

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

**Klinisches Outcome und Lebensqualität nach kindlicher
suprakondylärer Humerusfraktur**

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

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

**vorgelegt von
Feige, Cornelius Ernst**

2024

Dekan:

Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter:

Privatdozent Dr. A. Badke

2. Berichterstatter:

Professor Dr. A. Ateshrang

Tag der Disputation:

01.07.2024

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Fragestellung	7
2. MATERIAL UND METHODIK	8
2.1 Patientenkollektiv	8
2.2 Erhebung der Patientencharakteristika	10
2.3 Erhebung des Outcomes	12
2.4 Statistische Analyse	15
3. ERGEBNISSE	19
3.1 Patientencharakteristika	19
3.2 Komplikationen	23
3.3 Outcome	25
3.4 Untersuchung möglicher Einflussfaktoren auf Outcome und Lebensqualität	28
4. DISKUSSION	35
4.1 Studiendesign	35
4.2 Methodik	36
4.3 Ergebnisse	40
4.3.1 Patientencharakteristika	40
4.3.2 Behandlung	43
4.3.3 Komplikationen	45
4.3.4 Outcome	50
4.3.5 Statistische Ergebnisse	56
4.4 Kontext	61
4.5 Limitationen, Stärken und Ausblick	66
4.6 Schlussfolgerung	68
5. ZUSAMMENFASSUNG	69
6. LITERATURVERZEICHNIS	71
7. ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL DER DISSERTATIONSSCHRIFT	80
8. DANKSAGUNG	81

Abkürzungsverzeichnis

BGU

Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik 9

DASH

Disabilites of the Arm, Shoulder and Hand 6

HRQoL

Health-Related Quality of Life (Gesundheitsbezogene Lebensqualität) 6

MCID

Minimal Clinically Important Difference (minimaler klinisch bedeutsamer Unterschied) 19

MRT

Magnetresonanz-/Kernspintomographie) 55

OP

Operation 22

PedsQL™4.0

Pediatric Quality of Life Inventory (Pädiatrischer Fragebogen zur Lebensqualität) 6

PSCHF

Pädiatrische suprakondyläre Humerusfraktur 4

RCT

Randomisierte kontrollierte Studie 36

SCHF

suprakondyläre Humerusfraktur 2

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersicht Patientenrekrutierung	10
Abbildung 2 Alter zum Verletzungszeitpunkt	19
Abbildung 3 Nach Wilkins modifiziertes Gartland-Stadium.....	20
Abbildung 4 Behandlung	21
Abbildung 5 PedsQL™4.0-Score	26
Abbildung 6 Differenzen im Bewegungsumfang.....	27
Abbildung 7 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit des Gartland-Wilkins- Stadiums	29
Abbildung 8 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit der Behandlung CP	30
Abbildung 9 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit der Komplikationen	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht Patientencharakteristika	22
Tabelle 2 Behandlung in Abhängigkeit vom Gartland-Wilkins-Stadium.....	23
Tabelle 3 Übersicht Komplikationen	25
Tabelle 4 Outcome	27
Tabelle 5 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit von Gartland-Wilkins-Stadium, Behandlung und Komplikationen.....	31
Tabelle 6 Kreuztabelle zur Untersuchung möglicher Einflussfaktoren auf den Bewegungsumfang.....	33

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Verletzungen des Bewegungsapparates kommen bei Kindern und Jugendlichen häufig vor. Das Risiko, im Laufe des Lebens eine Fraktur zu erleiden, ist in der Kindheit und im hohen Lebensalter besonders hoch: fast die Hälfte aller Kinder erleidet während des Wachstums mindestens eine Fraktur (Jones et al., 2002; Schürer et al., 2015). Daraus leitet sich eine erhebliche klinische Relevanz von kindlichen Frakturen ab, welche zu vorübergehenden oder bleibenden Einbußen von Aktivität und Funktionalität führen können: Bei Kindern im Alter von null bis zwölf Jahren gehen beispielsweise Frakturen der oberen Extremität durchschnittlich mit einer Bewegungseinschränkung von zwei Wochen einher (Kopjar und Wickizer, 1998). Zu bedenken sind außerdem die erheblichen Kosten für das Gesundheitssystem, die durch die Behandlung kindlicher Frakturen verursacht werden (Nakaniida et al., 2014).

Kindliche Frakturen weisen aufgrund der Eigenheiten des wachsenden Skelettsystems im Vergleich zu Frakturen bei Erwachsenen mehrere Besonderheiten auf, die bei der Behandlung zu berücksichtigen sind. Die Epiphysenfugen der Heranwachsenden verknöchern erst mit vollendetem Längenwachstum. Daher können Schäden in diesem sensiblen Bereich zu Wachstumsstörungen führen. Verschiedene Faktoren spielen dabei eine Rolle. Abhängig vom Alter bzw. dem Skelettreifezustand kommt es zu mehr oder weniger starken Problemen des Längenwachstums, die Folgen sind vor allem bei jüngeren Patienten deutlich (von Laer et al., 2012; von Laer, 2016). Während der Wachstumsphase des Knochens führen Frakturen in der Regel zur Stimulation der umliegenden Fugen und folglich zum gesteigerten Längenwachstum; führt eine Fraktur zum vorfrühten Verschluss einer Fuge, können hingegen Wachstumsdefizite resultieren, ggf. mit zusätzlicher Achsfehlstellung bei teilweisem Verschluss (von Laer, 2016). Neben dem Wachstumsstillstand können außerdem eine Konsolidierung in Fehlstellung oder avaskuläre Nekrosen zu Achsabweichungen führen (Oh et al., 2000; Omid et al., 2008).

Neben den genannten Schwierigkeiten bieten kindliche Frakturen ein gewisses Potential zur Spontankorrektur, welches vom Skeletalter sowie der Nähe und Orientierung zur angrenzenden Gelenkachse abhängt (Wilkins, 2005). An der oberen Extremität sind vor allem die proximalen und distalen Wachstumszentren für das Wachstum verantwortlich, entsprechend hoch ist hier das Korrekturpotential und folglich gering ist es in Umgebung des Ellenbogens (Wilkins, 2005).

Je nach Population betreffen kindliche Frakturen in bis zu Dreiviertel der Fälle oder mehr die obere Extremität (Merckaert et al., 2020). 2017 wurden in deutschen Krankenhäusern 35.128 Frakturen der oberen Gliedmaße bei Patienten¹ zwischen null und 19 Jahren stationär behandelt; Frakturen des distalen Humerus hatten daran einen Anteil von 19,8% (6.944 Frakturen), die Inzidenz lag bei 186/100.000 Patientenjahre (Körner et al., 2019). Zu Frakturen des distalen Humerus zählt auch die suprakondyläre Humerusfraktur (SCHF), die mit 4-7% aller kindlichen Frakturen und einem Altersgipfel zwischen dem fünften und siebten Lebensjahr die häufigste Ellenbogenfraktur Heranwachsender darstellt (Fernandez und Eberhardt, 2012). Basierend auf dem Review von Omid et al. (2008) deuten verschiedene Studien darauf hin, dass vorwiegend die linke bzw. nicht-dominante Seite betroffen ist. Klassischerweise erleiden mehr Jungen als Mädchen eine SCHF (Cheng et al., 2001; Omid et al., 2008), wobei teilweise auch von gegenteiligen Geschlechterverhältnissen berichtet wird (Farnsworth et al., 1998). Von hoher Relevanz ist die SCHF unter anderem wegen der häufigen Assoziation mit neurovaskulären Begleitverletzungen (Cheng et al., 2001). Bedeutsam ist auch die Frage nach der adäquaten Versorgung: Bei insuffizienter Behandlung drohen unter bestimmten Voraussetzungen langanhaltende Fehlstellungen (Gercek et al., 2015).

¹ Das generische Maskulinum (z. B. „der Patient...“) steht in dieser Arbeit stellvertretend für die weibliche und die männliche Form, sofern das Geschlecht für eine bestimmte Aussage nicht explizit relevant ist. Dies soll Verständlichkeit und Lesbarkeit verbessern und bedeutet keinerlei Diskriminierungsabsicht.

Klinisch präsentiert sich die SCHF durch Schmerzen und eine Schwellung in Umgebung des Ellenbogengelenks mit eingeschränkter Beweglichkeit, eine dislozierte Fraktur kann durch eine Fehlstellung auffallen (Abzug und Herman, 2012). Der Verdacht einer Ellenbogenfraktur wird am besten durch eine Röntgenaufnahme in lateraler und anterior-posterior-Projektion bestätigt (Abzug und Herman, 2012). Daneben sollte bei Ellenbogenschmerzen und Funktionseinschränkungen des Arms an weitere Differentialdiagnosen gedacht werden, z. B. weitere/multiple oder okkulte Frakturen der oberen Extremität, also jene, die im konventionellen Röntgen nicht eindeutig zu diagnostizieren sind (Flynn und Skaggs, 2010; Meurer et al., 1999).

Der häufigste Verletzungsmechanismus bei SCHF ist ein Sturz auf die ausgestreckte Hand bei voll extendiertem Ellenbogen (Flynn und Skaggs, 2010; Omid et al., 2008). Das knöcherne Areal, das die radiale und ulnare Säule des distalen Humerus miteinander verbindet, ist durch die besondere anatomische Lage zwischen Fossa olecrani und Fossa coronoidea eher dünn und stellt insofern eine Schwachstelle dar, daher ist das Frakturrisiko in diesem Bereich besonders hoch (Flynn und Skaggs, 2010; Omid et al., 2008). Befindet sich das Ellenbogengelenk in maximaler Streckung, baut das Olecranon im Sinne eines Hypomochlions von hinten einen starken Druck auf die Fossa olecrani auf, während die vorderen Anteile der Gelenkkapsel hohe Zugkräfte auf den distalen Humerus ausüben; eine Überstreckung resultiert in einer Extensionsfraktur, die 97-99% aller SCHF ausmacht (Cheng et al., 2001; Fernandez und Eberhardt, 2012; Omid et al., 2008). Flexionsfrakturen sind im Gegensatz dazu deutlich seltener (Mahan et al., 2007).

Pädiatrische Frakturen der oberen Extremität sind ätiologisch am häufigsten assoziiert mit Stürzen aus geringer Höhe (<2 m; Wang et al., 2019), im Fall von SCHF häufig auf Spielplätzen vom Klettergerüst (Farnsworth et al., 1998). Ein verändertes Risikoverhalten und neue Freizeitaktivitäten spielen dabei ebenfalls eine Rolle, unter anderem durch die zunehmende Beliebtheit von Extremsportarten (Mathison und Agrawal, 2010).

Eine Unterscheidung zwischen Extensions- und Flexionsfrakturen kann in der lateralen Bildgebung mithilfe der so genannten Rogers-Hilfslinie vorgenommen werden: Sie wird entlang der Vorderkante des Humerus durch das Humerusköpfchen gezogen und schneidet es physiologischerweise im mittleren bzw. an der Grenze zum hinteren Drittel; liegt der Schnitt weiter ventral bzw. liegt das Köpfchen hinter dieser Linie, liegt eine Fraktur vom Extensionstyp vor, schneidet die Rogers-Hilfslinie das Capitulum weiter dorsal, handelt es sich um eine Flexionsfraktur (Wessel et al., 2016; Omid et al., 2008)

Vor allem bei Frakturen vom Extensionstyp kommt es zu neurologischen Komplikationen, die Richtung der Frakturdislokation steht in Zusammenhang mit den betroffenen Nerven: Posteroradiale Dislokationen betreffen eher den Nervus medianus, posteroulnare Dislokationen eher den Nervus radialis (Fernandez und Eberhardt, 2012). In einer Metaanalyse betrug die Inzidenz traumatischer Neurapraxien bei dislozierten pädiatrischen SCHF (PSCHF) 11,3% (Babal et al., 2010). Postoperative neurologische Defizite sind ebenfalls möglich und häufig iatrogen (Ladenhauf et al., 2014), bei mit perkutanen Spickdrähten versorgten Patienten betrug die Rate iatrogenen Neuropathien in der genannten Metaanalyse 3,9% (Babal et al., 2010). Daneben kann es auch zu vaskulären Läsionen kommen, eine schwerwiegende, aber dafür seltene Komplikation stellt das Kompartmentsyndrom dar und die Diagnose kann bei Kindern erschwert sein (Abzug und Herman, 2012). Schlussendlich sollten bei allen Patienten sorgfältig Durchblutung, Motorik und Sensorik getestet werden (Flynn und Skaggs, 2010). Bei Behandlung der PSCHF mit perkutaner Spickdrahtosteosynthese kann es zu Infektionen kommen, die Häufigkeit variiert in der Literatur von <1% bis 6,6% (Omid et al., 2008).

Spätfolgen äußern sich durch Fehlstellungen wie den Cubitus varus, bei dem es zu einer ellenseitigen Abweichung der Unterarmachse gegenüber dem Oberarm kommt. Es handelt sich dabei um eine der häufigsten Komplikationen von SCHF und das Auftreten ist unabhängig von der Behandlung mittels Gipsverband oder Spickdrähten (Abzug und Herman, 2012). Die Häufigkeit dieser Deformität wird mit 10-30% angegeben, Ursache kann die mediale Einkeilung oder die mediale Dislokation im Rahmen einer Rotationsinstabilität sein (Fernandez

und Eberhardt, 2012). Durch den dreidimensionalen Charakter dieser Fehlstellung kann es zur eingeschränkten Beweglichkeit kommen (Fernandez und Eberhardt, 2012). Bewegungseinschränkungen nach SCHF vom Extensionstyp sind selten und in der Regel minimal, durch mangelnde anatomische Reposition sind jedoch signifikante Beugedefizite möglich (Flynn und Skaggs, 2010).

Zur Beschreibung der SCHF vom Extensionstyp ist die Klassifikation nach Gartland am gebräuchlichsten (Abzug und Herman, 2012). 1959 unterschied Gartland folgende drei Frakturtypen: nicht- bzw. minimal dislozierte (Typ I), dislozierte mit posteriolem kortikalem Kontakt (Typ II) und vollständig dislozierte Frakturen (Typ III; Gartland, 1959; Omid et al., 2008). In der 1984 von Wilkins modifizierte Version wird die Typ-II-Fraktur zusätzlich nach Vorliegen einer Malrotation unterschieden (zitiert nach Abzug und Herman, 2012). Die Reliabilität dieser Klassifikation ist dabei höher als die anderer veröffentlichter Einteilungen (Barton et al., 2001).

Der Dislokationsgrad ist bei der Einteilung so bedeutend, da dieser wesentlich für die Therapieentscheidung ist (Fernandez und Eberhardt, 2012). Während Typ-I-Frakturen nach allgemeinem Konsens mit einer etwa dreiwöchigen Ruhigstellung unter radiologischer Kontrolle therapiert werden (Omid et al., 2008), wird vor allem die korrekte Behandlung der Typ-II-Fraktur kontrovers diskutiert: Die geschlossene Reposition mit anschließender Gipsruhigstellung mag zwar erfolgversprechend für die Typ-IIA-Frakturen ohne Rotations-Fehlstellung sein, die Malrotation der Typ-IIB-Frakturen wird jedoch am besten mittels geschlossener Reposition *und* Spickdrahtosteosynthese behandelt (Abzug und Herman, 2012). Vollständig dislozierte Typ-III-Frakturen werden ebenfalls am besten mit Spickdrähten versorgt, bevorzugt nach geschlossener Reposition und z. B. bei offenen Frakturen oder Weichteilinterposition auch nach offener Reposition (Abzug und Herman, 2012; Omid et al., 2008; Reitman et al., 2001). Das Gartland-Stadium kann weiterhin Indiz für bestimmte Komplikationen sein: Typ-III-Frakturen gehen beispielsweise oft mit Weichteilverletzungen und neurovaskulären Schäden einher (Omid et al., 2008).

