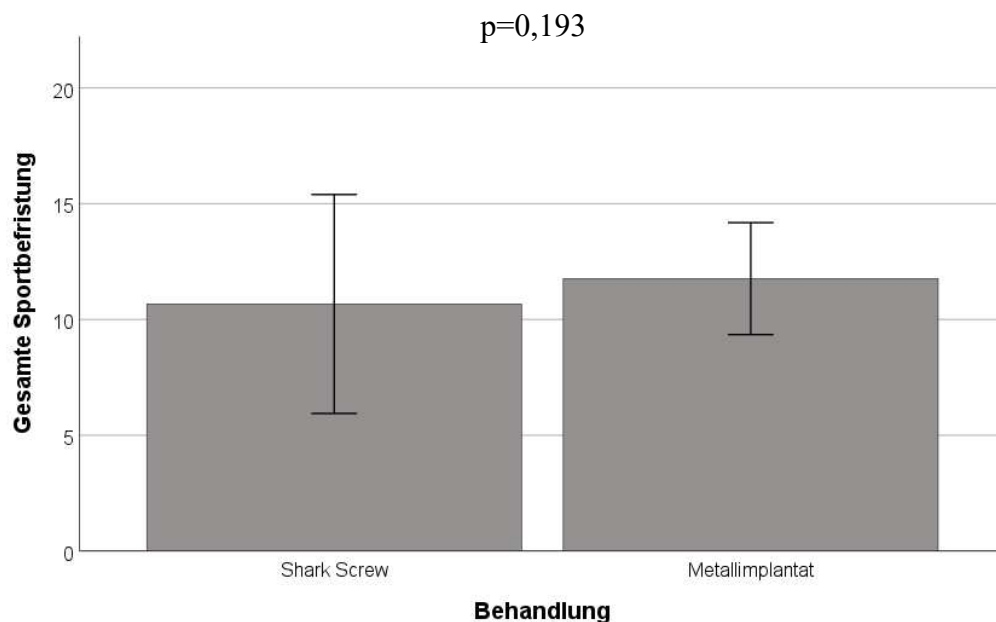


Abbildung 25: gesamte Dauer der Sportbefristung (w) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

### 3.2.6.3 OP-Dauer Shark Screw® (SG) vs. gesamte OP-Dauer (=Dauer der Metalleinbringung und -entfernung (MG))

Bei der Auswertung der Operationszeit der MG wurde sowohl die Operationszeit der Metalleinbringung als auch die Operationszeit bei Metallentfernung berücksichtigt. Diese zusammengesetzte OP-Zeit der MG wurde mit der OP-Zeit der SG verglichen.

In der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® versorgt wurden (SG, n=18), betrug die durchschnittliche OP-Dauer 94,8 Minuten (Standardabweichung 31,8 Minuten), wobei sich die kürzeste Operationszeit auf 51 und die längste auf 185 Minuten belief.

In der Vergleichsgruppe (MG, n=44) betrug die zusammengesetzte OP-Zeit im Mittel 104,2 Minuten (Standardabweichung 83 Minuten), wobei die kürzeste OP-Zeit 19 und die längste OP-Zeit 456 Minuten betrug.

Es wurde kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Operationszeiten der beiden Gruppen verzeichnet ( $p=0,282$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 26).

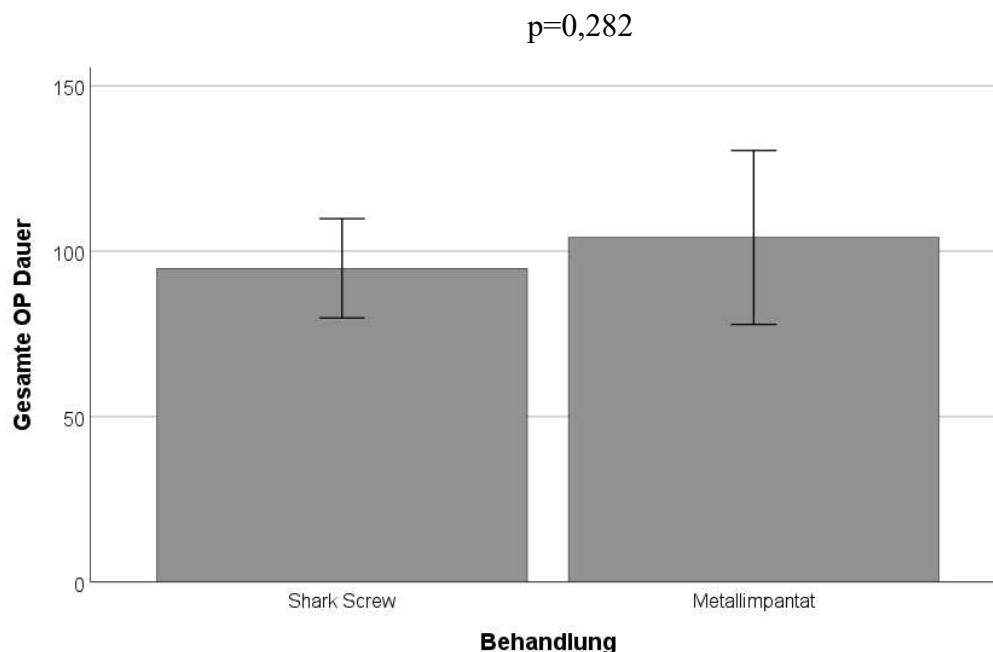


Abbildung 26: gesamte OP-Dauer (min.) SG (n=18) vs. MG (n=44)

### 3.2.6.4 Sprunggelenksfrakturen: OP-Dauer SG-UE vs. gesamte OP-Dauer MG-UE

Um einen besseren Vergleich darstellen zu können, wurde die Operationsdauer der Sprunggelenksfrakturen zwischen SG und MG miteinander verglichen.

Die durchschnittliche Operationszeit für die Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® bei Sprunggelenksfrakturen versorgt wurden (SG, n=9), war 109,9 Minuten (Standardabweichung 37,7 Minuten), wobei die kürzeste 51 und die längste 185 Minuten betrug.

In der Vergleichsgruppe (MG, n=22) betrug die mittlere, zusammengesetzte Operationsdauer 133,3 Minuten (Standardabweichung 114,4 Minuten), wobei sich die kürzeste auf 19 Minuten und die längste auf 456 Minuten belief.

Hinsichtlich der zusammengesetzten Operationszeiten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den zwei Behandlungsmethoden verzeichnet werden ( $p=0,772$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 27).

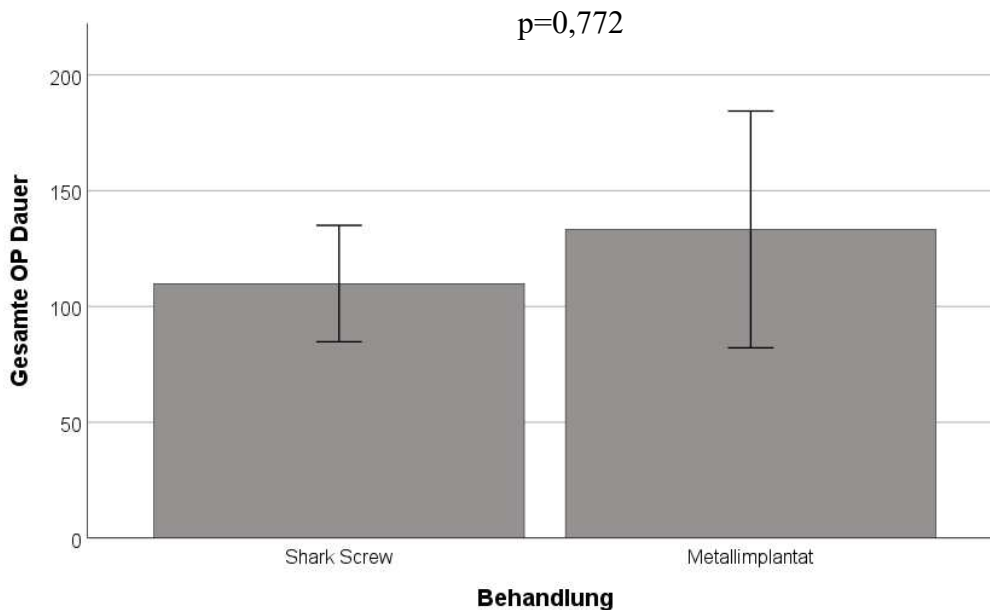


Abbildung 27: gesamte OP-Dauer (min.) SG-UE (n=9) vs. MG-UE(n=22)

### 3.2.6.5 Epicondylus ulnaris-Frakturen: OP-Dauer SG-OE vs. gesamte OP-Dauer MG-OE

Um einen besseren Vergleich darstellen zu können, wurde die Operationsdauer der Epicondylus ulnaris-Frakturen zwischen SG und MG miteinander verglichen.