Neben der richtigen Therapie der Typ-II-Frakturen ist auch die beste Pin-Platzierung Gegenstand wissenschaftlicher Kontroversen: Im Mittelpunkt steht dabei die Entscheidung zwischen einer ausschließlich von lateral kommenden Fixierung, die eine Schonung des Nervus ulnaris und eine Reduktion iatrogenen Nervenschäden ermöglichen soll, und einer gekreuzten Spickdrahtosteosynthese, die unter Umständen eine höhere biomechanische Stabilität ermöglicht (Abzug und Herman, 2012; Omid et al., 2008).

Das Outcome des heranwachsenden Patientenguts, das unter Umständen zeit lebens von Einschränkungen betroffen ist, ist vor diesem komplexen Hintergrund von großem Interesse. Anhand des Outcomes können Einflussfaktoren untersucht und die bestmögliche Therapie diskutiert werden. 1974 definierten Flynn et al. Kriterien zur Untersuchung des Outcomes nach SCHF, die bis heute häufig zitiert werden (Hadlow et al., 1996; Korhonen et al., 2019; Omid et al., 2008; Reitman et al., 2001; Sinikumpu et al., 2016; Tomori et al., 2018; Valencia et al., 2015). Sie setzen sich aus dem kosmetischen (Kubital- bzw. Tragewinkel des Ellenbogens (Waldt et al., 2023) und funktionellen Ergebnis (Bewegungsumfang) nach SCHF zusammen (Flynn et al., 1974).

Neben diesen objektiven Einschätzungen empfehlen sich subjektive Methoden wie etablierte und validierte Fragebögen. Um das Outcome von Patienten mit Erkrankungen des Bewegungsapparats zu erheben, wurde 1996 der Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Fragebogen (DASH) entwickelt, in dem die Bewältigung verschiedener Alltagsaktivitäten durch die Teilnehmer bewertet und der Schweregrad von Symptomen erfragt wird (Germann et al., 2006; Hudak et al., 1996). Um speziell auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität (Health-Related Quality of Life, HRQoL) der heranwachsenden Patienten einzugehen, bietet sich der pädiatrische Fragebogen zur Lebensqualität (PedsQL™4.0) an (Varni et al., 2003). In einer aktuellen amerikanischen Arbeit lag der mittlere QuickDASH-Wert unter 213 Patienten mit vorausgegangenem PSCHF bei 1,4 (Eguia et al., 2020). Auf einem Kontinuum von null bis 100 impliziert dieser niedrige Wert in der verkürzten, effizienteren Form des DASH-Fragebogens allenfalls geringe Einschränkungen (Beaton et al., 2005; Germann et al., 2003). In einer anderen amerikanischen Studie wurde ein durchschnittlicher QuickDASH-

Wert von 11,4 nach PSCHF ermittelt (Ernat et al., 2017). Liebs et al. (2020) untersuchten neben dem QuickDASH-Wert, der in ihrer Arbeit bei durchschnittlich 2,4 lag, zusätzlich den PedsQL™4.0-Score und werteten ihn in Abhängigkeit der AO-Klassifikation der vorausgegangenen PSCHF aus. Die Ergebnisse wiesen mit einem Durchschnitt für die psychosoziale Funktion von 93,3 und für die physische Funktion von 97,2 auf eine gute HRQoL hin (Alderfer und Marsac, 2013; Liebs et al., 2020; Varni et al., 2001).

Zum Zeitpunkt der Literaturrecherche für die vorliegende Arbeit existierte keine Studie, die QuickDASH-Wert und PedsQL™4.0-Score nach PSCHF in Abhängigkeit der Gartland-Wilkins-Klassifikation betrachtete. Dabei ist die Gartland-Klassifikation die gebräuchlichste (Abzug und Herman, 2012) und vor allem die Modifikation nach Wilkins findet im englischsprachigen Raum vorrangig Verwendung (Gercek et al., 2015). Die genannte Literaturrecherche wurde nach bestem Wissen und Gewissen auf PubMed durchgeführt.

1.2 Fragestellung

Ziel dieser Arbeit war es, das Outcome nach konservativer und operativer Therapie von PSCHF zu erheben und auszuwerten. Folgende Parameter wurden definiert, um das funktionelle Ergebnis sowie die Lebensqualität nach abgeschlossener Behandlung als Merkmale des Outcomes zu erfassen:

- Score des PedsQL™4.0,
- Auswertung des QuickDASH mit zugehörigem Sport- und Musik-Modul und
- Im Seitenvergleich verbliebene Bewegungseinschränkungen des ehemals verletzten Ellenbogens.

Anschließend wurde untersucht, ob Faktoren wie das Gartland-Wilkins-Stadium im Sinne der Verletzungsintensität, die Art der Behandlung oder das Auftreten von Komplikationen einen Einfluss auf die erhobenen Outcome-Parameter haben.

2. Material und Methodik

2.1 Patientenkollektiv

Es handelt sich um eine retrospektive Studie. Eingeschlossen wurden alle Patienten, die zwischen Mai 2009 und August 2019 eine PSCHF erlitten und in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik (BGU) Tübingen behandelt wurden. Die BGU Tübingen ist ein überregionales Traumazentrum gemäß der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (BG Kliniken – Klinikverbund der gesetzlichen Unfallversicherung gGmbH, o. D.). Als Einschlusskriterien wurden folglich definiert: Vorliegen einer PSCHF, in diesem Sinne offene Wachstumsfugen zum Zeitpunkt des Unfalls, Behandlung in der BGU Tübingen und Unfallzeitpunkt zwischen Mai 2009 und August 2019.

Die Studie wurde durch die Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität und am Universitätsklinikum Tübingen unter der Projektnummer 678/2018BO2 beraten und unter Auflagen genehmigt. Diese wurden umgesetzt und die Patienten mit persönlichem Anschreiben, Aufklärung und Einverständniserklärung schriftlich zur Teilnahme eingeladen. Minderjährige Patienten wurden durch das Studienteam in kindgerechter Weise persönlich bzw. telefonisch aufgeklärt. In zwei Fällen wurde von den Teilnehmern nur der PedsQL™4.0-Fragebogen ausgefüllt (s. u.) und gemeinsam mit der schriftlichen Einverständniserklärung zurück an die BGU gesandt. Hier erfolgte die Aufklärung ausschließlich schriftlich. Drei Patienten waren zum Zeitpunkt der Datenerhebung bereits volljährig, sie wurden persönlich aufgeklärt und haben der Studienteilnahme eigenverantwortlich zugestimmt. Bei allen anderen Teilnehmern wurde das schriftliche Einverständnis nach vollständiger Aufklärung von deren Erziehungsberechtigten eingeholt.

Im personalisierten Anschreiben wurden die Patienten und ggf. ihre Erziehungsberechtigten über die Planung der Studie informiert. Die Möglichkeit einer persönlichen Vorstellung in der BGU und die alternative Beantwortung von Fragen am Telefon wurde ihnen vorgestellt. Es wurde auf die Freiwilligkeit der Teilnahme hingewiesen und angekündigt, dass ein Doktorand bei Interesse

innerhalb der darauffolgenden Wochen einen Termin zur Nachuntersuchung anbieten oder das Telefoninterview durchführen würde.

Weitere Details zur Studienteilnahme folgten in einer gesonderten schriftlichen Aufklärung, die sich entweder direkt an volljährige Probanden wendete oder bei minderjährigen an deren Erziehungsberechtigte. Hierin wurde erneut auf die Freiwilligkeit und die Möglichkeit zum Widerruf der Teilnahme hingewiesen; Telefoninterview oder Nachuntersuchung könnten jederzeit abgebrochen werden. Es wurde ausführlich über die Ziele der Studie an sich informiert sowie deren Auswirkung auf die Teilnehmer. In diesem Rahmen wurde der Untersuchungsablauf bei persönlicher Vorstellung und die alternative telefonische Befragung vorgestellt. Weitere Informationen betrafen den PedsQL™4.0-Fragebogen zur aktuellen Lebensqualität, der ebenfalls an die Patienten versandt wurde. Mögliche Vorteile für die Teilnehmer wurden aufgezeigt: bei Erkennen aktuell vorliegender Probleme am ehemals verletzten Ellenbogen könne dafür eine Lösung gesucht werden. Als einziger Nachteil wurde der Zeitaufwand bei Teilnahme genannt. Abschließend folgten Informationen zum Umgang mit in der Studie erhobenen Daten und die zugehörige Einverständniserklärung. Hierzu wurde der Mustertext „Informationen und Einwilligungserklärung zum Datenschutz“ gemäß EU-Datenschutzgrundverordnung verwendet. Dieser wurde zum Zeitpunkt der ersten Kontaktaufnahme mit den Patienten der Internetseite der Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität und am Universitätsklinikum Tübingen entnommen.

In Abbildung 1 ist das Ergebnis der Patientenrekrutierung ersichtlich. Nach Prüfung der Einschlusskriterien ergab sich ein Kollektiv von 51 Patienten. Nach Möglichkeit folgten schriftliche und telefonische Kontaktaufnahme. Acht Patienten waren nicht erreichbar oder eine Terminabsprache konnte nicht erfolgen. 27 Patienten und ggf. deren Erziehungsberechtigte erklärten sich bereit, an einer Nachuntersuchung in der BGU teilzunehmen. 23 nahmen ihren Termin wahr, vier erschienen nicht. Zwölfmal wurde ein Telefoninterview geführt. In zwei weiteren Fällen, in denen eine telefonische Kontaktaufnahme nicht möglich war, haben die Patienten und ihre Erziehungsberechtigten nach vollständig schriftlicher Aufklärung den PedsQL™4.0-Fragebogen ausgefüllt und gemeinsam mit

ihrem schriftlichen Einverständnis an die BGU zurückgesandt. Zweimal wurde die Teilnahme abgelehnt bzw. kein schriftliches Einverständnis erteilt.

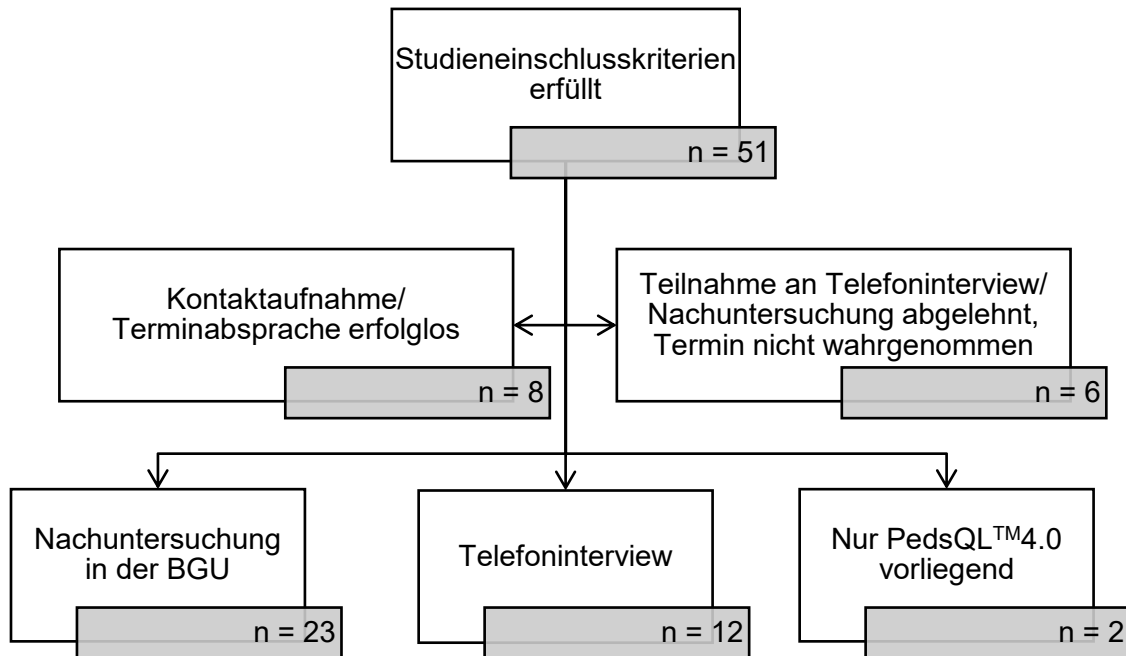


Abbildung 1 Übersicht Patientenrekrutierung

2.2 Erhebung der Patientencharakteristika

Im Rahmen der retrospektiven Arbeit wurden die klinische Dokumentation in digitaler und Papierform sowie radiologische Aufnahmen o. g. Patienten ausgewertet. Folgende Daten wurden dabei erhoben: Geschlecht, Tag und Seite der Verletzung, letztes Follow-Up im Haus, letztes radiologisches Follow-Up, nach Wilkins modifiziertes Gartland-Stadium, Art der Behandlung, OP-Datum und Komplikationen. Aus Verletzungs- und OP-Datum wurde der Zeitraum zwischen Trauma und Behandlung errechnet. Das letzte Follow-Up im Haus bezog sich auf den Tag der letzten persönlichen Vorstellung im Rahmen der regulären Nachbehandlung. Eine ggf. weitere Vorstellung im Rahmen der Studienteilnahme wurde gesondert aufgezählt (s. u.). Als letztes radiologisches Follow-Up wurde das Datum der aktuellsten hinterlegten Röntgenaufnahme angegeben.

Das nach Wilkins modifizierte Gartland-Stadium wurde anhand der hinterlegten Röntgenbilder erhoben. Die Einteilung der Extensionsfrakturen durch Gartland (1959) wurde später durch Wilkins erweitert (Wilkins, 1984, zitiert nach Abzug und Herman, 2012) und findet im englischsprachigen Raum vorrangig Verwendung (Abzug und Herman, 2012; Gercek et al., 2015). Eine Untersuchung von Barton et al. (2001) zur Intraobserver-Reliabilität der nach Wilkins modifizierten Gartland-Einteilung ergab eine exzellente bis nahezu perfekte Übereinstimmung nach der Nomenklatur von Landis und Koch (1977), die Auswertung der Interobserver-Reliabilität ergab eine wesentliche Übereinstimmung.

Die 1984 nach Wilkins modifizierte Gartland-Klassifikation zur Einteilung von PSCHF vom Extensionstyp unterscheidet vier Typen (zitiert nach Abzug und Herman, 2012):

- Typ I undisloziert mit rundum intaktem Periost,
- Typ II teilweise disloziert mit posteriorem kortikalen Kontakt,
 - IIA: ohne Rotations-Fehlstellung,
 - IIB: mit Malrotation,
- Typ III vollständig disloziert ohne kortikalen Kontakt.

Die Therapien wurden unterschieden nach konservativer Behandlung mit Ruhigstellung, geschlossener Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese, offener Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese sowie Revision mit offener Reposition und gekreuzter Spickdrahtosteosynthese. Außerdem wurden folgende übergeordnete Gruppen gebildet: konservativ versus operativ sowie bei operativer Therapie geschlossene versus offene Reposition.

Die Komplikationen wurden genauer untersucht und eingeteilt in neurologische Defizite, Infektionen, Osteosynthese-Versagen und Revisionen. Bestand ein neurologisches Defizit, wurde nach prä- und posttherapeutisch unterschieden. Zudem wurden der betroffene Nerv sowie die Qualität des Ausfalls erfasst.

2.3 Erhebung des Outcomes

Um das klinische Outcome und die Lebensqualität o. g. Patienten bestmöglich zu bewerten, wurden die Patienten nach Möglichkeit zu einer klinischen Nachuntersuchung in die BGU eingeladen. Alternativ wurde ein Telefoninterview zur Einschätzung des klinischen Status angeboten. Daraus folgte eine Einteilung in zwei Gruppen: eine, die persönlich zur Nachuntersuchung erschien und eine, mit der das Telefoninterview geführt wurde. In beiden Fällen diente ein selbst erstellter Fragebogen als Grundlage. Ergaben sich daraus Hinweise auf Komplikationen außerhalb der dokumentierten regulären Nachbehandlung, wurden sie genauer erörtert und ggf. in die Datenmatrix ergänzt. Außerdem sollte später versucht werden, besonders kritische Outcome-Ergebnisse anhand dieser Fragebögen nachzuvollziehen (s. Kapitel 4.3.4, S. 50 ff.).

Fand eine Nachuntersuchung im Haus statt, wurde zunächst die Stellung beider Arme inspiziert. War in maximaler Supination und Extension des Ellenbogens eine Fehlstellung der ehemals verletzten Seite sichtbar, wurde sie klassifiziert in Valgus, das heißt speichenseitiger Abweichung des Unterarms gegenüber dem Oberarm, und Varus, entsprechend ellenseitiger Abweichung. Ergänzend wurde angegeben, ob die als gesund angenommene Gegenseite im Vergleich ebenfalls eine Fehlstellung aufwies, um ggf. angeborene Fehlstellungen nicht als Komplikation der Behandlung zu werten. Außerdem wurde an zuvor erkrankter und gesunder Gegenseite der Bewegungsumfang nach Neutral-Null-Methode mit einem Goniometer bzw. visuell bestimmt und die Winkel für Streckung/Beugung und Supination/Pronation wurden notiert.

Ein universelles Goniometer besteht aus zwei durchsichtigen Kunststoffarmen mit überlappenden Scheiben, die mit einem Gelenk verbunden sind; auf einer der Scheiben befindet sich eine Gradskala und auf den Armen sind Referenzlinien aufgezeichnet (Goodwin et al., 1992). Jeder Patient setzte sich zur Messung der Ellenbogenflexion und -extension aufrecht ans Fußende einer Untersuchungsliege und die Kunststoffarme wurden parallel von lateral auf Ober- und Unterarm aufgelegt (Korhonen et al., 2019). Das Drehgelenk wurde über dem Drehpunkt des Ellenbogens positioniert. Durch die schwarzen, paral-

lel verlaufenden Linien auf dem Goniometer wurden die Achsen von Ober- und Unterarm möglichst genau eingestellt. Bei der ausgewählten Patientenkohorte war immer ein Winkel von 180° zwischen Ober- und Unterarm zu erreichen. Dieser wurde auf 0° gesetzt und als Neutralstellung angegeben. Ausgehend von dieser Stellung wurde der Arm aktiv maximal gebeugt und der gemessene Winkel unter Beugung notiert. War eine Überstreckbarkeit aus der Neutralstellung heraus möglich, wurde der gemessene Winkel unter Streckung vermerkt. Im Falle keiner Überstreckbarkeit wurden hier 0° eingetragen.

Um die Umwendbewegung des Ellenbogens zu messen, wurde der Unterarm in einem Winkel von 90° gebeugt und am Rumpf gehalten; dadurch konnte eine möglicherweise begrenzte Pronation im Ellenbogen nicht durch Abduktion der Schulter ausgeglichen werden (Korhonen et al., 2019). Ausgehend von der Neutralstellung, bei der die Unterarmachse sagittal, d.h. senkrecht zum Boden verläuft, wurde der Unterarm vom Untersucher nach außen gedreht und der erreichte Winkel unter Supination notiert. Anschließend wurde er vom Untersucher nach innen gedreht und der Winkel unter Pronation vermerkt. Die Winkel der Umwendbewegung wurden auf Höhe der Radiusmetaphyse erhoben, um keine Verfälschung durch zusätzliche Rotation des Handgelenks zu erhalten (Korhonen et al., 2019). Im Gegensatz zu Streckung/Beugung erfolgte eine visuelle Einschätzung der Drehbewegung ohne Goniometer. Da keine Ausgangswerte von einem Zeitpunkt vor der Verletzung vorlagen, wurde die Gegenseite mitgemessen und als gesunder Vorwert angenommen. Unterschiede im Seitenvergleich sollten so mit einer gewissen Toleranz auf die Verletzung und deren Behandlung zurückgeführt werden können.

Sowohl beim Telefoninterview als auch bei der Nachuntersuchung im Haus wurde die deutsche Version des QuickDASH-Fragebogens mit den Patienten bzw. ihren Erziehungsberechtigten bearbeitet. Auf das optionale Arbeits- und Berufs-Modul wurde im Gegensatz zum Sport- und Musik-Modul verzichtet. Der DASH-Fragebogen entstand 1996 aus einer Zusammenarbeit der American Academy of Orthopedic Surgeons (AAOS), dem Council of Musculoskeletal Specialty Societies (COMSS) und dem Institute for Work and Health (Toronto, Ontario), um das Outcome von Patienten mit Erkrankungen des Bewegungsap-

parats zu evaluieren (Hudak et al., 1996). Mittlerweile bestehen zahlreiche Übersetzungen (Institute for Work & Health, 2006-2020). 2003 veröffentlichten Germann et al. eine deutsche Fassung (2.0) in standardisierter und validierter Form. Eine Arbeit von Westphal (2007) an 72 Patienten mit distalen Radiusfrakturen konnte zeigen, dass Reliabilität im Sinne von Test-Retest-Reliabilität und innerer Konsistenz sowie Veränderungssensitivität bei der deutschen Übersetzung des DASH-Fragebogens gegeben sind.

Es wurde eine effizientere Form mit elf statt 30 Fragen entwickelt, die anstelle der Originalversion verwendet werden kann und dabei ähnlich präzise Ergebnisse liefert (Beaton et al., 2005; Gummesson et al., 2006). Dieser sogenannte QuickDASH-Fragebogen findet bei verschiedenen Fragestellungen weltweit regelmäßig Anwendung (Kennedy und Beaton, 2017). In der deutschen QuickDASH-Übersetzung von Germann et al. (2006) sollen die Patienten ihre Fähigkeiten einschätzen, wie sie diverse Alltagsaktivitäten in der zurückliegenden Woche bewältigen konnten. Zudem soll die Schwere verschiedener Symptome während dieser Zeit bewertet werden. Es erfolgt eine Einstufung von „keinen“ über „geringe“, „mäßige“ bis „erhebliche Schwierigkeiten“ oder „nicht möglich“. Je nach Frage ändert sich die Bezeichnung der fünf Kategorien, die Abstufung bleibt vergleichbar. Spielen die Patienten ein Musikinstrument oder treiben sie Sport, wird im Anschluss das Sport- und Musik-Modul bearbeitet. Hier werden analog zum QuickDASH vier Fähigkeiten zu entsprechenden Tätigkeiten abgefragt. Nach einer Formel wird der QuickDASH-Wert berechnet und das optionale Sport- und Musik-Modul ausgewertet (Germann et al., 2006).

Um die HRQoL der Probanden zu bewerten, wurde gemeinsam mit der schriftlichen Einladung eine altersadaptierte Version des PedsQL™4.0-Fragebogens versandt. Jeweils eine fremdanamnestic Version für Eltern, als auch eine altersentsprechende Version des Patienten sollten ausgefüllt zurückgesandt bzw. zur Nachuntersuchung im Haus mitgebracht werden. Letztendlich wurde nur der Score der eigenanamnestic Patientenversion berechnet und in die Studie aufgenommen, um eine optimale Vergleichbarkeit zwischen minderjährigen und mittlerweile volljährigen Patienten zu schaffen, da letztere keinen zusätzlichen Elternfragebogen erhielten. Es werden acht Fragen zu Problemen mit Gesund-

heit und Aktivitäten und jeweils fünf Fragen zu Problemen mit Stimmung/Gefühlen, im Umgang mit Anderen und in der Schule (bzw. bei der Arbeit oder im Studium bei Älteren) innerhalb der vergangenen vier Wochen gestellt und ein Score berechnet (Varni et al., 2001). Die deutsche Version ist vom 26.10.2015 und die Rechte liegen bei JW Varni, Ph.D. (1998).

Der PedsQLTM4.0-Fragebogen erschien für die vorliegende Arbeit am geeignetsten, da Versionen für jede Altersgruppe verfügbar sind, eine eigen- oder fremdanamnestic Bearbeitung möglich ist, die 23 Fragen überschaubar und schnell zu beantworten sind und sowohl Machbarkeit, Reliabilität als auch Validität in Bezug auf die HRQoL gegeben sind (Varni et al., 2003). Es konnte gezeigt werden, dass der PedsQLTM4.0 zwischen verletzten und nicht-verletzten Kindern sowie zwischen milderen und schwereren Verletzungen differenzieren kann (Kruse et al., 2014). Die Ergebnisse von Kruse et al. (2014) sprechen für die Konstruktvalidität des PedsQLTM4.0, wenn die HRQoL unter verletzten Kindern erhoben werden soll.

2.4 Statistische Analyse

Für die vorliegende Arbeit wurde die methodische Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen in Anspruch genommen. Zur statistischen Analyse wurde die Version 26 des SPSS-Statistik-Programms von IBM genutzt. Bei der Untersuchung von Häufigkeiten wurden deskriptive Verfahren angewandt wie Minimum, Maximum und Median. Grafische Darstellungen erfolgten mit Kreis-, Balken- und Boxplot-Diagrammen sowie Histogrammen. Ziel war die Veranschaulichung von Follow-Up und Patientencharakteristika (Geschlecht, Alter, Verletzungsseite, Gartland-Wilkins-Stadium der Fraktur, Art der Behandlung, OP-Zeitpunkt, Komplikationen) sowie der Outcome-Parameter (s. u.). Das Merkmal Gartland-Wilkins-Stadium diente als Parameter für die Verletzungsschwere und war ordinal skaliert (I – IIA – IIB – III). Die verschiedenen Therapien dienten als Parameter für die Invasivität der Behandlung und waren ebenfalls ordinal skaliert.

Als Parameter für das klinische Patienten-Outcome wurden definiert:

- PedsQL™4.0-Score,
- QuickDASH-Wert,
- Auswertung des Sport- und Musik-Moduls sowie
- Differenzen im Bewegungsumfang zwischen verletzter und gesunder Seite bei Streckung/Beugung und Supination/Pronation.

Die Scores der Fragebögen waren stetig skaliert und wurden gemäß Shapiro-Wilk-Test und durch Inspektion der grafischen Darstellung mittels Histogrammen auf Normalverteilung untersucht (Shapiro et al., 1965, zitiert nach Thode, 2011). Sie waren allesamt *nicht* normalverteilt. Bei den Differenzen im Bewegungsumfang wurde in 5°-Schritten gerundet. Die Merkmalsausprägungen konnten somit formal nicht als stetig betrachtet werden. Eine Rangordnung anhand der Ausprägung war nicht möglich, da diese nicht immer klinisch bedeutsam war (s. Kapitel 4.3.4, S. 50 ff.) und ein im Seitenvergleich verringerter Bewegungsumfang beispielsweise für ein Streckdefizit, aber auch für ein Beugedefizit stehen konnte. Daher wurden für die weitere Testung neue kategoriale Variablen zur Beschreibung der ehemals verletzten Seite im Vergleich zur Gegenseite eingeführt: Zum einen, ob ein Streck- oder Beugedefizit von 10° vorhanden war oder nicht. Zum anderen, ob eine Differenz der Umwendbewegungen von 10° bestand oder nicht.

Zur Untersuchung möglicher Einflüsse von Verletzungsschwere, Invasivität der Behandlung und Komplikationen auf Outcome und Lebensqualität der Patienten wurden folgende Nullhypothesen formuliert:

- 1) Die Outcome-Parameter sind unabhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium.
 - 1.1) Der PedsQL™4.0-Score ist unabhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium.
 - 1.2) Der QuickDASH-Wert und die Auswertung des Sport- und Musik-Moduls sind unabhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium.
 - 1.3) Unterschiede des Bewegungsumfangs im Seitenvergleich sind unabhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium.
- 2) Die Outcome-Parameter sind unabhängig von der Therapie.
 - 2.1) Der PedsQL™4.0-Score ist unabhängig von der Therapie.

- 2.2) Der QuickDASH-Wert und die Auswertung des Sport- und Musik-Moduls sind unabhängig von der Therapie.
- 2.3) Unterschiede des Bewegungsumfangs im Seitenvergleich sind unabhängig von der Therapie.
- 3) Die Outcome-Parameter sind unabhängig von Komplikationen.
 - 3.1) Der PedsQL™4.0-Score ist unabhängig von Komplikationen.
 - 3.2) Der QuickDASH-Wert und die Auswertung des Sport- und Musik-Moduls sind unabhängig von Komplikationen.
 - 3.3) Unterschiede des Bewegungsumfangs im Seitenvergleich sind unabhängig von Komplikationen.

Für die Aufarbeitung der Hypothesen 1.1 und 2.1 wurde der Kruskal-Walis-Test durchgeführt, da jeweils vier unverbundene, nicht-normalverteilte Gruppen miteinander verglichen werden sollten (Bender et al., 2007). Bei der Auswertung der QuickDASH-Fragebögen und der Sport- und Musik-Module fiel ein erheblicher Deckeneffekt auf (McHorney und Tarlov, 1995): Über 77% erreichten den bestmöglichen Wert bei der QuickDASH-Auswertung, beim Sport- und Musik-Modul waren es knapp 88% (s. Kapitel 3.3, S. 25 ff.). Unter der Annahme, dass die Verteilung nicht groß genug war, um Unterschiede zwischen den zum Teil sehr kleinen Gruppen zu finden (Garin, 2014) und nach Bestätigung durch Inspektion entsprechender Kreuztabellen, wurden keine statistischen Tests zur Untersuchung der Hypothesen 1.2 und 2.2 durchgeführt. Im Hinblick auf die dritte Nullhypothese entstanden zwei unabhängige Stichproben: Patienten *ohne* und *mit* Komplikationen. Einflüsse dieses Merkmals auf die stetig skalierten Scores der Fragebögen wurden entsprechend mit dem Mann-Whitney-U-Test analysiert (Bender et al., 2007). Bei PedsQL™4.0-Score, QuickDASH-Wert und Sport-/Musik-Modul gab es in beiden Stichproben/Gruppen zusammen genommen über 30 Fälle. Hier wurde die asymptotische Signifikanz der Testergebnisse betrachtet. Bei einer einseitigen Wirkungsvermutung wurde diese jeweils halbiert. Die Verteilung der PedsQL™4.0-Scores in Abhängigkeit aufgetretener Komplikationen wurde zusätzlich in einem Boxplot-Diagramm dargestellt (Spriestersbach et al., 2009).

Die medianen PedsQL™4.0-Scores der einzelnen Gartland-Wilkins- und Behandlungsgruppen sowie die mit und ohne Komplikationen wurden gemeinsam mit Minimum und Maximum tabellarisch aufgelistet. Dadurch sollte eine Untersuchung des minimalen klinisch bedeutsamen Unterschieds (MCID) ermöglicht werden, um klinisch relevante Unterschiede unabhängig von der statistischen Signifikanz hervorzuheben (de Vet et al., 2014; Jaeschke et al., 1989). Für die QuickDASH-Auswertung war eine solche Untersuchung hinfällig, da die Mediane der verschiedenen Verletzungs- und Behandlungsgruppen bis auf eine Ausnahme (Patient mit Revision) jeweils bei 0,00 lagen. Auch bei Unterscheidung nach aufgetretenen Komplikationen lagen die Mediane bei 0,00.