In der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® (SG-OE, n=9) versorgt wurden, war die durchschnittliche OP-Dauer 79,8 Minuten (Standardabweichung 14,8 Minuten), wobei die kürzeste 61 und die längste 110 Minuten betrug.

In der Vergleichsgruppe (MG-OE, n=22) betrug das arithmetische Mittel der gesamten OP-Dauer 77,8 Minuten (Standardabweichung 27,7 Minuten), die kürzeste 46 Minuten und die längste 173 Minuten.

Bezüglich der zusammengesetzten Operationszeit bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ( $p=0,504$ , Mann-Whitney-U Test; Abbildung 28).

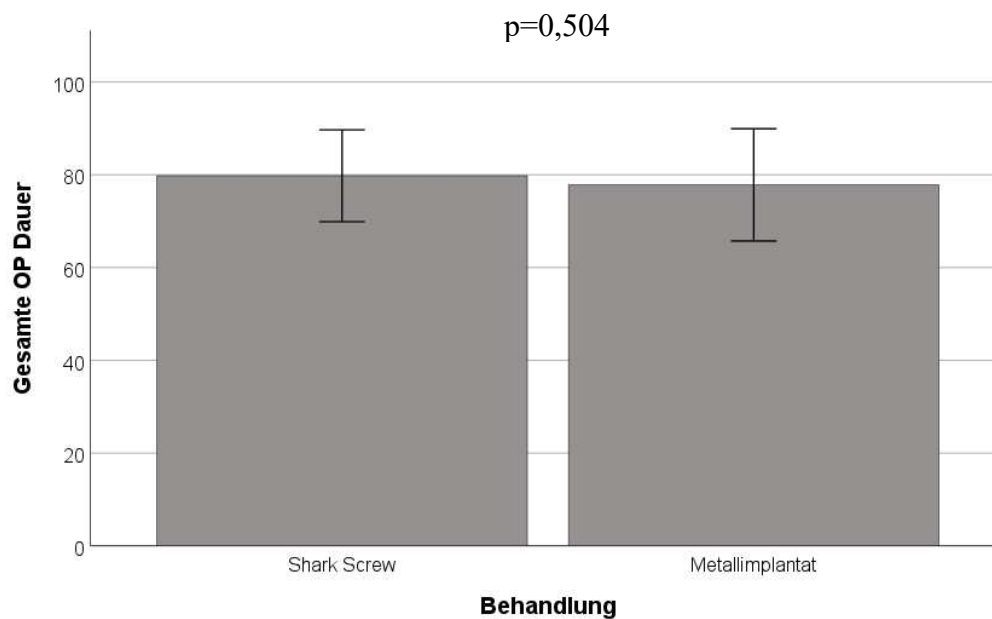


Abbildung 28: gesamte OP-Dauer (min.) SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

### **3.2.7 Postoperative Komplikationen SG (n=18) vs. MG (n=44)**

Bezüglich des Outcomes wurde in den beiden Gruppen das Auftreten von postoperativen Komplikationen erhoben. In der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® versorgt wurden (n=18), traten in zwei von 18 Fällen postoperative Komplikationen auf, dies entspricht 11,1%. Es handelte sich hierbei in beiden Fällen um einen verzögerten Verschluss des Frakturspalts, dieser war in einem Fall auf einen Implantatbruch zurückzuführen.

In der Vergleichsgruppe (MG, n=44) zeigte sich in zwei von 44 Fällen postoperative Komplikationen, dies entspricht einem Anteil von 4,5%. Es zeigte sich in einem Fall eine N. ulnaris-Läsion und in einem Fall zeigten sich anhaltende Schmerzen bei sportlicher Belastung.

Hinsichtlich des Auftretens postoperativer Komplikationen gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den jeweiligen Behandlungsformen ( $p=0,573$ , Exakter Test nach Fisher).

### 3.2.7.1 Sprunggelenksfrakturen: Postoperative Komplikationen SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden (SG-UE, n=9), trat in 11,1% (n=1) eine postoperative Komplikation (verzögerter Schluss des Frakturspalts) auf. In der Gruppe, welche mit Metallen versorgt wurden (MG-UE, n=22) trat in 4,5% (n=1) eine postoperative Komplikation (anhaltender Schmerzen bei sportlicher Belastung) auf (Tabelle 1).

Hinsichtlich des Auftretens postoperativer Komplikationen zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsformen (p=0,503, Exakter Test nach Fisher).

#### Postoperative Komplikationen nach Behandlungsform

	Behandlungsform		Gesamt
	MG-UE	SG-UE	
postoperative Komplikation 0	21	8	29
(nein=0; ja=1)	1	1	2
Gesamt	22	9	31

Tabelle 1: Postoperative Komplikationen SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

### 3.2.7.2 Epicondylus ulnaris-Frakturen: Postoperative Komplikationen SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

In der Gruppe der Patient\*innen, welche aufgrund einer Epicondylus ulnaris-Fraktur mittels Shark Screw® versorgt wurden (SG-OE, n=9), trat in 11,1% (n=1) eine postoperative Komplikation (Implantatbruch) auf.

In der Gruppe, welche mittels herkömmlichen Osteosyntheseverfahren versorgt wurden (MG-OE, n=22), trat in einem von 22 Fällen eine Komplikation (N. ulnaris-Läsion) auf, dies entspricht einem Anteil von 4,6% (Tabelle 2).

Hinsichtlich der Komplikationsrate zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen (p=0,503, Exakter Test nach Fisher).

#### Postoperative Komplikationen nach Behandlungsform

		Behandlungsform		Gesamt
		MG-OE	SG-OE	
postoperative	0	21	8	29
Komplikationen (nein=0; ja=1)	1	1	1	2
Gesamt		22	9	31

Tabelle 2: Postoperative Komplikationen SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)

### 3.2.8 Radiologischer Heilungsverlauf SG (n=18) vs. MG (n=44)

Der radiologische Heilungsverlauf wurde anhand der knöchernen Konsolidierung am letzten verfügbaren Röntgenbild beurteilt. Dabei entsprach der Wert „0“ keiner Konsolidierung, der Wert „1“ bedeutete zunehmender Konsolidierungszeichen und der Wert „2“ entsprach einem nicht mehr einsehbaren Frakturspalt im Sinne einer vollständigen Konsolidierung.

Weiters wurde der radiologische Heilungsverlauf genauer spezifiziert und folgendermaßen klassifiziert:

- **„Sehr gut“:** (keine osteoporotischen Veränderungen, keine zystischen Aufhellungen bzw. kein Aufhellungssaum um die Knochenschraube; ausreichend knöcherne Konsolidierungszeichen)
- **„Gut“:** (partiell osteoporotische Veränderungen oder zystischer Aufhellungssaum bzw. Aufhellungen (<2 mm) um die Knochenschraube; knöcherne Konsolidierungszeichen)
- **„Moderat“:** (osteoporotische Veränderungen, verminderter Knochensubstanz, zystische Aufhellungen bzw. Aufhellungssaum (> 2 mm) um die Knochenschraube; Zeichen für nicht regelrechtes Einwachsen)
- **„Schlecht“:** (osteoporotische Veränderungen mit verminderter Knochensubstanz, zystische Aufhellungen um die Schraube (>2mm); knöchern nicht konsolidiert)

Die Follow-Up Zeit zwischen Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild unterschied sich nicht statistisch signifikant zwischen der Shark Screw<sup>®</sup> und der Metallgruppe (Shark Screw<sup>®</sup> 33,7 ± 21,8 Wochen vs. Metallgruppe 22,9 ± 15 Wochen; p=0,061, Mann-Whitney-U Test).

In der SG (n=18), zeigten sich in 33,3% (n=6) der Fälle zunehmende Konsolidierungszeichen (=„1“) während in 66,7% (n=12) der Fälle der Frakturspalt bereits nicht mehr einsehbar war (=„2“). In keinem Fall gab es eine ausbleibende knöcherne Konsolidierung (=„0“). Die Zeit zwischen der Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild unterschied sich nicht statistisch signifikant zwischen diesen zwei Gruppen (p=0,067, Mann-Whitney-U Test).

In der Vergleichsgruppe (MG, n=44) zeigte sich in 45,5% (n=20) eine zunehmende knöcherne Konsolidierung (=„1“), in 52,3% (n=23), dass der Frakturspalt nicht mehr

einsichtbar war und in 2,3% (n=1) keine Konsolidierung der Fraktur (= „0“). Auch hier war die Zeit zwischen der Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild nicht statistisch signifikant unterschiedlich (p=0,194, Mann-Whitney-U Test).

Es zeigte sich hinsichtlich der knöchernen Konsolidierung kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsformen (p=0,515, Chi-Quadrat-Test).

In der SG (n=18) wurde der radiologische Heilungsverlauf in 83,3% der Fälle (n=15) mit „sehr gut“ und in 16,7% (n=3) mit „gut“ beurteilt. Eine Beurteilung mit „moderat“ und „schlecht“ wurde nicht vergeben. Die Zeit zwischen Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild unterschied sich nicht statistisch signifikant zwischen diesen zwei Gruppen (p=0,203, Mann-Whitney-U Test).

In der MG (n=44) wurde der radiologische Heilungsverlauf in 81,8% (n=36) der Fälle mit „sehr gut“, in 15,9% (n=7) der Fälle mit „gut“ und in 2,3% (n=1) der Fälle mit „moderat“ bezeichnet. Eine Beurteilung mit „schlecht“ wurde nicht vergeben. Die Zeit zwischen der Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild unterschied sich nicht statistisch signifikant zwischen diesen drei Gruppen (p=0,235, Kruskal-Wallis-Test).

Hinsichtlich des spezifischen radiologischen Knochenheilungsverlaufs gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen (p=0,812, Chi Quadrat Test).

### **3.2.8.1 Sprunggelenksfrakturen: radiologischer Heilungsverlauf SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)**

Die Follow-Up Zeit zwischen Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild unterschied sich in der Gruppe der Sprunggelenksfrakturen nicht statistisch signifikant zwischen der Shark Screw<sup>®</sup> und der Metallgruppe (Shark Screw<sup>®</sup> 42,6 ± 23,5 Wochen vs. Metall 27,5 ± 13,9 Wochen; p=0,135, Mann-Whitney-U Test).

In der SG (SG-UE, n=9) zeigten sich in 3 von neun Fällen, mit einem Anteil von 33,3%, zunehmende Konsolidierungszeichen (= „1“) und in 6 von neun Fällen, mit einem Anteil von 66,7%, war der Frakturspalt nicht mehr einsehbar (= „2“). Die Zeit zwischen OP und dem letzten Röntgenbild war zwischen diesen zwei Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich (p=0,069, Mann-Whitney-U Test).

In der Vergleichsgruppe (MG-UE, n=22) zeigte sich in 10 von 22 Fällen, mit einem Anteil von 45,5%, eine zunehmende Konsolidierung (= „1“) und in 12 von 22 Fällen, mit einem Anteil von 54,5%, ein nicht mehr einsehbarer Frakturspalt (= „2“) (Tabelle 3). Die

Zeit zwischen OP und letztem Röntgenbild war zwischen diesen zwei Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich ( $p=0,346$ , Mann-Whitney-U Test).

Beim Vergleich der beiden Untergruppen zeigte sich bezüglich der knöchernen Konsolidierung kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,696$ , Chi-Quadrat-Test.)

### Knöcherne Konsolidierung nach Behandlungsform

		Behandlungsform		Gesamt
		MG-UE	SG-UE	
Knöcherne Konsolidierung	1	10	3	13
(keine=0; zunehmende Konsolidierungszeichen =1, Frakturspalt nicht mehr einsehbar=2)	2	12	6	18
Gesamt		22	9	31

Tabelle 3: Knöcherne Konsolidierung SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)

Der radiologische Heilungsverlauf ergab ein ähnlich ausgewogenes Ergebnis. In der Gruppe der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® versorgt wurden (SG-UE, n=9), zeigte sich in einem von neun Fällen mit einem Anteil von 11,1% ein mit „gut“ beurteilter Heilungsverlauf, bei sonst „sehr gutem“ radiologischen Ergebnis (88,9%). Hier wurde aufgrund der Verteilung auf einen statistischen Vergleich der Follow-Up Zeit verzichtet.

In der Vergleichsgruppe (MG-UE, n=22) zeigte sich in drei von 22 Fällen ein mit „gut“ beurteilter Heilungsverlauf (13,6%) und in den restlichen 19 der 22 Fälle (86,4%) ein mit „sehr gut“ beurteilter Heilungsverlauf (Tabelle 4). Die Zeit zwischen OP und dem letzten Röntgenbild war zwischen diesen zwei Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich (p=0,053, Mann-Whitney-U Test).

Bezüglich der spezifischen radiologischen Beurteilung des knöchernen Heilungsverlaufs zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen (p=1,000, Exakter Test nach Fisher).

#### **Radiologischer Heilungsverlauf nach Behandlungsform**

		Behandlungsform		Gesamt
		MG-UE	SG-UE	
Radiologischer Heilungsverlauf	gut	3	1	4
	sehr gut	19	8	27
Gesamt		22	9	31

*Tabelle 4: radiologischer Heilungsverlauf SG-UE (n=9) vs. MG-UE (n=22)*

### 3.2.8.1.1 Radiologische Verlaufskontrolle nach distaler Tibiafraktur (MG)

Die folgenden Abbildungen dienen als Veranschaulichung des knöchernen Heilungsverlaufes einer mittels Schrauben fixierten Sprunggelenksfraktur anhand von Röntgenbildern in zwei Ebenen (aps) im Rahmen der postoperativen Röntgenkontrolle (Abbildungen 29-32).



Abbildung 29: Röntgen direkt nach Frakturversorgung



Abbildung 30: Verlaufskontrolle 12 Tage nach OP



*Abbildung 31: Verlaufskontrolle nach 30 Tagen*



*Abbildung 32: Verlaufskontrolle nach 3 Monaten*

### 3.2.8.1.2 Radiologische Verlaufskontrolle nach distaler Tibiafraktur (SG)

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen das Unfallbild einer distalen Tibiafraktur und den knöchernen Heilungsverlauf nach der operativen Behandlung mittels Shark Screw® anhand von Röntgenbildern in zwei Ebenen (aps) im Rahmen der postoperativen Röntgenkontrollen (Abbildungen 33-36).