Für die Tests zur Untersuchung möglicher Einflussfaktoren auf den Bewegungsumfang wurden zwei neue kategoriale Variablen eingeführt (s. o.). Diese wurden in Abhängigkeit vom Gartland-Wilkins-Stadium, der Behandlung und aufgetretenen Komplikationen in einer Kreuztabelle dargestellt. Die Häufigkeiten wurden mithilfe des exakten Tests nach Fisher verglichen (Nullhypothesen 1.3, 2.3 und 3.3; Bender et al., 2007). Der Test nach Fisher wurde gewählt, da bei der überschaubaren Stichprobengröße von 23 die beobachteten Häufigkeiten und Erwartungswerte bei teilweise <5 pro Zelle lagen. Hinsichtlich der Komplikationen entstanden zwei Vergleichsgruppen. Bei einseitiger Wirkungsvermutung wurde die exakte einseitige Signifikanz ausgewertet. Ausgehend vom Gartland-Wilkins-Stadium und der Behandlung sollten jeweils drei Gruppen miteinander verglichen werden. Entsprechend wurde die exakte zweiseitige Signifikanz ausgewertet. Für alle statistischen Tests wurde eine Signifikanzschwelle von $p \leq 0,050$ festgelegt.

3. Ergebnisse

Das Follow-Up der gesamten Studienpopulation (n = 51) lag zwischen 1 und 3.760 Tagen bei einem Median von 1.166 Tagen bzw. 3,2 Jahren. Es entspricht dem längsten Zeitraum vom Unfallzeitpunkt bis zum regulären Behandlungsabschluss in der BGU, bis zum aktuellsten Röntgenbefund oder bis zur telefonischen/persönlichen/schriftlichen Studienteilnahme.

Das Follow-Up der Teilnehmer, die für eine Erhebung des Outcomes zur Verfügung standen (telefonisch, persönlich oder PedsQL™4.0-Bearbeitung, n = 37), betrug im Median 1.431 Tage bzw. 3,9 Jahre bei Nachbeobachtungszeiträumen zwischen 36 und 3.760 Tagen.

3.1 Patientencharakteristika

Von den insgesamt 51 Patienten waren 30 männlich (58,8%) und 21 weiblich (41,2%). Die Patienten waren am Verletzungstag zwischen 3 und 13 Jahre alt bei einem medianen Alter von 7 Jahren (s. Abbildung 2).

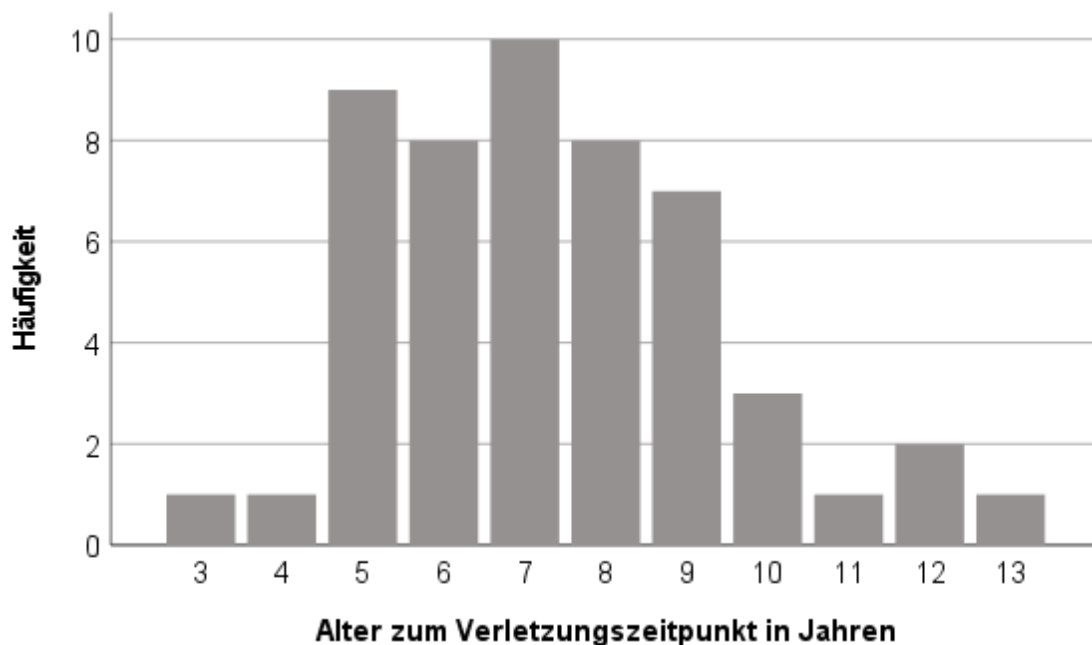


Abbildung 2 Alter zum Verletzungszeitpunkt

16 Patienten trugen sich ihre Fraktur am rechten Arm zu (31,4%), 35 Patienten am linken Arm (68,6%). In der durch Wilkins modifizierte Gartland-Klassifikation waren 3 Frakturen dem Typ I zuzuordnen (5,9%), 9 dem Typ IIA (17,6%), 14 dem Typ IIB (27,5%) und 21 dem Typ III (41,2%). Bei 4 Patienten war aufgrund nicht mehr vorliegender präoperativer Röntgenbilder keine Klassifikation möglich (7,8%). In Abbildung 3 ist die Häufigkeitsverteilung der klassifizierten Frakturen (n = 47) grafisch dargestellt.

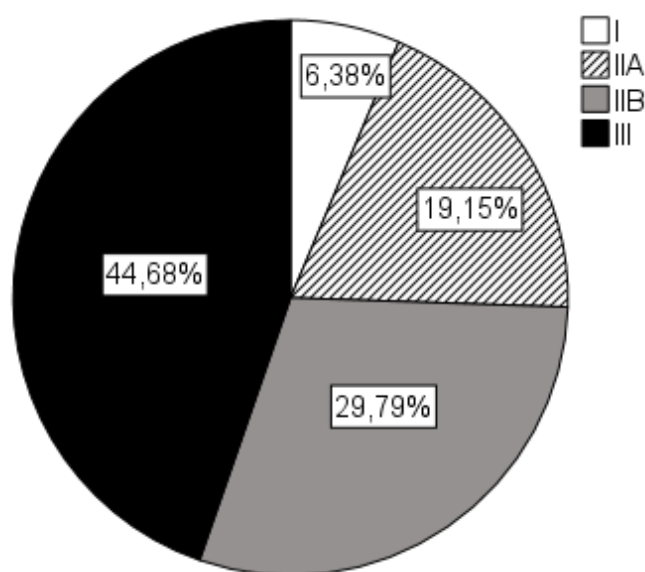


Abbildung 3 Nach Wilkins modifiziertes Gartland-Stadium

5 Patienten wurden konservativ mittels Ruhigstellung behandelt (9,8%), bei 23 Patienten wurde eine *geschlossene* Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese durchgeführt (45,1%), bei 22 Patienten eine *offene* Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese (43,1%). Ein Patient wurde nach externer Voroperation in der BGU revidiert, offen reponiert und mit gekreuzten Spickdrähten versorgt (2,0%, s. Abbildung 4).

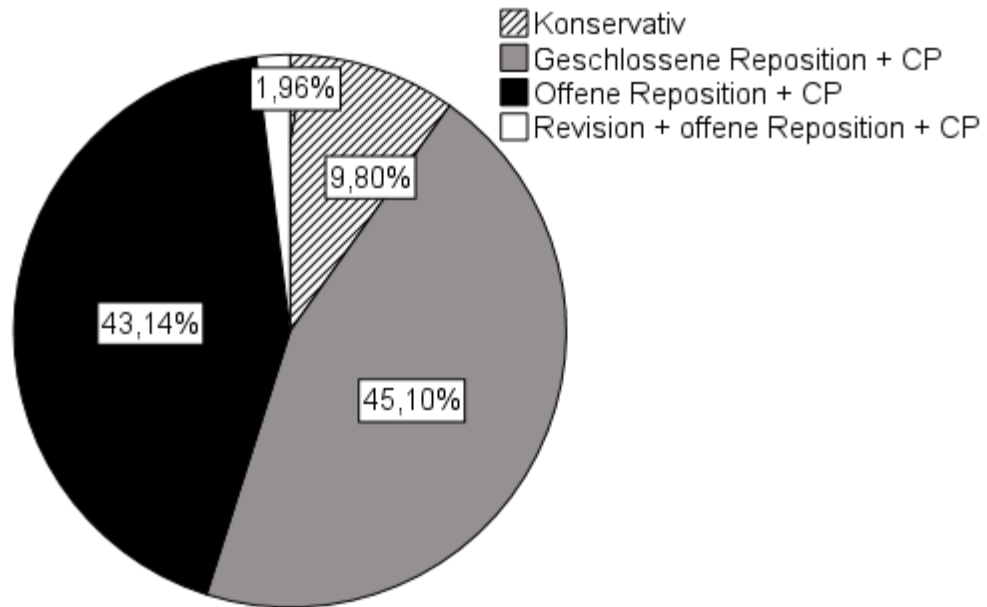


Abbildung 4 Behandlung. CP (Crossed Pinning) = gekreuzte Spickdrahtosteosynthese

35 Patienten wurden am Tag der Verletzung operiert (68,6%), 6 Patienten wurden am darauffolgenden Tag operiert (11,8%) und jeweils ein Patient nach 2, 3 und 6 Tagen (je 2,0%). 2 Patienten wurden erst 14 Tage später operiert (3,9%). Die beiden Letztgenannten wurden zunächst extern behandelt. Einer wurde mit einer im Ausland versorgten Typ-III-Fraktur zur Revision in die BGU aufgenommen (s. o.), beim anderen wurde die Diagnose einer IIB-Fraktur verzögert gestellt. Bei 5 Patienten fand eine konservative Behandlung mittels Ruhigstellung und dementsprechend keine Operation (OP) statt (9,8%). Das mediane Intervall zwischen Verletzungstag und Tag der operativen Versorgung bei den operierten Patienten (n = 46) betrug 0 Tage.

Alle in diesem Abschnitt aufgezählten Patientencharakteristika sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Übersicht Patientencharakteristika
 CP (Crossed Pinning) = gekreuzte Spickdrahtosteosynthese

		Häufigkeit	Prozent
Geschlecht	Männlich	30	58,8
	Weiblich	21	41,2
	Gesamt	51	100,0
Verletzungsseite	rechts	16	31,4
	links	35	68,6
	Gesamt	51	100,0
Gartland-Wilkins-Stadium	I	3	5,9
	IIA	9	17,6
	IIB	14	27,5
	III	21	41,2
	Fehlend	4	7,8
	Gesamt	51	100,0
Behandlung	Konservativ	5	9,8
	Geschlossene Reposition + CP	23	45,1
	Offene Reposition + CP	22	43,1
	Revision + offene Reposition + CP	1	2,0
	Gesamt	51	100,0
Tage zwischen Verletzungszeitpunkt und OP	0	35	68,6
	1	6	11,8
	2	1	2,0
	3	1	2,0
	6	1	2,0
	14	2	3,9
	Konservative Therapie	5	9,8
	Gesamt	51	100,0

Um später die Behandlung in Abhängigkeit vom Gartland-Wilkins Stadium zu diskutieren (s. S. 43 ff.), wurden die entsprechenden Daten aus Tabelle 1 nochmals gesondert in nachfolgender Kreuztabelle zusammengetragen.

Tabelle 2 Behandlung in Abhängigkeit vom Gartland-Wilkins-Stadium
CP (Crossed Pinning) = gekreuzte Spickdrahtosteosynthese

		Gartland- Wilkins-Stadium				Gesamt
		I	IIA	IIB	III	
Behandlung	Konservativ	3	2	0	0	5
	Geschlossene Reposition + CP	0	7	10	3	20
	Offene Reposition + CP	0	0	4	17	21
	Revision + offene Reposition + CP	0	0	0	1	1
Gesamt		3	9	14	21	47

3.2 Komplikationen

Bei 13 der 51 in die Studie eingeschlossenen Patienten kam es im Verlauf zu einer oder mehreren Komplikationen (es ist zu beachten, dass es dadurch in Tabelle 3 kumulativ zu >13 Komplikationen und entsprechenden Prozentwerten kommt). Dies entspricht einem Anteil von 25,5% aller Patienten. Eine Übersicht bietet Tabelle 3. Zwei (15,4% aller Patienten mit Komplikationen) zeigten ein prätherapeutisches neurologisches Defizit. Dies äußerte sich bei einem Patienten als sensorischer Ausfall des Nervus ulnaris, der auch postoperativ weiter bestand (s. u.). Der andere zeigte Hypästhesien der Finger II und III. Posttherapeutisch kam es bei ihm zu Parästhesien der Finger IV und V (s. u.).

Die häufigste Komplikation war mit 7 betroffenen Patienten ein posttherapeutisches neurologisches Defizit. Dies entspricht etwas mehr als der Hälfte aller Patienten mit Komplikationen (53,8%). Bei zwei davon zeigten sich nach der OP jeweils sensorische und motorische Ausfälle des Nervus ulnaris. Wie oben erwähnt wies ein weiterer Patient sensorische Ausfälle des Nervus ulnaris auf, die schon vor der Behandlung bestanden. Bei zwei Patienten fielen postoperativ Ausfälle des Nervus radialis auf: Bei einem fand sich eine Fallhand als Zeichen einer hohen Radialislähmung, beim anderen wurden sensorische und motorische Ausfälle dokumentiert. Im Rahmen der Nachuntersuchung berichtete ein

Patient von Hypästhesien der Finger III und IV nach der OP, die sich im Verlauf mit Krankengymnastik zurückgebildet hätten. Ein weiterer Patient beschrieb Parästhesien der Finger IV und V. Bei ihm wurde zusätzlich ein primäres neurologisches Defizit der Finger II und III dokumentiert (s. o.). Bei der telefonischen Terminabsprache zur Nachuntersuchung schilderte ein Patient eine Taubheit vom Ellbogen bis in die Finger II bis V am Handrücken. Er wurde in der kindertraumatologischen Sprechstunde vorstellig. Die Ausfälle waren in diesem Rahmen nicht reproduzierbar. Deshalb und aufgrund der langen Latenz zur Verletzung von etwa neun Jahren wurden die vom Patienten dargestellten Probleme nicht als Komplikation gewertet.

Seltener fanden sich Infektionen bzw. Wundheilungsstörungen (15,4% der Patienten mit Komplikationen) und ein Versagen der Osteosynthese (7,7% der Patienten mit Komplikationen). Ein Patient zeigte eine Wundheilungsstörung, es wurde eine Revision durchgeführt (s. u.). Nach Behandlung mit zwei radialen und einem ulnaren Pin kam es bei einem anderen Patienten zur Infektion mit dem Keim *Staphylococcus aureus*, sodass 23 Tage nach der OP alle Drähte entfernt werden mussten. Es folgte eine Antibiotika-Therapie sowie eine zweiwöchige Ruhigstellung mittels Oberarmschiene. Zum Osteosyntheseversagen kam es in einem anderen Fall: Einen Monat nach der operativen Versorgung stellte sich ein Patient mit ellenseitig perforierendem Kirschner-Draht vor. Im Sinne einer Revision wurde der betroffene Draht entfernt und eine Wundversorgung durchgeführt (s. u.). Die restlichen Drähte wurden bis zum Behandlungsabschluss belassen.