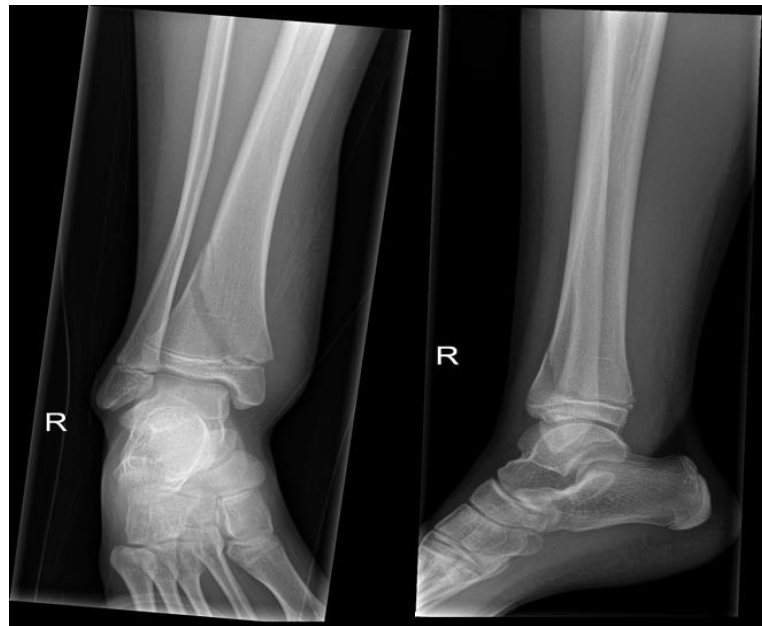


Abbildung 33: Röntgen bei Erstvorstellung



Abbildung 34: Röntgen nach operativer Versorgung



*Abbildung 35: Verlaufskontrolle nach 3 Monaten*



*Abbildung 36: Verlaufskontrolle nach 6 Monaten*

### 3.2.8.2 Epicondylus ulnaris-Frakturen: radiologischer Heilungsverlauf SG-UE vs. MG-UE

Die Follow-Up Zeit zwischen Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild unterschied sich in der Gruppe der Epicondylus ulnaris-Frakturen nicht statistisch signifikant zwischen Shark Screw®- und Metallgruppe (Shark Screw®  $24,9 \pm 16,8$  Wochen vs. Metall  $18,4 \pm 14,9$  Wochen;  $p=0,313$ , Mann-Whitney-U Test.)

Bezogen auf den radiologischen Heilungsverlauf der oberen Extremität zeigte sich in den zwei Gruppen ein ähnliches Ergebnis. In der SG-OE ( $n=9$ ) waren in drei von neun Fällen (33,3%) zunehmende Konsolidierungszeichen zu verzeichnen, während in sechs von neun Fällen (66,7%) der Frakturspalt nicht mehr einsehbar war. Diese zwei Gruppen waren bezogen auf die Follow-Up Zeit nicht statistisch signifikant unterschiedlich ( $p=0,548$ , Mann-Whitney-U Test).

In der Vergleichsgruppe (MG-OE,  $n=22$ ) wurde in einem von 22 Fällen (4,6%) keine knöchernen Konsolidierung, in zehn von 22 Fällen (45,5%) eine zunehmende knöchernen Konsolidierung und in elf von 22 Fällen (50%) ein nicht mehr einsehbarer Frakturspalt beschrieben (Tabelle 5). Auch diesen zwei Gruppen unterschieden sich bezogen auf die Zeit zwischen Operation und dem letzten verfügbaren Röntgenbild nicht statistisch signifikant ( $p=0,103$ , Mann-Whitney-U Test).

Zwischen den beiden Behandlungsformen zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied der knöchernen Konsolidierung ( $p=0,620$ , Chi Quadrat Test).

#### Knöchernen Konsolidierung nach Behandlungsform

		Behandlungsform		Gesamt
		MG-OE	SG-OE	
Knöchernen Konsolidierung	0	1	0	1
(keine=0; zunehmende	1	10	3	13
Konsolidierungszeichen =1,	2	11	6	17
Frakturspalt nicht mehr				
einsehbar=2)				
Gesamt		22	9	31

Tabelle 5: Knöchernen Konsolidierung SG-OE ( $n=9$ ) vs. MG-OE ( $n=22$ )

Der radiologische Heilungsverlauf wurde in der SG-OE (n=9) in zwei von neun Fällen (22,2%) mit „gut“ und in sieben von neun Fällen (77,8%) mit „sehr gut“ beurteilt. In der Vergleichsgruppe mit Metallimplantaten (MG, n=22) wurde der radiologische Heilungsverlauf in einem von 22 Fällen (4,6%) mit „moderat“, in vier von 22 Fällen (18,2%) mit „gut“ und in 17 von 22 Fällen (77,3%) mit „sehr gut“ beurteilt (Tabelle 6).

Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen hinsichtlich des radiologischen Heilungsverlaufs ( $p=0,793$ , Chi Quadrat Test).

### **Radiologischer Heilungsverlauf nach Behandlungsform**

		Behandlungsform		Gesamt
		MG-OE	SG-OE	
Radiologischer Heilungsverlauf	moderat	1	0	1
	gut	4	2	6
	sehr gut	17	7	24
Gesamt		22	9	31

*Tabelle 6: radiologischer Heilungsverlauf SG-OE (n=9) vs. MG-OE (n=22)*

### 3.2.8.2.1 Radiologische Verlaufskontrolle nach Epicondylus ulnaris-Fraktur (MG)

Die folgenden Abbildungen dienen zur Veranschaulichung des knöchernen Heilungsverlaufs einer mittels Schraube fixierten Epicondylus ulnaris-Fraktur anhand von Röntgenbildern in zwei Ebenen (aps) im Rahmen der routinemäßigen postoperativen Kontrollen (Abbildungen 37-40).

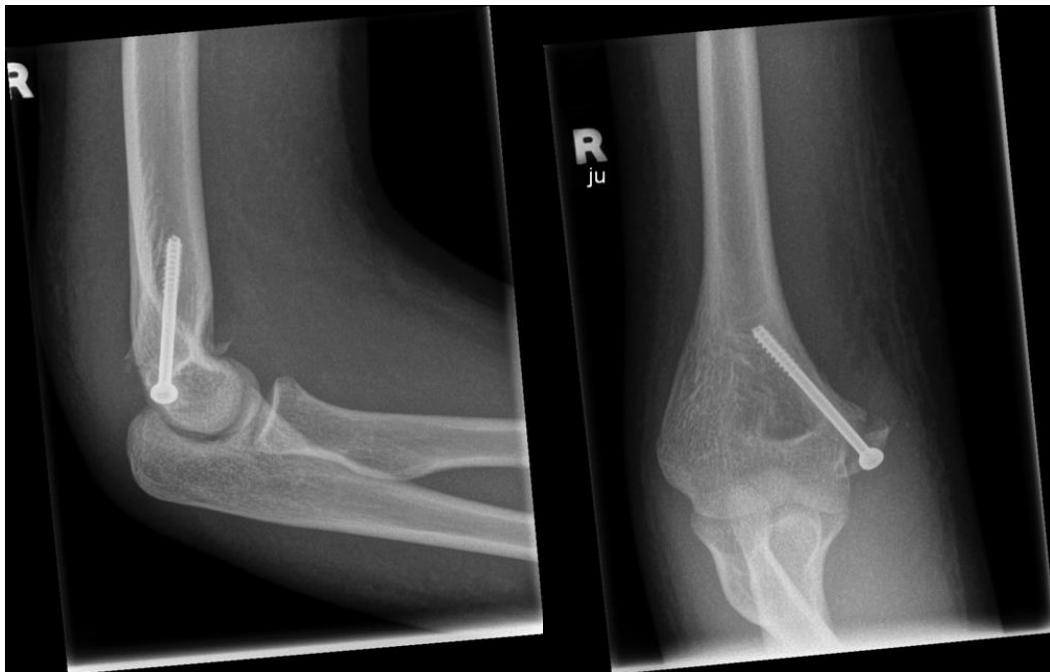


Abbildung 37: Röntgen am OP-Tag



Abbildung 38: Verlaufskontrolle 10 Tage nach OP



Abbildung 39: Verlaufskontrolle 24 Tage nach OP



Abbildung 40: Verlaufskontrolle 6 Wochen nach OP

### 3.2.8.2.2 Radiologische Verlaufskontrolle nach Epicondylus ulnaris-Fraktur (SG)

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen das Unfallbild einer Epicondylus ulnaris-Fraktur sowie den knöchernen Heilungsverlauf nach einer operativen Behandlung mittels Shark Screw® anhand von Röntgenbildern in zwei Ebenen (aps) im Rahmen der postoperativen Routinekontrollen (Abbildungen 41-44).

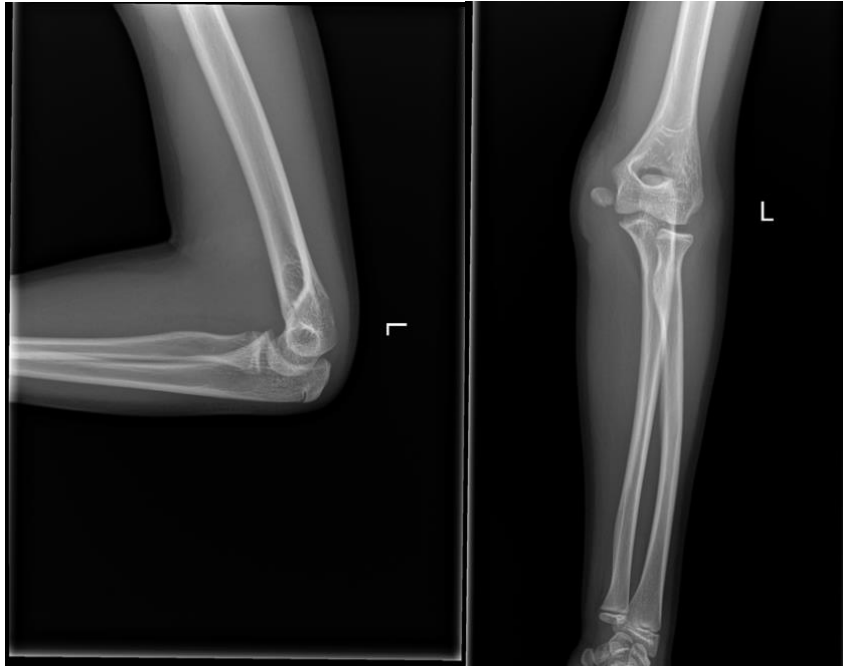
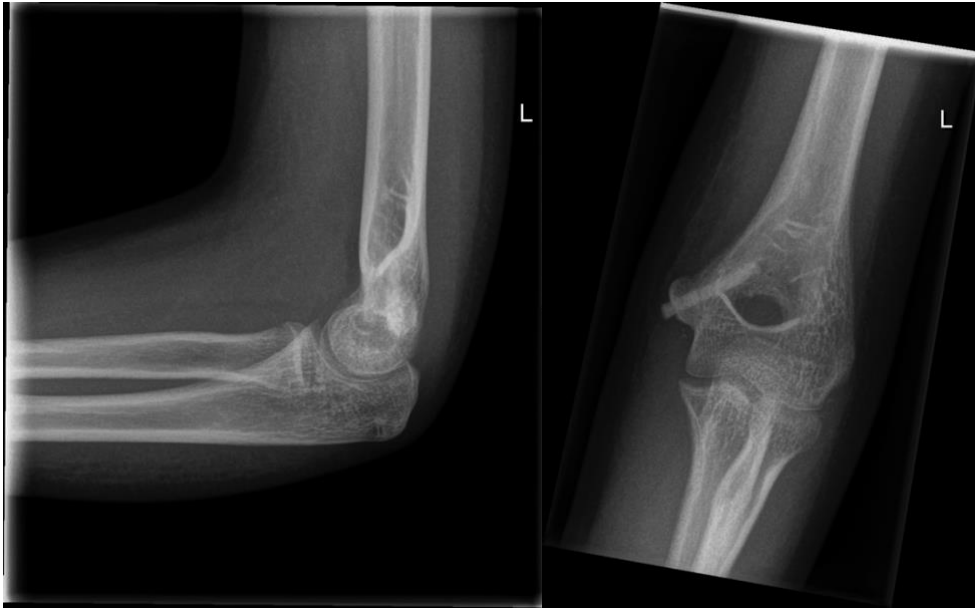


Abbildung 41: Röntgen bei Erstvorstellung



Abbildung 42: Röntgen am Operationstag



*Abbildung 43: Verlaufskontrolle 8 Wochen nach Operation*



*Abbildung 44: Verlaufskontrolle 3 Monate nach OP*

## **4. Diskussion**

### **4.1. Antworten auf die Forschungsfrage**

Ziel dieser Arbeit war es zu untersuchen, ob die Frakturversorgung mittels Shark Screw® bei bestimmten Indikationen im Kindes- und Jugendalter einen vergleichbaren Stellenwert wie die Frakturversorgung mit konventionellen Osteosynthesematerialien aus Titan oder Stahl einnimmt. Zu diesem Zweck wurden die stationäre Aufenthaltsdauer (d), die Dauer bis zur Bewegungsfreigabe (d), die Dauer bis zur Sportfreigabe (w), die OP-Dauer (min.), die postoperative Komplikationen, der radiologische Heilungsverlauf hinsichtlich knöcherner Konsolidierung untersucht und die beiden Behandlungsgruppen miteinander verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass Großteils keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen bestanden. Aus diesem Grund kann die Forschungsfrage bejaht werden: die Shark Screw® stellt eine valide Alternative zu herkömmlichen Osteosynthesematerialien bei der Frakturversorgung bei gewissen Indikationen im Kindes- und Jugendalter dar. Bezugnehmend auf die untersuchten Parameter kann von einer vergleichbaren klinischen Effektivität beider Verfahren ausgegangen werden.

### **4.2. Epidemiologische Daten**

Übereinstimmend mit der gängigen Literatur war das Vorkommen von Frakturen, sowohl in der Gruppe, die mittels Shark Screw® versorgt wurden, als auch in der Gruppe, der mittels herkömmlicher Osteosyntheseverfahren behandelten Frakturen, zugunsten der Jungen verschoben. In etwa 2/3 der Frakturen traten sowohl in der MG als auch in der SG beim männlichen Geschlecht auf. Dies lässt sich möglicherweise mit einer höheren Risikobereitschaft des männlichen Geschlechts erklären. (2,23)

Bezogen auf das Alter belief sich der Durchschnitt bei den Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® behandelt wurden, auf 13,9 Jahre und bei den Patient\*innen, welche mittels Metallen behandelt wurden, auf 13,0 Jahre. Es zeigte sich außerdem, dass Mädchen mit Frakturen bei Erstvorstellung jünger waren als Buben. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Arbeiten in der gängigen Literatur und könnte auf ein früheres Einsetzen der Pubertät bei Mädchen zurückzuführen sein. Zu Beginn der Pubertät erzielt die Rate des Knochenbaus seinen Gipfel, was zu einem erhöhten Frakturrisiko führen

könnte, dieser Zeitpunkt ist bei Mädchen aufgrund der früher einsetzenden Pubertät früher erreicht als bei Jungen. (37)

### **4.3. Vergleichende Überlegungen**

#### **4.3.1. Vergleichbarkeit bezüglich der stationären Aufenthaltsdauer**

Hinsichtlich der stationären Aufenthaltsdauer (d) zeigte sich beim Vergleich der beiden Gruppe, SG (n=18) vs. MG (n=44), kein statistisch signifikanter Unterschied. Daher ist davon auszugehen, dass die Versorgung mittels Shark Screw® keinen verlängerten Aufenthalt auf Station mit sich bringt.

Betrachtet man die beiden Untergruppen gesondert nach Frakturlokalisierung, zeigte sich, dass bei der Behandlung der Sprunggelenksfrakturen (stellvertretend für die untere Extremität), kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der stationären Aufenthaltsdauer zwischen den beiden Behandlungsformen besteht. Die Länge der stationären Aufenthaltsdauer wird vielmehr von der Komplexität der Fraktur als von der Art der Frakturversorgung beeinflusst. So gehen komplexere Frakturen mit einem höheren Ausmaß an Dislokation mit einem verlängerten stationären Aufenthalt einher. (37) Es gilt in weiterführenden Studien zu untersuchen, ob die Shark Screw® für unterschiedliche Frakturausmaße eine geeignete Alternative darstellt.

Da die Frakturversorgung durch Osteosynthesematerialien aus Metall eine nochmalige stationäre Aufnahme zur Metallentfernung bedingt, wurde ein Vergleich unter Berücksichtigung der stationären Aufenthaltsdauer für die Metallentfernung aufgestellt. Hierunter zeigte sich eine signifikant längere Aufenthaltszeit ( $p=0,024$ ) für die Patient\*innen, die mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien versorgt wurden.