In 5 Fällen wurde im Behandlungsverlauf eine Revision durchgeführt (38,5% aller Patienten mit Komplikationen): Einmal bei o. g. Wundheilungsstörung, einmal bei Osteosynthesestörung und perforierendem Draht (s. o.) und einmal bei initial ungenügender Reposition nach geschlossener Spickdrahtosteosynthese. Zwei Studienteilnehmer berichteten von einer eingeschränkten Beweglichkeit nach regulärem Behandlungsabschluss in der BGU, in einem Fall begleitet von starken einschießenden Schmerzen, woraufhin jeweils eine externe Revision erfolgte. Vor Versorgung in der BGU wurde ein anderer Patient bereits im Ausland voroperiert (s. o.). Hier erfolgte eine Revision mit offener Reposition und

gekreuzter Spickdrahtosteosynthese. Da der weitere Verlauf komplikationslos blieb und die Revision die initiale Behandlung in der BGU darstellte, wurde sie an dieser Stelle *nicht* zu den übrigen Komplikationen gezählt.

Bei 23 Patienten, die an einer Nachuntersuchung in der BGU teilnahmen, fand eine Inspektion der Achsverhältnisse beider Arme statt. Dabei wurde in 9 Fällen die verletzte Seite als Valgusfehlstellung eingestuft. In allen Fällen wies die Gegenseite dieselbe Deformität auf. Bei beidseitiger Valgusstellung des Ellenbogens ist von einer angeborenen Achsabweichung auszugehen, deshalb wurden diese Fälle hier nicht als Komplikation erfasst. Bei 2 Patienten war eine Valgusfehlstellung der Gegenseite sichtbar, während die Achse der operierten Seite physiologisch schien. Auch dies wurde nicht als Komplikation gewertet.

Tabelle 3 Übersicht Komplikationen

	Anzahl Patienten	Anteil an Patienten mit Komplikationen (n = 13)	Anteil an allen Patienten (n = 51)
Keine Komplikationen	38	0,0%	74,5%
Komplikationen	13	100,0%	25,5%
Prätherap. neurologisches Defizit	2	15,4%	3,9%
Posttherap. neurologisches Defizit	7	53,8%	13,7%
Infektion/Wundheilungsstörung	2	15,4%	3,9%
Osteosyntheseversagen	1	7,7%	2,0%
Revision	5	38,5%	9,8%

3.3 Outcome

36 Studienteilnehmer haben einen altersentsprechenden PedsQL™4.0-Fragebogen beantwortet. Der Score lag zwischen 63,04 und 100,00 bei einem Median von 95,65 (s. Abbildung 5). QuickDASH-Fragebögen wurden mit 35 Patienten/Erziehungsberechtigten bearbeitet, die Werte lagen zwischen 0,00 und 38,64 bei einem Median von 0,00 (Verteilung: 27 Patienten erreichten einen Wert von 0,00, 4 einen Wert von 2,27, 2 einen Wert von 11,36 und jeweils ein Patient erlangte 18,18 und 38,64). 33 Patienten betrieben zum Zeitpunkt der Studienteilnahme regelmäßig Sport oder spielten ein Musikinstrument, sodass zusätzlich das Sport- und Musik-Modul des QuickDASH-Fragebogens ange-

wandt werden konnte. Die Auswertung ergab Werte von 0,00 bis 50,00 bei einem Median von 0,00 (Verteilung: 29 Patienten erreichten einen Wert von 0,00 und jeweils ein Patient lag bei 6,25, bei 12,50, bei 37,50 und bei 50,00).

Bei den 23 Patienten, die sich im Rahmen der Studienteilnahme nochmals persönlich in der BGU vorstellten (s. Kapitel 2.1, S. 8 ff.), wurden die Bewegungsumfänge beider Arme miteinander verglichen. Dabei lagen sowohl bei Streckung und Beugung als auch bei der Umwendbewegung (Supination/Pronation) im Ellbogen die Unterschiede zwischen verletztem und gesundem Arm im Bereich von -10° bis $+10^{\circ}$. Im Median zeigte sich bei beiden Bewegungsrichtungen kein Unterschied, er lag jeweils bei 0° (s. Abbildung 6).

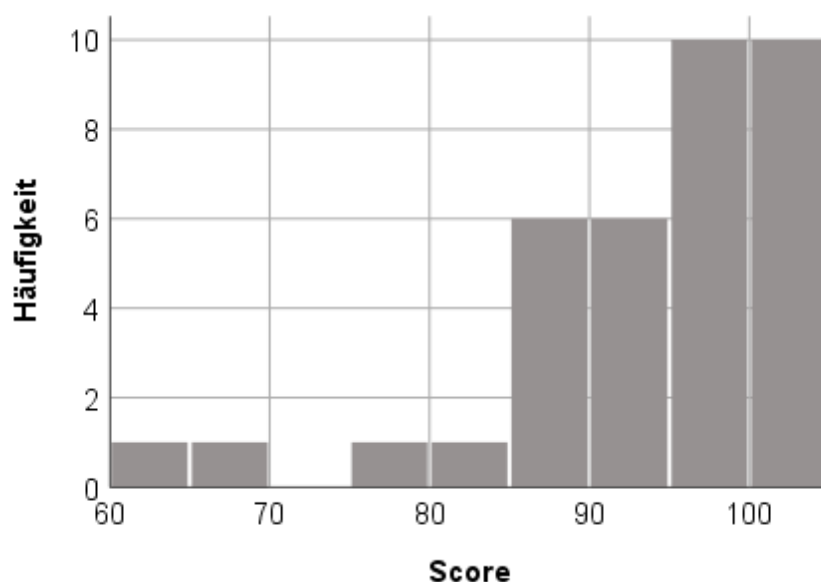


Abbildung 5 PedsQL™4.0-Score

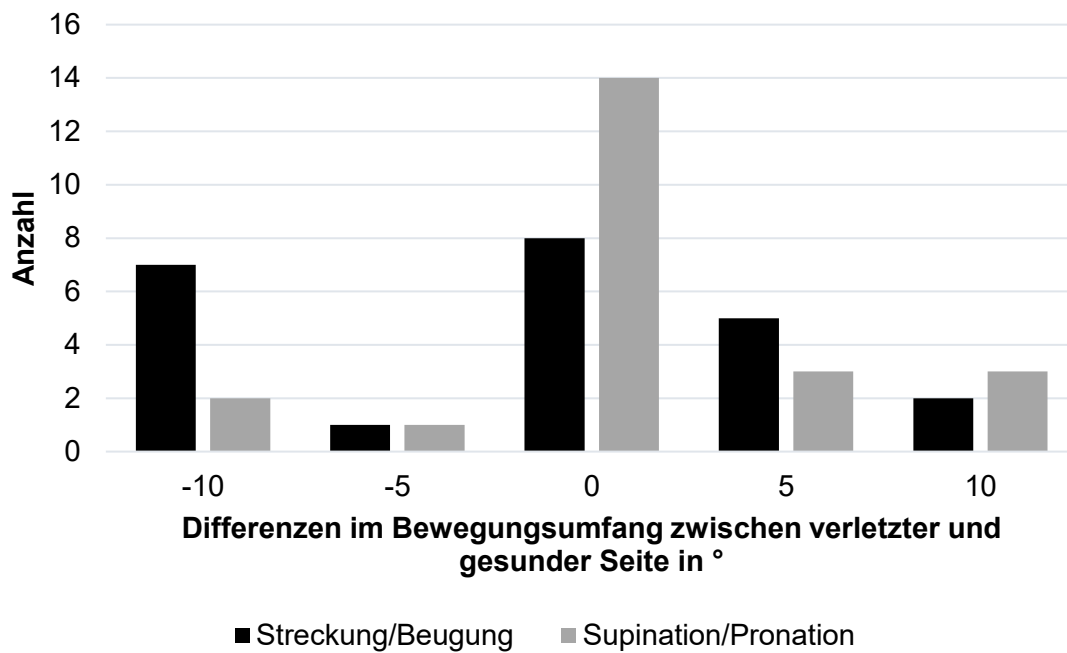


Abbildung 6 Differenzen im Bewegungsumfang

Alle in diesem Abschnitt aufgeführten Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4 Outcome. NU = Nachuntersuchung (Daten vorhanden); n/a = keine Daten verfügbar

	PedsQL™ 4.0- Score	Quick- DASH- Wert	Sport- u. Musik- Modul	Differenz Bewegungsumfang Streckung/Beugung	Differenz Bewegungsumfang Supination/Pronation
NU	36,00	35,00	33,00	23,00	23,00
n/a	15,00	16,00	18,00	28,00	28,00
Median	95,65	0,00	0,00	0,00°	0,00°
Minimum	63,04	0,00	0,00	-10,00°	-10,00°
Maximum	100,00	38,64	50,00	10,00°	10,00°

3.4 Untersuchung möglicher Einflussfaktoren auf Outcome und Lebensqualität

Um zu prüfen, ob sich die PedsQLTM4.0-Scores abhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium bzw. von der Behandlung signifikant unterscheiden, wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Bei Signifikanzwerten von 0,469 für das Gartland-Wilkins-Stadium und 0,141 für die Behandlung waren die Nullhypothesen 1.1 und 2.1 beizubehalten: Eine Gleichheit der Mediane der Grundgesamtheit ist anzunehmen, der PedsQLTM4.0-Score ist unabhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium und der Behandlung. Mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests wurden die Patientengruppen mit und ohne Komplikationen hinsichtlich der Scores der Fragebögen auf Unterschiede getestet. Die Signifikanz war jeweils größer als 0,050 und lag für den PedsQLTM4.0-Score bei 0,266, für den QuickDASH-Wert bei 0,107 und für die Auswertung des Sport- und Musik-Moduls bei 0,445. Somit ist auch nach diesen Tests kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Gruppen anzunehmen und die Nullhypothesen 3.1 und 3.2 waren beizubehalten: Der PedsQLTM4.0-Score, der QuickDASH-Wert und die Auswertung des Sport- und Musik-Moduls sind unabhängig von den Komplikationen.

Zur Visualisierung der Ergebnisse wurden Boxplot-Diagramme erstellt (Abbildung 7, Abbildung 8, Abbildung 9). Die Verletzungs- und Behandlungsgruppen sind in zunehmender Intensität bzw. Invasivität nebeneinander auf der x-Achse dargestellt, ebenso die Gruppen mit und ohne Komplikationen. Die y-Achse dient der Darstellung der PedsQLTM4.0-Scores. Die verstärkten Linien innerhalb der Boxen markieren den medianen PedsQLTM4.0-Score innerhalb der Vergleichsgruppe. Er liegt jeweils zwischen 80,43 und 98,91 (s. Tabelle 5). Der mediane PedsQLTM4.0-Score von 80,43 in der Behandlungsgruppe mit Revision sollte differenziert betrachtet werden, da diese Gruppe nur aus einem Patienten besteht, was wiederum statistische Vergleiche erschwert. Abgesehen von dieser Ausnahme liegen die Mediane somit zwischen 93,48 und 98,91. Die Boxen geben die Interquartilsspanne wieder, d. h. die PedsQLTM4.0-Scores der mittleren 50% der Patienten. Die übrigen Werte liegen im Bereich der Antennen. Ausnahmen sind Ausreißer, die mehr als die 1,5-fache Interquartilsspanne von

der Box entfernt liegen. Diese werden durch die Punkte dargestellt (die Beschriftungen der Punkte entsprechen nicht den Score-Werten, sondern den Fallnummern der Auswertung und spielen somit bei der Betrachtung der Grafiken keine Rolle). Die medianen PedsQL™4.0-Scores der einzelnen Vergleichsgruppen sowie deren Minimal- und Maximalwerte sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Aus der grafischen Darstellung der Testergebnisse geht hervor, dass die Mediane der Vergleichsgruppen nahe beieinander liegen. Einzig die Verteilung der PedsQL™4.0-Scores der Verletzungsgruppe mit Gartland-Wilkins-Stadium I und der Behandlungsgruppe „konservativ“ scheinen besser verteilt im Sinne höherer Mediane und Minima. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Gruppen nur aus 3 bzw. 5 Patienten bestehen. Hervorstechende Unterschiede in der Verteilung des PedsQL™4.0-Scores lassen sich nicht beobachten. Dies unterstützt die Annahme der nicht-signifikanten Testergebnisse, dass der PedsQL™4.0-Score unabhängig von der Verletzungsintensität, von der Invasivität der Behandlung und von aufgetretenen Komplikationen ist.

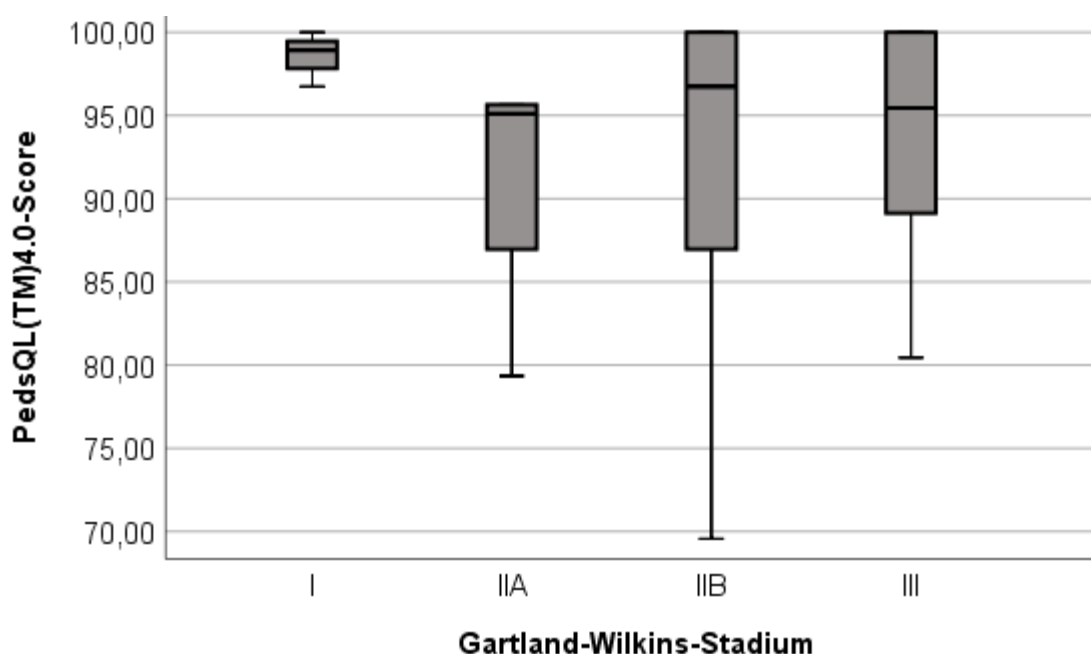


Abbildung 7 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit des Gartland-Wilkins-Stadiums