Ebenso wurde an dieser Stelle ein gesonderter Vergleich der Untergruppen der Sprunggelenksfrakturen und jene der Epicondylus ulnaris-Frakturen durchgeführt. Bei den Sprunggelenksfrakturen zeigte sich eine signifikant längere Aufenthaltszeit ( $p=0,033$ ) für Patient\*innen, die mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien versorgt wurden. Bezogen auf die obere Extremität ergab der Vergleich keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,103$ ) zwischen den beiden Behandlungsmethoden.

Daher postulieren wir, dass bezogen auf die stationäre Aufenthaltsdauer (d) die Behandlung mittels Shark Screw® Vorteile gegenüber der Behandlung mittels Titan und Stahl bei speziellen Indikationen bietet. Insbesondere wenn man die notwendigen Re-

Operation zur Metallentfernung mitberücksichtigt. Der stationäre Gesamtaufenthalt im Krankenhaus wird insbesondere bei Frakturen der unteren Extremität durch die Verwendung der Shark Screw® verkürzt im Vergleich zur Behandlung mit Metallen, da der stationäre Aufenthalt zur Metallentfernung bei der Frakturversorgung mittels Shark Screw® entfällt.

Aus ökonomischer Sicht reduzieren sich die Kosten durch die kürzere stationäre Aufenthaltszeit bzw. den Wegfall der stationären Wiederaufnahme zur Metallentfernung bei der Behandlung mittels Shark Screw®. Diesbezüglich sind aber noch weitere Studien, welche ökonomische Vor- und Nachteile untersuchen, nötig.

#### **4.3.2. Vergleichbarkeit bezüglich der Dauer der Sportbefristung**

Der Vergleich der Dauer der Sportbefristung (w) lieferte für die gesamte Gruppe SG (n=18) vs. MG (n=44) keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Beim Vergleich der beiden Untergruppen, Sprunggelenksfrakturen und Epicondylus ulnaris-Frakturen, zeigte sich in Bezug auf die Sprunggelenksfrakturen ein signifikanter Unterschied ( $p=0,029$ ) zugunsten der Patient\*innen, die mittels herkömmlichen Osteosyntheseverfahren versorgt wurden, indem die Operationszeit der Patient\*innen, die mittels Shark Screw® versorgt wurden, länger war. Bezogen auf die Epicondylus ulnaris-Frakturen, stellvertretend für die obere Extremität, zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,915$ ) bezüglich der Dauer der Sportbefristung.

Zur besseren Vergleichbarkeit erfolgte die Einberechnung der Sportbefristung nach Metallentfernung. Hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungsformen sowohl im Gesamten (SG, n=18 und MG, n=44), als auch im jeweiligen Vergleich der Epicondylus ulnaris-Frakturen, stellvertretend für die obere Extremität, sowie der Sprunggelenksfrakturen, stellvertretend für die untere Extremität, festgestellt werden.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die allogene Knochenschraube hinsichtlich der Funktionalität mit herkömmlichen Methoden vergleichbar ist und bezogen auf die Dauer der Sportbefristung (w) nach Frakturversorgung keinen Nachteil bringt. Allerdings wurde in der SG der unteren Extremität eine längere Sportbefristung angeordnet als in der MG. Dies könnte eventuell darauf zurückzuführen zu sein, dass die Shark Screw® eine verminderte Toleranz gegenüber Scherkräften aufweist, weshalb auf eine frühe multidirektionale Belastung des Sprunggelenks bei aktiven Kindern und Jugendlichen verzichtet werden sollte. Diesbezüglich sind jedoch weitere Studien notwendig.

### 4.3.3. Vergleichbarkeit bezüglich der OP-Zeiten

Hinsichtlich der Operationszeiten wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den zwei Behandlungsformen festgestellt. Hier zeigte sich beim allgemeinen Vergleich der beiden Gruppen ein signifikanter Unterschied ( $p=0,001$ ) bezüglich der beiden Behandlungsformen zugunsten der Versorgung mittels konventioneller Osteosynthese, da die Operationszeit bei der SG durchschnittlich um eine halbe Stunde länger dauerte als bei der MG. Die durchschnittliche Operationszeit zur Metallentfernung betrug wiederum ebenso eine halbe Stunde, weshalb bei Miteinberechnung der Operationszeit zur Metallentfernung kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsformen (SG vs. MG) zu verzeichnen war.

Betrachtet man die Untergruppen gesondert, ergab die Operationszeit bei den Sprunggelenksfrakturen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Behandlungsoptionen. Wohingegen bei den die Epicondylus ulnaris-Frakturen sehr wohl ein signifikanter Unterschied ( $p=0,002$ ) zwischen den beiden Behandlungsformen zugunsten der SG bestand. Die OP-Zeiten der Patient\*innen, welche mittels Shark Screw® versorgt wurden, war in etwa 25 Minuten länger als in der Vergleichsgruppe.

Da in der MG ein Folgeeingriff zur Metallentfernung notwendig war, erfolgte ein Vergleich der zusammengesetzten OP-Zeiten (min). Hierbei zeigte sich beim direkten Vergleich der gesamten Gruppen, der Subgruppen, sowohl im Fall der Sprunggelenksfrakturen als auch der Epicondylus ulnaris-Frakturen kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsformen. Daher ist, unter Betrachtung der Notwendigkeit eines Folgeeingriffs, die Shark Screw® auch bezogen auf die OP-Dauer als valide Alternative zu herkömmlichen Osteosynthesematerialien zu betrachten.

Ein weiterer Aspekt, der in diesem Zusammenhang erwähnt werden sollte, ist, dass die Shark Screw® für die meisten Operateur\*innen der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie ein neueres Verfahren darstellt und sich dadurch die längere Operationszeit bei der Verwendung der Shark Screw® erklärt. Der Einsatz von neuen Operationsmaterialien und -methoden stellt immer wieder eine Herausforderung im klinischen Alltag dar und kann durch ungewohntes Handling zur Verzögerungen im Ablauf führen. Dies ist jedoch kein Shark Screw®-spezifisches Problem, sondern wird generell im Zusammenhang mit dem Einsatz neuer Technologien beobachtet. Im Fall der Shark Screw® bleibt der operative

Zugangsweg der gleiche wie bei der MG, jedoch ist das intraoperative Handling der allogenen Knochenschraube anders und könnte somit zu Verzögerungen führen. (38)

Zur besseren Vergleichbarkeit sollte die Studie erneut durchgeführt werden, mit Operateur\*innen, die mit dem Handling der Shark Screw<sup>®</sup> genauso gut vertraut sind wie mit dem Handling herkömmlichen Osteosyntheseverfahren.

#### **4.3.4. Vergleichbarkeit bezüglich der postoperativen Komplikationen**

Postoperative Komplikationen, die erfasst wurden, beinhalteten Läsionen des N. ulnaris, Bewegungseinschränkung bei Dorsalextension, Implantatbruch, verzögerter Schluss des Frakturspalts und anhaltende Schmerzen bei sportlicher Belastung. Bezüglich der postoperativen Komplikationen erfolgte wiederum ein Vergleich der gesamten Studienpopulation, sowie der Sprunggelenksfrakturen, stellvertretend für die untere, und der Epicondylus ulnaris-Frakturen, stellvertretend für die obere Extremität.

In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels Shark Screw<sup>®</sup> versorgt wurden (SG, n=18) zeigte sich ein partieller Ausfall des N. ulnaris, einmalig eine Bewegungseinschränkung bei Dorsalextension, sowie zweimal ein verzögerter Schluss des Frakturspalts (letztere betreffen die Untergruppen SG-UE und SG-OE). In der Gruppe der Patient\*innen, die mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien versorgt wurden (MG=44), zeigte sich ein/e Patient\*in mit anhaltenden Schmerzen bei sportlicher Belastung, sowie ein/e Patient\*in mit einer N. ulnaris Läsion.

Es erfolgte ein gesonderter Vergleich der drei zuvor genannten Gruppen auch unter Berücksichtigung der meist notwendigen Folgeeingriffe zur Metallentfernung. Hier zeigte sich in allen Vergleichen ein nicht signifikantes Ergebnis, was darauf schließen lässt, dass es sich, bezogen auf das Auftreten von postoperativen Komplikationen, bei der Frakturversorgung mittels Shark Screw<sup>®</sup> um eine sichere Alternative zur Versorgung mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien aus Titan und Stahl handelt.