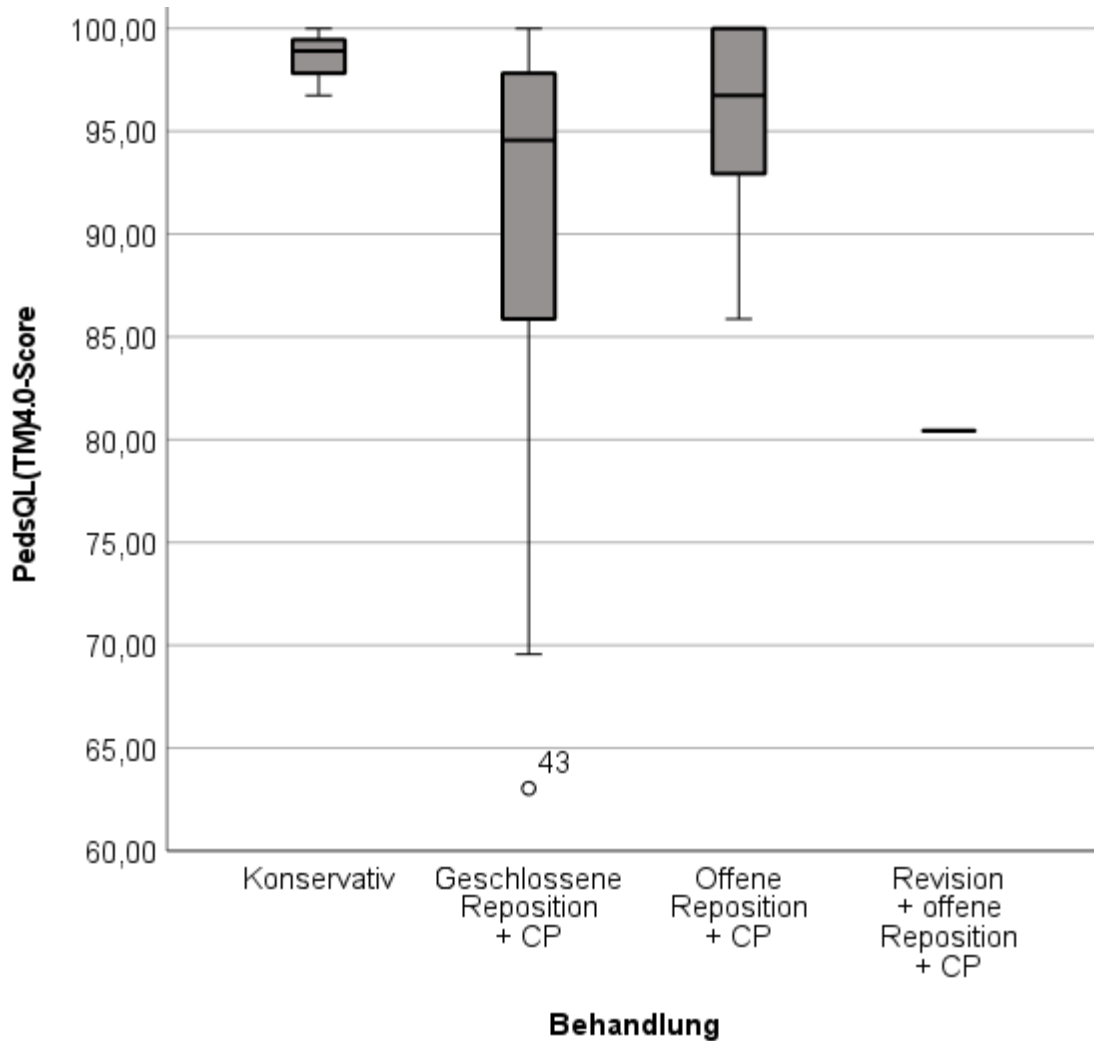


Abbildung 8 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit der Behandlung
 CP (Crossed Pinning) = gekreuzte Spickdrahtosteosynthese

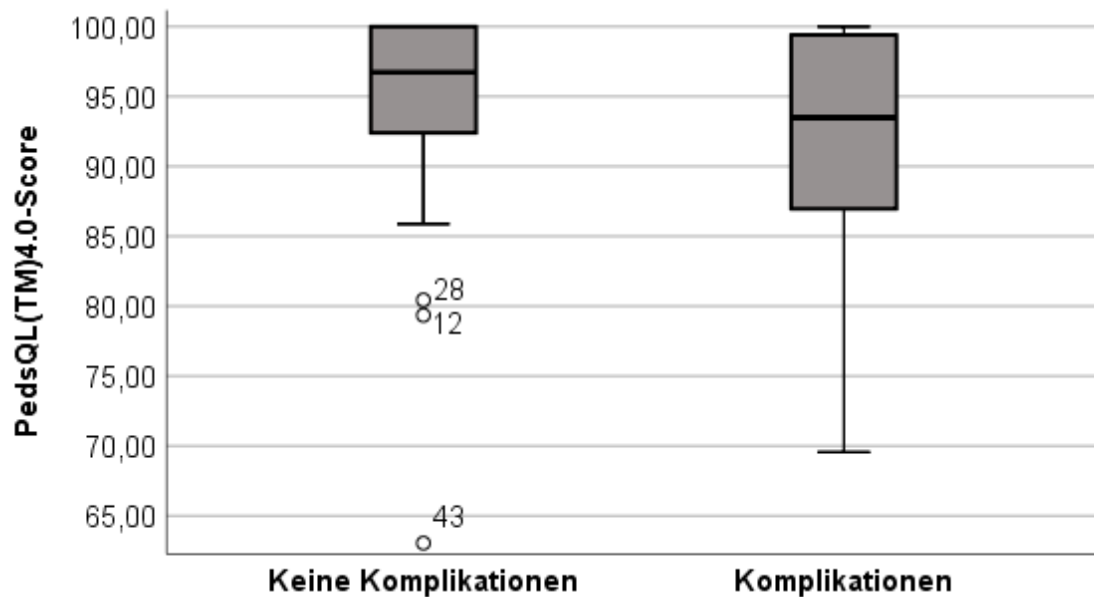


Abbildung 9 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit der Komplikationen

Tabelle 5 PedsQL™4.0-Score in Abhängigkeit von Gartland-Wilkins-Stadium, Behandlung und Komplikationen
 CP (Crossed Pinning) = gekreuzte Spickdrahtosteosynthese

		PedsQL™4.0-Score		
		Median	Minimum	Maximum
Gartland- Wilkins- Stadium	I (n = 3)	98,91	96,74	100,00
	IIA (n = 4)	95,11	79,35	95,65
	IIB (n = 9)	96,74	69,57	100,00
	III (n = 19)	95,45	80,43	100,00
Behandlung	Konservativ (n = 3)	98,91	96,74	100,00
	Geschlossene Reposition + CP (n = 13)	94,57	63,04	100,00
	Offene Reposition + CP (n = 19)	96,74	85,87	100,00
	Revision + offene Reposition + CP (n = 1)	80,43	80,43	80,43
Keine Komplikationen (n = 25)		96,74	63,04	100,00
Komplikationen (n = 11)		93,48	69,57	100,00

Tabelle 6 zeigt die Bewegungsumfänge in Abhängigkeit vom Gartland-Wilkins-Stadium, von der Behandlung und von aufgetretenen Komplikationen. Die Bewegungsumfänge beziehen sich auf die ehemals verletzte Seite im Vergleich zur Gegenseite und wurden dabei in Form von Streck- bzw. Beugedefiziten von 10° und in Form von Differenzen der Umwendbewegung von 10° klassifiziert. Anhand der Kreuztabelle lässt sich Folgendes beobachten:

- Der Anteil an Patienten mit Streck- bzw. Beugedefiziten von 10° fällt mit zunehmendem Gartland-Wilkins-Stadium ab. Es kann also *keine* Zunahme von Bewegungsdefiziten mit steigender Verletzungsintensität beschrieben werden.
- Der Anteil an Patienten mit Differenzen der Umwendbewegung von 10° *nimmt* mit höherem Gartland-Wilkins-Stadium und somit steigender Verletzungsintensität *zu* (0% bei Stadium IIA, 16,7% bei Stadium IIB und 28,6% bei Stadium III).
- Der Anteil an Patienten mit Streck- bzw. Beugedefiziten und Differenzen der Umwendbewegung ist über die verschiedenen Behandlungsgruppen ähnlich. Es kann *keine* Zunahme mit einer invasiveren Behandlung beschrieben werden. Es wurde nur ein Patient mit einer Revision behandelt, diese Vergleichsgruppe bleibt daher außen vor.

- Der Anteil an Patienten mit Streck- bzw. Beugedefizit von 10° ist *höher*, wenn Komplikationen aufgetreten sind (23,5% *ohne* vs. 66,7% *mit* Komplikationen).
- Der Anteil an Patienten mit Differenzen der Umwendbewegung von 10° ist in den Gruppen mit und ohne Komplikationen vergleichbar bzw. fällt mit aufgetretenen Komplikationen leicht ab (23,5% *ohne* vs. 16,7% *mit* Komplikationen).
- Es ist zu beachten, dass es sich dabei um reine Beobachtungen relativer Häufigkeiten handelt. Mögliche Veränderungen sind *nicht* statistisch signifikant (s. u.). Außerdem sind die einzelnen Vergleichsgruppen teilweise sehr klein.
- Zu beachten sind außerdem einige Besonderheiten, die sich durch die Kategorisierung in „Streck-/Beugedefizite von 10° oder nicht“ ergeben. Diese werden in Kapitel 4.3.5 (s. S. 56 ff.) diskutiert.

Tabelle 6 Kreuztabelle zur Untersuchung möglicher Einflussfaktoren auf den Bewegungsumfang. CP (Crossed Pinning) = gekreuzte Spickdrahtosteosynthese

			Streck-/Beuge-		Differenz der		Gesamt
			defizit von 10°		Umwendbewegung		
			Nein	Ja	Nein	Ja	
Gartland- Wilkins- Stadium	IIA	Anzahl	1	2	3	0	3
		Erwartet	2,0	1,0	2,3	0,7	3,0
		Anteil ²	33,3%	66,7%	100%	0%	100%
	IIB	Anzahl	4	2	5	1	6
		Erwartet	3,9	2,1	4,7	1,3	6,0
		Anteil ²	66,7%	33,3%	83,3%	16,7%	100%
	III	Anzahl	10	4	10	4	14
		Erwartet	9,1	4,9	11,0	3,0	14,0
		Anteil ²	71,4%	28,6%	71,4%	28,6%	100%
Behandlung	Geschl.	Anzahl	5	3	6	2	8
		Erwartet	5,2	2,8	6,3	1,7	8,0
		Anteil ³	62,5%	37,5%	75,0%	25,0%	100%
	Reposition + CP	Anzahl	9	5	11	3	14
		Erwartet	9,1	4,9	11,0	3,0	14,0
		Anteil ³	64,3%	35,7%	78,6%	21,4%	100%
	Offene Reposition + CP	Anzahl	1	0	1	0	1
		Erwartet	0,7	0,3	0,8	0,2	1,0
		Anteil ³	100%	0%	100%	0%	100%
Revision + offene Reposition + CP	Anzahl	13	4	13	4	17	
	Erwartet	11,1	5,9	13,3	3,7	17,0	
	Anteil ⁴	76,5%	23,5%	76,5%	23,5%	100%	
Komplikatio- nen	Nein	Anzahl	2	4	5	1	6
		Erwartet	3,9	2,1	4,7	1,3	6,0
		Anteil ⁴	33,3%	66,7%	83,3%	16,7%	100%
Gesamt	Ja	Anzahl	15	8	18	5	23
		Erwartet	15,0	8,0	18,0	5,0	23,0
		Häufigk.	65,2%	34,8%	78,3%	21,7%	100%

² Innerhalb der Verletzungsgruppe

³ Innerhalb der Behandlungsgruppe

⁴ Innerhalb (*keine*) Komplikationen

Die erwarteten und beobachteten Häufigkeiten aus Tabelle 6 wurden mithilfe des exakten Tests nach Fisher auf statistisch signifikante Unterschiede untersucht. Die erhaltenen Signifikanzwerte lagen zwischen 0,081 für die Untersuchung von Komplikationen und Streck-/Beugedefiziten und 1,000 für die Untersuchung von Behandlung und Bewegungsumfängen (Streck-/Beugedefizite und Umwendbewegung). Die Nullhypothesen zur Prüfung möglicher Einflussfaktoren auf Unterschiede der Bewegungsumfänge im Seitenvergleich sind demnach beizubehalten: Die Unterschiede sind unabhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium, von der Therapie und von Komplikationen.

4. Diskussion

4.1 Studiendesign

Die getrennte Erhebung von Patientencharakteristika und Outcome in der vorliegenden Arbeit bringt Vor- und Nachteile mit sich. Die Freiwilligkeit der Teilnahme war bei persönlicher Vorstellung oder Abfrage beim Telefoninterview immer gegeben. Dieser Umstand, aber auch die teilweise fehlende Möglichkeit einer Kontaktaufnahme, führten dazu, dass nur von 37 Patienten Daten zum Outcome gewonnen werden konnten, obwohl 51 Patienten primär in die Studie eingeschlossen wurden (s. Abbildung 1, S. 10). Daraus entsteht ein gewisser Selektionsbias. Gründe für eine Selbstselektion der Teilnehmer können laut einer selektiven Literaturrecherche von Hammer et al. (2009) Sprach- oder gesundheitliche Barrieren sein, aber auch eine unterschiedliche Teilnahmebereitschaft durch kulturelle Differenzen oder die gesellschaftliche Schicht. Außerdem stammen die Studienteilnehmer größtenteils aus dem Einzugsgebiet der BGU und sind somit nur begrenzt repräsentativ für die Gesamtbevölkerung (Hammer et al., 2009).

Im personalisierten Anschreiben wurde bei Studienteilnahme als Vorteil genannt, dass bei Erkennen aktuell vorliegender Probleme eine Lösung dafür gesucht werden könne. Ein denkbarer Grund für die Ablehnung einer Teilnahme wäre daher auch ein positives Outcome der Patienten, bei dem diese keinen Anlass zu einer Nachuntersuchung gesehen haben. Umgekehrt könnte das Teilnahmeinteresse bei vorliegenden Komplikationen aber auch getrübt gewesen sein, da Patienten eventuell „enttäuscht“ von der Behandlung in der BGU waren. Beim Betrachten der gewonnenen epidemiologischen Daten ist zu beachten, dass Patienten, die bei nicht oder gering dislozierten SCHF konservativ von niedergelassenen Ärzten behandelt wurden, in dieser Arbeit nicht erfasst wurden, was die Fallzahl wiederum begrenzt.

Es besteht Einigkeit darüber, dass randomisierte klinische Studien (RCTs) der Goldstandard in der Evaluation von Zusammenhängen zwischen Interventionen und Outcome sind (Lange et al., 2017). Verzerrungen, wie in diesem Kapitel beschrieben, sollen durch die Randomisierung minimiert werden; bei der Pla-

nung einer Studie spielen jedoch viele Faktoren eine Rolle, unter anderem finanzielle und personelle Möglichkeiten (Röhrig et al., 2009). Auch ethische Überlegungen sind von Bedeutung, da unausgereifte Studiendesigns die Teilnehmer unnötig beeinträchtigen können (May, 1975). Vor diesem Hintergrund wurde das vorliegende Design ausgesucht. Aus dem Aufbau ergibt sich der große Vorteil, dass durch die retrospektive Arbeit auch Charakteristika von Nichtteilnehmern gesammelt werden konnten und somit eine Fallzahl von 51 erreicht wurde. Eine weitere Stärke ist das lange Follow-Up von teilweise über zehn Jahren und einem Median von 3,2 Jahren für die gesamte Population (n = 51) bzw. 3,9 Jahren für die Teilnehmer, die für eine Erhebung des Outcomes zur Verfügung standen (n = 37, s. Kapitel 3, S. 19).

4.2 Methodik

Neben dem in Kapitel 4.1 beschriebenen Selektionsbias sollte auch das Auftreten von Informationsbias berücksichtigt werden. Dies können Messfehler bei stetigen Merkmalsausprägungen sein oder Missklassifikationen bei kategoriellem; das o. g. lange Follow-Up kann dabei zum Problem werden: weit zurückliegende Ereignisse werden gegebenenfalls mit einer höheren Unschärfe erinnert (Hammer et al., 2009). Mögliche Komplikationen könnten beispielsweise nicht erfasst werden, da sie zu weit zurückliegen und vom Patienten verdrängt wurden. Ein Interviewerbias, bei dem unter Umständen durch stärkere Empathie differenziertere Informationen erfragt würden, konnte in der vorliegenden Arbeit durch einheitliche Fragebögen minimiert werden (vgl. Kapitel 2.3, S. 12 ff.; Hammer et al., 2009).