Vergleichbare Studien lassen nach Versorgung mittels Shark Screw<sup>®</sup> eine höhere Heilungsrate und selteneres Auftreten einer Non-Union vermuten. (34)

Diese Beobachtung konnte in unserer Studie nicht bestätigt werden, was an der eher kleinen Studienpopulation liegen könnte. Diesbezüglich könnte eine retrospektive Studie mit größeren Fallzahlen aufschlussreich sein.

#### **4.3.5. Vergleichbarkeit bezüglich des radiologischen Heilungsverlaufs**

Der radiologische Heilungsverlauf wurde anhand der knöchernen Konsolidierung mithilfe von Röntgenbildern in zwei Ebenen beurteilt. Dabei entsprach der Wert „0“ keiner Konsolidierung, der Wert „1“ bedeutete zunehmende Konsolidierungszeichen und der Wert „2“ entsprach einem nicht mehr einsehbaren Frakturspalt im Sinne einer vollständigen Konsolidierung. Der durchschnittliche Zeitraum von der OP bis zur letzten Röntgenkontrolle betrug in der Gruppe der SG 7,7 Monate und in der Gruppe der MG 5,1 Monate. Bezüglich des Zeitraum zwischen OP und letzter Röntgenkontrolle ließ sich in keinem Vergleich (gesamte Gruppe, sowie Untergruppen gesondert, als auch unter Einbeziehung der Reoperation zur Metallentfernung) ein statistisch signifikanter Unterschied nachweisen.

Auch bezogen auf die Variable radiologischer Heilungsverlauf wurde wiederum die gesamte Studienpopulation, sowie die einzelnen Untergruppen, nämlich Sprunggelenksfrakturen, stellvertretend für die untere, und Epicondylus ulnaris-Frakturen, stellvertretend für die obere Extremität, sowohl bezogen auf die primäre Operation als auch unter Rücksichtnahme des Folgeeingriffs zur Metallentfernung miteinander verglichen. Es zeigte sich für alle Untergruppen kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsformen womit von einem ähnlichen Outcome bezogen auf die Variable „radiologischer Heilungsverlauf“ ausgegangen werden kann.

#### **4.3.6. Zusätzliche Überlegungen**

Zusätzliche Risiken, die mit einem Zweiteingriff zur Metallentfernung einhergehen wie das Narkoserisiko, operationsassoziierte Komplikationen sowie das Risiko einer nosokomialen Infektion durch einen verlängerten Aufenthalt im Krankenhaus wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt, sind jedoch nicht zu vernachlässigen. Weiters geht die meist notwendige Entfernung von Osteosynthesematerialien mit zusätzlichen Kosten für das Gesundheitssystem einher, die durch die Verwendung der Shark Screw® reduziert werden könnten. Auch wenn im Rahmen dieser Arbeit keine Daten zu diesen Aspekten erfasst wurden, stellen sie einen wichtigen medizinischen und gesundheitsökonomischen Gesichtspunkt dar und sollten in zukünftigen Arbeiten berücksichtigt werden. (40)

In Anbetracht der vorliegenden Ergebnisse postulieren wir, dass der Einsatz der Shark Screw® in der Frakturversorgung bei Kindern und Jugendlichen vergleichbar mit herkömmlichen Osteosynthesematerialien aus Metallen anwendbar und sogar, bei speziellen

Indikationen, vorteilhaft sein kann. In erster Linie, weil die Patient\*innen in der Regel keinen wesentlichen Nachteil aus der Versorgung mittels allogener Knochenschraube haben und ihnen ein Folgeeingriff zur Metallentfernung erspart bleibt. Dies führt unter Umständen sogar zu verkürzten stationären Aufenthaltszeiten (d) bezogen auf die gesamte Aufenthaltszeit bei Metalleinbringung und -entfernung und könnte somit sowohl zu einer niedrigeren Risikoexposition von Patient\*innen als auch zur Ressourcenschonung im Gesundheitswesen beitragen.

#### 4.4. Schlussfolgerung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit dem Vergleich der Frakturversorgung mittels Shark Screw® gegenüber konventioneller, osteosynthetischer Verfahren bei Kindern und Jugendlichen. Aus den Resultaten lässt sich schließen, dass die Versorgung mittels allogener Knochenschraube hinsichtlich klinischem und radiologischem Outcome als gleichwertig zu betrachten ist. Insbesondere wurden die Variablen stationäre Aufenthaltsdauer (d), die Dauer der Sportbefristung (w), die OP-Dauer (min), die postoperativen Komplikationen und der radiologische Heilungsverlauf hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede untersucht.

Beim Vergleich der OP-Zeiten zeigte sich ein signifikanter Unterschied, insofern, dass die Versorgung mittels Shark Screw® länger dauerte als mittels herkömmlicher Osteosynthesematerialien. Bei Aufschlüsselung nach oberer und unterer Extremität und unter Einbeziehung der OP-Zeit bei Metallentfernung, zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied bezogen auf die OP-Zeiten.

Bezüglich der stationären Aufenthaltsdauer zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei Berücksichtigung der Aufenthaltszeit nach Metallentfernung, insofern, dass eine Versorgung mittels herkömmlichen Osteosynthesematerialien insgesamt zu einer längeren stationären Aufenthaltsdauer führte.

Weiters ergab sich ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Sportbefristung nach Versorgung mittels Shark Screw® vs. mittels konventioneller Osteosynthesematerialien zugunsten der SG, wobei nach Berücksichtigung der Sportbefristung nach Metallentfernung kein signifikanter Unterschied feststellbar war.

Ein wesentlicher Vorteil der Shark Screw® besteht im Wegfall eines Folgeeingriffs zur Metallentfernung, wodurch potenzielle Risiken, welche mit einer Narkose verbunden sind, wegfallen. Dieser Aspekt ist besonders für diese sensible Gruppe der pädiatrischen Patient\*innen beachtenswert.

Zudem zeigt sich möglicherweise ein ökonomischer Vorteil durch die verkürzte stationäre Aufenthaltszeit. Die operative Versorgung mittels Shark Screw® stellt demnach bei gewissen Indikationen, nicht nur bei Erwachsenen, sondern auch bei Kindern und Jugendlichen eine geeignete Alternative zu herkömmlichen Osteosynthesematerialien dar.

Um sichere Aussagen bezüglich der Verwendung der allogenen Knochenschraube (Shark Screw®) bei Kindern und Jugendlichen treffen zu können, sind weitere prospektive

Studien mit größeren Fallzahlen sowie einer standardisierten Erhebung langfristiger funktioneller und ökonomischer Parameter notwendig, um das volle Potenzial der Shark Screw® im klinischen Alltag beurteilen zu können.

## Literaturverzeichnis

1. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/haeufigkeit-von-frakturen-der-langen-roehrenknochen-im-wachstumsalter-1dd309eb-06b1-4c58-b59a-73c1ca024637#nr1>  
(Zugriff: 13.08.2025)
2. Xiao X, Ding Y, Zheng Y, Gao Y, Li H, Liu R, u. a. Epidemiological Investigation of Pediatric Fractures-A Retrospective Cohort Study of 1129 Patients. *Medicina (Kaunas)*. 18. April 2023;59(4):788.
3. Streicher G, Reilmann H. Distale Tibia Frakturen. *Der Unfallchirurg*. 1. November 2008;111(11):905–18.
4. Aumüller G. *Duale Reihe*. 3., aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2014. 1332
5. Choukair D, Bettendorf M. Hormonelle Steuerung des Größenwachstums. *Gynäkologische Endokrinologie*. Februar 2013;11(1):19–24.
6. Su AW, Larson AN. Pediatric Ankle Fractures: Concepts and Treatment Principles. *Foot Ankle Clin*. Dezember 2015;20(4):705–19.
7. McGregor PC, Lyons MM, Wozniak A, Linko K, Fishman F, Cappello T. The Effect of Obesity on Pediatric Tibia Fractures. *Iowa Orthop J*. Juni 2022;42(1):41–6.
8. Pomeranz CB, Bartolotta RJ. Pediatric ankle injuries: utilizing the Dias-Tachdjian classification. *Skeletal Radiol*. April 2020;49(4):521–30.
9. Levine RH, Thomas A, Nezwek TA, Waseem M. Salter-Harris Fracture. In: *StatPearls [Internet]*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [zitiert 9. November 2024].
10. Duchesneau S, Fallat LM. The Tillaux fracture. *J Foot Ankle Surg*. 1996;35(2):127–33; discussion 189.