Durch ungenaue Messverfahren können Messfehler im klassischen Sinn entstehen (Hammer et al., 2009). Diese Tatsache ist insbesondere bei der Bewertung der Messergebnisse des Bewegungsumfanges mit dem Goniometer zu beachten (vgl. Kapitel 2.3, S. 12 ff.). In einer Studie von Carter et al. (2009) wurde an zehn Verstorbenen die Methode der manuellen Goniometrie mit dem Goldstandard der Röntgendurchleuchtung verglichen: die Unterschiede betragen bis zu 5° bei der Handgelenksbeweglichkeit. Wird nun ein Goniometer mit

5°-Schritten verwendet, kann dies in Zusammenhang mit der Ungenauigkeit des Untersuchers Fehler bis zu 10° bedeuten (Carter et al., 2009). In der vorliegenden Arbeit wurde zwar ein Goniometer mit 1°-Schritten verwendet, aus Gründen der Anschaulichkeit wurde jedoch in 5°-Schritten auf- oder abgerundet. Um solche Fehler zu vermeiden, sollen laut einer Arbeit von Korhonen et al. (2019) mehrere Studien die Verwendung der Röntgendurchleuchtung anstelle der manuellen Goniometrie empfehlen. Dies sei aber vor allem bei der Arbeit mit Kindern aus Strahlenschutzgründen nicht akzeptabel (Korhonen et al., 2019). Die goniometrische Messung des Ellenbogenbewegungsumfangs (Streckung/Beugung) korreliert mit der radiologischen, auch wenn gewisse Unterschiede bestehen (Chapleau et al., 2011).

Das Ausmaß der Umwendbewegung wurde in der vorliegenden Arbeit visuell eingeschätzt. Diese Methode ist möglicherweise ungenauer als die apparative Bestimmung. In der Vergangenheit wurde eine Reihe von Geräten zur genaueren Messung von Pronation und Supination entwickelt; diese sind aber komplex und kompliziert in der klinischen Standardanwendung, sodass die Bestimmung üblicherweise visuell oder goniometrisch erfolgt (Colaris et al., 2010). Für beide Methoden konnte eine mittelmäßige bis exzellente Interraterreliabilität festgestellt werden, sodass die visuelle Methode vor allem bei unkooperativen Kindern eine gute zweite Wahl darstellt, insgesamt jedoch die Verwendung eines konventionellen Goniometers bevorzugt empfohlen wird (Colaris et al., 2010). Durch die visuelle Analyse der Umwendbewegung in der vorliegenden Studie konnten unkooperative Fälle kompensiert werden, während eine methodische Vergleichbarkeit der gesamten Kohorte gewährleistet wurde.

Probleme können auch bei der Beurteilung von Outcome und Lebensqualität aufkommen. Typische Urteilsfehler entstehen durch unterschiedliche Interpretationen von Ratingskalen, beispielsweise werden bei der zentralen Tendenz die extremen Merkmalsausprägungen auf einer solchen Skala eher vermieden (Eckes, 2005). Auch beim PedsQL™4.0- und QuickDASH-Fragebogen einschließlich Sport- und Musik-Modul wurden Skalen zur Beantwortung verwendet. Solche Effekte spielen vor allem bei psychometrischen Tests eine Rolle (Eckes, 2005).

Für die Bearbeitung der genannten deutschsprachigen Fragebögen waren hinreichende Kenntnisse der deutschen Sprache nötig. Das daraus resultierende Fehlerpotential konnte minimiert werden, indem die QuickDASH-Fragebögen sowie Sport- und Musik-Modul *gemeinsam* mit den Patienten oder ihren Erziehungsberechtigten bearbeitet wurden. Im Rahmen der Nachuntersuchung bzw. des Telefoninterviews wurde zudem ausreichend Raum zur Klärung von Unklarheiten der PedsQL™4.0-Fragebögen geschaffen, die eigenständig zuhause bearbeitet wurden. Arbeiten zur Validität beider Fragebögen liegen vor (Beaton et al., 2005; Varni et al., 2003; s. Kapitel 2.3, S. 12 ff.).

Eine sorgfältige Untersuchung der verletzten Kinder ist essenziell, dabei kann insbesondere das Erfassen des neurologischen Status Schwierigkeiten bereiten: Schmerzen, Ängstlichkeit oder schlechte Mitarbeit bei der Untersuchung spielen vor allem bei den unter Drei- bis Vierjährigen eine Rolle (Abzug und Herman, 2012). Die Nachuntersuchungen im Rahmen der Studienteilnahme gestalteten sich größtenteils unproblematisch. Allerdings ist zu bedenken, dass die Patienten häufig in Begleitung ihrer Familienangehörigen kamen (ein/beide Elternteil/e und ggf. Geschwister) und die Verletzung teilweise lang zurücklag, eine Nachuntersuchung bei den „Allerjüngsten“ war also selten. Dadurch war meist eine gute Mitarbeit gegeben und Ängste spielten eine untergeordnete Rolle. Ob eine Untersuchung unmittelbar nach der Verletzung und ggf. nach einer operativen Behandlung auch immer so unproblematisch war, ist nicht bekannt. Es wurden nur die erinnerten oder klinisch dokumentierten Komplikationen erfasst, es ist also denkbar – wenn auch unwahrscheinlich – dass unter erschwerten Untersuchungsbedingungen Komplikationen übersehen wurden.

Eine lückenhafte Dokumentation muss ebenfalls als potenzieller Informationsbias betrachtet werden. In einem Fall war eine klare Zuordnung eines Patienten zwischen den Gruppen mit und ohne Komplikationen nicht möglich. Er wurde nach seiner Verletzung bereits in England voroperiert, die Behandlung in der BGU wurde jedoch nicht als Revision im Sinne einer Komplikation der in der BGU durchgeführten Therapie klassifiziert (s. Kapitel 3.2, S. 23 ff.). In den übrigen Fällen war die vorliegende Dokumentation eindeutig und vollständig.

Bei der Evaluation der Röntgenaufnahmen kann eine Fraktur initial übersehen werden und es sollte die Möglichkeit einer okkulten Ellenbogenfraktur beachtet werden: Hinweis kann dabei das Fettpolsterzeichen im Sinne einer Transparenz entlang des distalen posterioren Humerus und der Fossa olecrani sein (Abzug und Herman, 2012). Beim Normalbefund einer Röntgenaufnahme mit lateralem Strahlengang ist das hintere Fettpolster nicht sichtbar, erst ein Gelenkerguss führt zu Verlagerung und Sichtbarwerden; neben einer okkulten Fraktur sind verschiedene andere Ursachen möglich (Goswami, 2002).

Bei der statistischen Analyse spielt der Stichprobenumfang eine bedeutende Rolle, da zwischen Fallzahl und statistischer Signifikanz bekanntermaßen Zusammenhänge bestehen (Stang et al., 2010). Für die vorliegende Arbeit standen 37 Patienten für eine Erhebung des Outcomes zur Verfügung (telefonisch, persönlich oder schriftliche PedsQL™4.0-Bearbeitung). Nach Einschätzung der methodischen Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen war die Gesamtstichprobengröße damit ausreichend. Die einzelnen Vergleichsgruppen für die statistische Testung waren jedoch zum Teil sehr klein. Während Studien mit geringem Stichprobenumfang dazu tendieren, wichtige klinische Unterschiede in Signifikanztests zu übersehen, können Studien mit großem Umfang signifikante Ergebnisse hervorbringen, die keine klinische Bedeutung haben (Stang et al., 2010). In der vorliegenden Arbeit wurden keine statistisch signifikanten Ergebnisse ermittelt. Vor diesem komplexen Hintergrund wurden daher abseits von statistischen Tests zusätzlich Überlegungen zum MCID angestellt, sowie Beobachtungen an Kreuztabellen beschrieben (s. S. 31 ff. und S. 56 ff.).

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Patientencharakteristika

Die Mehrzahl der Patienten in dieser Studie war männlich (58,8%). Das entspricht einem Verhältnis von Jungen zu Mädchen von $\frac{30}{21} \approx 1,4$. Das Verhältnis von Jungen zu Mädchen, die 2017 wegen einer Fraktur des distalen Humerus behandelt wurden, wird in einer Arbeit von Körner et al. (2019) mit 1,3 angegeben. Auch in einer schwedischen Arbeit, in der 8.682 pädiatrische Frakturen analysiert wurden, waren Knochenbrüche bei Jungen jeder Altersgruppe häufiger als bei Mädchen (Landin, 1983). Für gewöhnlich wird die Inzidenz der PSCHF in der Literatur bei Jungen höher angegeben als bei Mädchen, wobei auch von gegenteiligen Geschlechterverhältnissen berichtet wird (Cheng et al., 2001; Farnsworth et al., 1998; Omid et al., 2008). In einer Schweizer Studie zur epidemiologischen Auswertung pädiatrischer Frakturen langer Röhrenknochen wurde ebenfalls eine Prädominanz männlicher Jugendlicher festgestellt; die Autoren erklären sich diesen Umstand unter anderem durch biologische und Verhaltensunterschiede, die mit Alter und Geschlecht zusammenhängen (Joeris et al., 2014).

Die Patienten der vorliegenden Arbeit waren zum Verletzungszeitpunkt zwischen drei und 13 Jahre alt bei einem medianen Alter von sieben Jahren. Die meisten PSCHF treten nach Angaben des Reviews von Omid et al. (2008) zwischen dem Alter von fünf und sieben Jahren auf. Auch laut der Arbeit von Körner et al. (2019) wurden 2017 die meisten Frakturen des distalen Humerus in deutschen Krankenhäusern in der Gruppe der Fünf- bis Neunjährigen behandelt. In einer Studie, in der Extremitätenfrakturen von 3.350 Kindern untersucht wurden, wurden die meisten SCHF in der Gruppe der Vier- bis Siebenjährigen festgestellt (Cheng und Shen, 1993). Mathison und Agrawal (2010) erklären sich diese Häufung damit, dass Kinder in diesem Alter Aktivitäten in größerer Höhe und schnellerem Tempo aufnehmen. Diese Annahme wird unterstützt durch eine Arbeit von Wang et al. (2019), wonach pädiatrische Oberarmfrakturen ätiologisch am häufigsten assoziiert sind mit Stürzen aus geringer Höhe (<2 m).

Knapp ein Drittel (31,4%) der Patienten dieser Arbeit trugen sich ihre Verletzung am rechten Arm zu, während gut zwei Drittel (68,6%) sich am linken Arm verletzt haben. Omid et al. (2008) geben mehrere Studien an, in denen PSCHF ebenfalls bevorzugt den linken bzw. nicht-dominanten Arm betroffen haben. Auch in der Untersuchung von 3.350 Kindern mit Extremitätenfrakturen von Cheng und Shen (1993) konnte eine altersunabhängige Prädominanz der meist linken, nicht-dominanten Seite festgestellt werden, der Unterschied war statistisch jedoch nicht signifikant.

Unter den 46 operierten Patienten der vorliegenden Arbeit betrug das mediane Intervall zwischen Unfalltag und Tag der operativen Versorgung null Tage, der maximale Zeitraum lag bei 14 Tagen. Omid et al. (2008) nennen in ihrem Review eine Reihe von Umständen, unter denen aus ihrer Sicht keine Verzögerung der operativen Behandlung stattfinden sollte: Kompromittierung der peripheren Durchblutung, assoziierte Unterarmfrakturen, Ekchymosen in der Ellenbeuge, erhebliche Schwellungen, Hauteinziehungen („skin puckering“) und ein drohendes Kompartmentsyndrom. Abzug und Herman (2012) führen zusätzlich offene Frakturen, hochgradige Ellenbogeninstabilität, Paralysen des Nervus medianus, junges Alter und kognitive Einschränkungen als Faktoren zur notfallmäßigen Behandlung von PSCHF an. Vor diesem Hintergrund scheint es sinnvoll, dass der Großteil der in die Studie eingeschlossenen Patienten so zügig operiert wurde und knapp 90% der operativ versorgten Patienten noch am selben oder am darauffolgenden Tag der Verletzung behandelt wurden (35 am selben, sechs am Folgetag).

Zwei Patienten wurden hingegen erst 14 Tage nach dem Unfalltag in der BGU behandelt. Beide wurden zuerst extern versorgt. Einer wurde zur Revision einer Typ-III-Fraktur in die BGU aufgenommen, nachdem er zunächst im Ausland behandelt worden war. Beim Anderen wurde die Diagnose einer IIB-Fraktur verzögert gestellt. In der Kindertraumatologie stellen Frakturen einen großen Anteil an verzögert erfassten Verletzungen dar, darunter häufig Frakturen der Extremitäten (Furnival et al., 1996). Eine verspätete Diagnose geht wiederum am häufigsten mit Kommunikationsschwierigkeiten einher, zum Beispiel durch verändertes Bewusstsein, endotracheale Intubation oder noch nicht sprachfähi-

ge Kinder, weitere Faktoren sind schwere Traumata oder Schwierigkeiten bei der Untersuchung und in Zusammenhang mit der Bildgebung (Furnival et al., 1996; Williams et al., 2009). Mehlman et al. (2001) analysierten perioperative Komplikationen von früh und verzögert operativ versorgten PSCHF und konnten keinen signifikanten Unterschied finden. Es ist zu beachten, dass die Grenze zwischen früh und verzögert operierten Patienten bei acht Stunden nach der Verletzung lag mit einem Maximum von 72 Stunden in der Gruppe der verzögert behandelten Patienten (Mehlman et al., 2001). Bei den genannten Patienten der vorliegenden Arbeit, welche erst 14 Tage posttraumatisch in der BGU operiert wurden, wurden keine Komplikationen entsprechend der verwendeten Definition erfasst.

Die meisten Patienten der vorliegenden Studie wiesen eine Typ-III-Fraktur nach Gartland und Wilkins auf (41,2%), gefolgt von 27,5% Typ-IIB-, 17,6% Typ-IIA- und nur 5,9% Typ-I-Frakturen. Dass so wenig Patienten mit einer Typ-I-Fraktur in der BGU behandelt wurden, könnte damit zusammenhängen, dass diese nach allgemeinem Konsens konservativ behandelt werden (Fernandez und Eberhardt, 2012; Omid et al., 2008), was eine Versorgung beim niedergelassenen Facharzt ermöglicht (s. u.). Versteht man ein höheres Gartland-Wilkins-Stadium als Zunahme der Verletzungsintensität, ist der Überhang der Typ-III-Frakturen möglicherweise mit einem veränderten Risikoverhalten assoziiert. In einer Studie von Ma et al. (2004) wird eine Assoziation von pädiatrischen Handfrakturen und risikofreudigem Verhalten beschrieben. Mathison und Agrawal (2010) legen in ihrer Arbeit eine zunehmende Beliebtheit so genannter Extremsportarten unter Jugendlichen dar. Auch das ist als Erklärung für kompliziertere Frakturen denkbar.

In einer chinesischen Studie von Cheng et al. (2001) an 450 Kindern unter 15 Jahren mit SCHF hatten 30% eine Typ-I-Fraktur, 24% eine Typ-II-Fraktur und 45% eine Typ-III-Fraktur. Die relative Häufigkeit der Typ-III-Fraktur passt zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Auch die Prädominanz der Typ-III-Fraktur scheint in beiden Arbeiten auf den ersten Blick gleich zu sein. Zählt man die Typ-IIA- und Typ-IIB-Frakturen der vorliegenden Studie jedoch zusammen, wie in der Arbeit von Cheng et al. (2001) geschehen, stellt sich mit kumulativ 45,1%

eine tatsächliche Prädominanz der Typ-II-Frakturen heraus. In der vorliegenden Arbeit sind nur SCHF vom Extensionstyp beschrieben. Das ist plausibel, da diese 98% der Fälle ausmachen (Fernandez und Eberhardt, 2012). Es gilt jedoch zu bedenken, dass bei vier Patienten dieser Arbeit aufgrund fehlender (präoperativer) Röntgenbilder keine exakte Klassifikation möglich war. Die größere Häufigkeit von höhergradigen SCHF im eigenen Kollektiv ist am ehesten darauf zurückzuführen, dass hauptsächlich zu operierende Kinder in der BGU vorstellig waren, während die konservative Therapie wie oben genannt mutmaßlich häufiger in der Niederlassung erfolgte. Insofern ist das größtenteils aus dem Einzugsgebiet der BGU stammende Kollektiv nicht repräsentativ für alle Kinder mit SCHF (s. Kapitel 4.1, S. 35).