11. Tak S, Qureshi MK, Ackland JA, Arshad R, Salim J. Adolescent Tillaux Fractures: A Systematic Review of the Literature. *Cureus*. 22. Januar 2021;13(1):e12860.
12. Shamrock AG, Varacallo M. Triplane Ankle Fracture. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [zitiert 24. Oktober 2024]
13. Cepela DJ, Tartaglione JP, Dooley TP, Patel PN. Classifications In Brief: Salter-Harris Classification of Pediatric Physeal Fractures. *Clinical Orthopaedics & Related Research*. November 2016;474(11):2531–7.
14. Olgun ZD, Maestre S. Management of Pediatric Ankle Fractures. *Curr Rev Musculoskelet Med*. September 2018;11(3):475–84.
15. Jalkanen J, Sinikumpu JJ, Puhakka J, Laaksonen T, Nietosvaara Y, Kosola J, u. a. Physeal Fractures of Distal Tibia: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Pediatr Orthop*. 1. August 2021;41(7):e506–11.
16. King J, Diefendorf D, Apthorp J, Negrete VF, Carlson M. Analysis of 429 fractures in 189 battered children. *J Pediatr Orthop*. 1988;8(5):585–9.
17. Chen H, Chen Z, Chen P, Zheng Z, Lin J. Incidence of growth disturbance after distal tibia physeal fracture in children. *J Orthop Surg Res*. 8. Dezember 2022;17(1):529.
18. Venkatadass K, Sangeet G, Prasad VD, Rajasekaran S. Paediatric Ankle Fractures: Guidelines to Management. *Indian J Orthop*. Februar 2021;55(1):35–46.
19. Beom J, Woo EJ, Lee IS, Kim MJ, Kim YS, Oh CS, u. a. Harris lines observed in human skeletons of Joseon Dynasty, Korea. *Anat Cell Biol*. März 2014;47(1):66–72.
20. Vogt B, Gosheger G, Wirth T, Horn J, Rödl R. Leg Length Discrepancy- Treatment Indications and Strategies. *Dtsch Arztebl Int*. 12. Juni 2020;117(24):405–11.
21. <https://posna.org/physician-education/study-guide/humerus-medial-epicondyle-fractures?> (Zugriff: 05.01.2026)

22. Okubo H, Nakasone M, Kinjo M, Onaka K, Futenma C, Kanaya F. Epidemiology of paediatric elbow fractures: a retrospective multi-centre study of 488 fractures. *J Child Orthop*. 1. Oktober 2019;13(5):516–21.
23. [https://www.springermedizin.de/emedpedia/detail/orthopaedie-und-unfallchirurgie/ellenbogenluxationen-mit-frakturen-der-epikondylen-des-distalen-humerus-und-ossaere-seitenbandausrisse-am-ellenbogen-beim-kind?epediaDoi=10.1007%2F978-3-642-54673-0\\_179](https://www.springermedizin.de/emedpedia/detail/orthopaedie-und-unfallchirurgie/ellenbogenluxationen-mit-frakturen-der-epikondylen-des-distalen-humerus-und-ossaere-seitenbandausrisse-am-ellenbogen-beim-kind?epediaDoi=10.1007%2F978-3-642-54673-0_179) (Zugriff: 14.12.2025)
24. Bašković M, Pešorda D, Zaninović L, Hasandić D, Lohman Vuga K, Pogorelić Z. Management of Pediatric Elbow Fractures and Dislocations. *Children (Basel)*. 27. Juli 2024;11(8):906.
25. Saeed W, Waseem M. Elbow Fractures Overview. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
26. Grahn P, Hämäläinen T, Nietosvaara Y, Ahonen M. Comparison of outcome between nonoperative and operative treatment of medial epicondyle fractures. *Acta Orthop*. Februar 2021;92(1):114–9.
27. Baumann AN, Anaspure O, Patel S, Shams K, Yoder RG, Mistovich RJ. Examining Outcomes and Complications for Operative Versus Nonoperative Treatment of Pediatric Type II Supracondylar Humerus Fractures: A Systematic Review of Comparative Studies. *J Pediatr Orthop*. 1. Januar 2025;45(1):e1–9.
28. Masci G, Basiglioni L, Giusti C, Aulisa AG, Falciglia F. Lateral Humeral Condyle Fracture in Childhood: Results of a New Surgical Technique. *J Clin Med*. 11. Mai 2024;13(10):2830.
29. Kamath AF, Baldwin K, Horneff J, Hosalkar HS. Operative versus non-operative management of pediatric medial epicondyle fractures: a systematic review. *J Child Orthop*. Oktober 2009;3(5):345–57.

30. Smith JT, McFeely ED, Bae DS, Waters PM, Micheli LJ, Kocher MS. Operative fixation of medial humeral epicondyle fracture nonunion in children. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(7):644–8.
31. Flynn John M., Skaggs David L., Waters Peter M.. *Rockwood and Wilkins`Fractures in Children, Chapter 18 „Dislocations of the elbow, medial epicondylar humerus fractures“.* 8ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health 2015.
32. Giannoudis PV, Einhorn TA, Marsh D. Fracture healing: the diamond concept. *Injury.* September 2007;38 Suppl 4: S3-6.
33. Müller SA, Barg A, Vavken P, Valderrabano V, Müller AM. Autograft versus sterilized allograft for lateral calcaneal lengthening osteotomies: Comparison of 50 patients. *Medicine (Baltimore).* Juli 2016;95(30):e4343.
34. Labmayr V, Huber E, Wenzel-Schwarz F, Holweg P, Ornig M, Jakob G, u. a. Non-Union Treatment in the Foot, Ankle, and Lower Leg: A Multicenter Retrospective Study Comparing Conventional Treatment with the Human Allogeneic Cortical Bone Screw (Shark Screw®). *J Pers Med.* 27. März 2024;14(4):352.
35. Brcic I, Pastl K, Plank H, Igrc J, Schanda JE, Pastl E, u. a. Incorporation of an Allogenic Cortical Bone Graft Following Arthrodesis of the First Metatarsophalangeal Joint in a Patient with Hallux Rigidus. *Life (Basel).* 24. Mai 2021;11(6):473.
36. Huber E, Jakob G, Palle W, Borchert GH, Pastl K. Non-Union Treatment in the Shoulder, Arm, Wrist, and Fingers: A Multicentre Retrospective Study Comparing Conventional Treatment with the Human Allogeneic Cortical Bone Screw (Shark Screw®). *Life (Basel).* 10. September 2025;15(9):1421.
37. Schalamon J, Dampf S, Singer G, Ainoedhofer H, Petnehazy T, Hoellwarth ME, u. a. Evaluation of fractures in children and adolescents in a Level I Trauma Center in Austria. *J Trauma.* August 2011;71(2):E19-25.

38. Goodman SB, Mihalko WM, Anderson PA, Sale K, Bozic KJ. Introduction of New Technologies in Orthopaedic Surgery. JBJS Rev [Internet]. 24. Mai 2016
39. Ateş O, Altıntaş M. Comparison of clinical outcome, cost and union times in pediatric ankle fractures. J Health Sci Med /JHSM /jhs. 16. September 2025;8(5):832–8.
40. Montgomery BK, Gamble JG, Kha ST, Hecht GG, Vorhies JS, Lucas JF. Indications for and Risks Associated With Implant Removal After Pediatric Trauma. J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev. 15. April 2022;6(4):e22.00050.

Als Übersetzungshilfe anderssprachiger Literatur, zur Überarbeitung einzelner Textpassagen und als Unterstützung bei der Literaturrecherche wurde folgendes Tool verwendet: ChatGPT 3.5, OpenAI, 19.09.2025, <https://chatgpt.com>