4.3.2 Behandlung

Der Großteil der Patienten dieser Arbeit wurde mittels geschlossener (45,1%) oder offener (43,1%) Reposition und gekreuzter Spickdrahtosteosynthese behandelt. 9,8% wurden rein konservativ mittels Ruhigstellung versorgt und bei einem Patienten (2,0%) wurde im Rahmen einer Revision eine offene Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese durchgeführt. Es ist eine klare Dominanz der Behandlung mittels gekreuzter Spickdrahtosteosynthese zu erkennen (kumulativ über 90%). Um die Behandlung in Abhängigkeit des Gartland-Wilkins-Stadiums zu veranschaulichen, wurden die Ergebnisse aus Tabelle 1 (s. S. 22) nochmals in Tabelle 2 zusammengetragen (s. S. 23). Es herrscht Einigkeit darüber, dass Typ-I-Frakturen konservativ mittels Ruhigstellung therapiert werden (Omid et al., 2008), so auch bei den Patienten dieser Arbeit geschehen.

Die korrekte Behandlung der Typ-II-Frakturen wird kontrovers diskutiert: viele Patienten mit Typ-IIA-Frakturen mögen zwar erfolgreich mit geschlossener Reposition und Ruhigstellung versorgt werden, dies macht eine engmaschige Kontrolle jedoch unabdingbar, um einen Repositionsverlust zu erkennen (Abzug und Herman, 2012). Hadlow et al. (1996) analysierten in einer Arbeit die Therapie von 176 Patienten mit einer PSCHF, darunter 48 Patienten mit einer Typ-II-

Fraktur, bei denen initial eine geschlossene Reposition mit anschließender Ruhigstellung erfolgte. Dies führte in 77% der Fälle zu einem zufriedenstellenden Ergebnis, während beim Rest ein weiterer Eingriff erforderlich war (Hadlow et al., 1996). Daraus schlussfolgern Hadlow et al. (1996), dass eine initiale Versorgung mit Spickdrähten für diese 77% ihrer Patienten mit Typ-II-Frakturen eine überflüssige Intervention bedeutet hätte. Skaggs et al. (2008) untersuchten 189 primär operativ versorgte Typ-II-Frakturen und stellten eine geringe Komplikationsrate fest (2,1% Infektionen der Pin-Eintrittsstellen), Nachoperationen waren ungewöhnlich (0,5%). 15 Patienten hatten zum Behandlungsabschluss nicht den vollen Bewegungsumfang (mittleres Follow-Up 8,7 Wochen), die Behandler versprachen sich jedoch durch Physiotherapie dessen vollständige Rückkehr (Skaggs et al., 2008). Zu beachten ist, dass die Patienten der genannten Studie, anders als die Patienten der vorliegenden Arbeit, mit zwei oder drei *von lateral kommend fixierten* Pins versorgt wurden.

Vor allem instabile Typ-II-Frakturen, das heißt jene mit Repositionsverlust nach geschlossener Reposition, sollten umgehend operativ versorgt werden, denn um sie zu stabilisieren müsste der Ellenbogen in größtmöglicher Flexion ruhiggestellt werden, was das Risiko von Durchblutungsstörungen und eines Kompartmentsyndroms birgt (Fernandez und Eberhardt, 2012). Vor diesem Hintergrund scheint es sinnvoll, dass sieben der neun Patienten mit Typ-IIA-Frakturen der vorliegenden Arbeit primär operativ versorgt wurden. Es ist jedoch auch zu betonen, dass bei den beiden konservativ behandelten Patienten keine Komplikationen erfasst wurden.

Alle Typ-IIB-Frakturen werden laut Review von Abzug und Herman (2012) am besten mit geschlossener Reposition und Spickdrähten versorgt. Zehn der 14 Typ-IIB-Frakturen dieser Arbeit folgen dieser Aussage und wurden geschlossen behandelt. Vier wurden jedoch offen reponiert. Bei der Durchsicht der OP-Berichte fiel auf, dass bei manchen offen operierten Patienten initial eine geschlossene Reposition angestrebt wurde. Zum einen bietet ein freiliegender OP-Situs aber eine bessere Übersicht. Zum anderen erfordern Repositionshindernisse wie eine Weichteilinterposition einen offenen Zugang (Abzug und Herman, 2012; Reitman et al., 2001). Dann ermöglicht ein offenes Vorgehen ein

direktes Einstellen der Fraktur und das Lösen von beispielsweise eingeschlagenem Periost. Dies könnte als Erklärung für das insgesamt ausgewogene Verhältnis von geschlossen zu offen reponierten SCHF herangezogen werden (je 50% aller operativ versorgten SCHF). Laut Abzug und Herman (2012) ist eine offene Reposition und Osteosynthese indiziert bei allen offenen Frakturen sowie sämtlichen Frakturen, die geschlossen nicht adäquat reponiert werden können.

Stellt sich der Patient mit extremer Flexions- oder Extensionsfehlstellung des verletzten Arms vor, wie es bei Typ-III-Frakturen der Fall ist, sollte der Arm zunächst vorsichtig in 30° Beugung gebracht werden, um das Risiko vaskulärer Schäden und eines Kompartmentsyndroms gering zu halten; das Standardverfahren ist dann in den meisten Häusern die operative Reposition und Spickdrahtosteosynthese (Omid et al., 2008). Auch bei den Typ-III-Frakturen sollte initial eine geschlossene Reposition versucht werden (Abzug und Herman, 2012). Bei drei der 21 Patienten mit Typ-III-Frakturen dieser Arbeit ist dies gelungen, 18 Frakturen wurden in einem offenen Verfahren reponiert. In einem Fall wurde die Behandlung einer Typ-III-Fraktur zusätzlich als Revision klassifiziert, da der Patient extern voroperiert wurde.

4.3.3 Komplikationen

Von den insgesamt 51 Patienten dieser Arbeit wiesen 38 (74,5%) keinerlei Komplikationen auf. Zwei Patienten zeigten schon vor der Behandlung in der BGU ein neurologisches Defizit. Ein direkter Zusammenhang mit dem Trauma ist also anzunehmen. In Zusammenhang mit Frakturen kommt es immer zu Einblutung, Blutgerinnung und Weichteiltrauma, durch die scharfkantigen Frakturfragmente kann es zur Zerrung und Durchtrennung von Gefäßen und Nerven kommen (Meyerding, 1953). Bei SCHF führt insbesondere die frakturtypische Schwellung in der Ellenbeuge in Kombination mit einem zunehmenden Hämatom zu einem enormen Druck auf die lokalen Gefäße sowie den N. medianus (Meyerding, 1953). Dies kann bei einem Patienten, der prätherapeutisch Hypästhesien der Finger II und III beklagt hat, als Erklärung herangezogen werden.

In einem anderen Fall wurde präoperativ ein sensorisches Defizit des Nervus ulnaris dokumentiert. Assoziationen zwischen SCHF und traumatischen Schäden des Nervus ulnaris sind auch in der Literatur beschrieben (Abzug und Herman, 2012; Babal et al., 2010; Brown und Zinar, 1995; Kwok et al., 2016). In einer Metaanalyse wurden 3.457 Patienten mit dislozierten SCHF vom Extensio-
nstyp analysiert und die Rate traumatischer Neurapraxien betrug 12,7% (Babal et al., 2010). Der Anteil an Patienten mit primärem neurologischem Defizit lag in der vorliegenden Arbeit bei 3,9%. In diese Arbeit wurden jedoch auch Patienten mit undislozierten Typ-I-Frakturen eingeschlossen. Alle drei wiesen keine Komplikationen auf, das heißt auch kein neurologisches Defizit. Unvollständige primäre Nervenschäden zeigen nach Reposition und Festigung der Fraktur häufig eine gute Prognose und sind in den folgenden Monaten rückläufig (Frank, 2016).

Die häufigste Komplikation dieser Arbeit war mit 13,7% ein posttherapeutisches neurologisches Defizit. Zu beachten ist, dass zwei der betroffenen Patienten bereits ein primäres neurologisches Defizit beklagten, dementsprechend wurde bei 9,8% der Patienten *erstmalig posttherapeutisch* ein neurologisches Defizit festgestellt. In einem der genannten Fälle mit primärem Defizit bestand dieses in derselben Form posttherapeutisch weiter. Hier ist also eher ein Zusammenhang mit dem Trauma anzunehmen als mit der Behandlung. In der Metaanalyse von Babal et al. (2010) wird das Risiko iatrogenen Neuropathien unabhängig von der Pin-Platzierung mit 3,9% angegeben und eine Platzierung von medial soll das Risiko von Schäden des Nervus ulnaris erhöhen. Darauf deutet auch eine Untersuchung von 162 PSCHF hin, die Brown und Zinar 1995 veröffentlichten. Unter den 19 Patienten mit Nervenverletzungen fanden sich vier mit iatrogenen Neuropathien des Nervus ulnaris, die alle durch den medialen Pin bedingt wurden (Brown und Zinar, 1995).

In der vorliegenden Arbeit wurden bei zwei Patienten posttherapeutisch Ausfälle des Nervus ulnaris festgestellt, in beiden Fällen erfolgte eine gekreuzte Spickdrahtosteosynthese. Ein weiterer beschrieb bei der Nachuntersuchung Parästhesien der Finger IV und V, was ebenfalls als Neurapraxie des Nervus ulnaris gedeutet werden kann. Auch dieser Patient wurde operativ mit gekreuzten

Spickdrähten versorgt. Eine Verletzung des Nervus ulnaris durch die medialen Pins muss in diesen Fällen in Erwägung gezogen werden. Um dieses Risiko zu minimieren, empfehlen Brown und Zinar (1995) mediale Pins höchst aufmerksam und nicht zu weit dorsal zu platzieren. Bei deutlicher Schwellung sollte durch einen kleinen Hautschnitt eine Darstellung des Nervs erfolgen (Brown und Zinar, 1995; T. Slongo, 2018).

Zwei Patienten zeigten posttherapeutisch Ausfälle des Nervus radialis (Fallhand in einem Fall, sensorisches und motorisches Defizit im anderen Fall) und einer berichtete über Hypästhesien der Finger III und IV, was als Neurapraxie des Nervus medianus interpretiert werden kann. Teilweise können Schäden dieser Nerven durch die Fraktur selbst erklärt werden: eine posteromediale Verschiebung des proximalen Fragments kann zu Schäden des Nervus radialis führen, eine posterolaterale Verschiebung zu Schäden des Nervus medianus (Fernandez und Eberhardt, 2012). Zudem ist das Risiko von Verletzungen des Nervus medianus bei einer lateralen Pin-Platzierung erhöht verglichen mit einer medialen (Babal et al., 2010). Der betroffene Patient aus der vorliegenden Studie wurde mit gekreuzten Spickdrähten versorgt, eine Verletzung durch den lateralen Pin ist also denkbar.

Zusammenfassend ist der wichtigste Einflussfaktor auf ein primäres oder posttherapeutisches neurologisches Defizit das Gartland-Wilkins-Stadium als Zeichen des Dislokationsgrads; eine weitere Rolle spielt die chirurgische Behandlung (Körner et al., 2019). Sechs der sieben Patienten dieser Arbeit mit neurologischen Defiziten hatten eine Typ-III-Fraktur und wurden in einer offenen Reposition mit gekreuzten Spickdrähten versorgt, was diese Aussage unterstützt.

Zur Infektion kam es bei einem Patienten dieser Arbeit (2,0%). Bashyal et al. (2009) analysierten 622 Patienten, die wegen SCHF mit geschlossener Reposition und perkutaner Spickdrahtosteosynthese behandelt wurden. 1,0% ihrer Patienten entwickelten oberflächliche oder tiefe Infektionen an den Pin-Einstichstellen (Bashyal et al., 2009). Omid et al. (2008) führen in ihrem Review zu SCHF Literatur mit Infektionsraten nach Spickdrahtosteosynthesen von <1%

bis 6,6% an. Bashyal et al. (2009) berichten von einem Repositionsverlust bei 0,6% der Frakturen, die Rate an Osteosyntheseversagen lag in der vorliegenden Arbeit bei 2,0%. Bei 3,2% der Patienten von Bashyal et al. (2009) wurden Revisionen durchgeführt (bei Migration des Osteosynthesematerials, Repositionsverlust, tiefer Infektion und Granulationsgewebe um die Einstichstellen). Die Revisionsrate der vorliegenden Arbeit lag im Vergleich bei 9,8%.

Neben o. g. Komplikationen kann es bei PSCHF zu weiteren Problemen kommen. Omid et al. (2008) beschreiben in ihrem Review unter anderem vaskuläre Schäden und das Kompartmentsyndrom, beispielsweise soll es bei 10% bis 20% aller Patienten mit Typ-III-Frakturen zur Pulslosigkeit kommen. Fernandez und Eberhardt (2012) geben vaskuläre Komplikationen bei SCHF mit 1-2% an. Ein Kompartmentsyndrom manifestierte sich in der Studie von Bashyal et al. (2009) bei 0,5%. Solche Komplikationen wurden bei der Population der vorliegenden Arbeit nicht dokumentiert.

Der Cubitus varus, bei dem es zu einer verstärkten ellenseitigen Abweichung der Unterarmachse gegenüber dem Oberarm kommt, stellt eine der häufigsten Komplikationen von SCHF dar, unabhängig davon, ob diese konservativ oder operativ behandelt wurden (Abzug und Herman, 2012). Häufigkeiten werden mit bis zu 10-30% angegeben (Fernandez und Eberhardt, 2012). Dabei sei laut der Quellen im Review von Omid et al. (2008) der häufigste Grund für eine Varusdeformität nach SCHF eher eine Konsolidierung der Fraktur in Fehlstellung als ein Wachstumsstillstand der Fugen am distalen Humerus. Im Rahmen der klinischen Nachuntersuchung, die bei 23 Studienteilnehmern der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde, fand eine Inspektion der Stellung beider Arme statt, um diese häufige Spätfolge zu erfassen. Bei neun Patienten wurde die verletzte Seite als Valgusfehlstellung erfasst, das heißt als speichenseitige Abweichung der Unterarmachse gegenüber dem Oberarm; ein Vorkommen in Folge von SCHF ist möglich (Hentsch und Thormann, 2017). Bei den vorliegenden Fällen fand sich jedoch dieselbe Abweichung auch auf der Gegenseite, sodass vielmehr von einer bei Kindern physiologischen Achsabweichung gesprochen werden kann (Lenich, 2021). Bei zwei weiteren Patienten schien die Achse der operierten Seite physiologisch, während die Gegenseite als Valgusfehlstellung

imponierte. Theoretisch könnte hier eine „Begradigung“ oder „Varisierung“ der Achse durch die OP angenommen werden. Insgesamt sind bei den nachuntersuchten Patienten der vorliegenden Arbeit jedoch keine Fehlstellungen im Sinne von Spätfolgen der SCHF zu verzeichnen.

Mit prä- und posttherapeutischen neurologischen Defiziten, Infektionen/Wundheilungsstörungen, Osteosyntheseversagen und Revisionen wurden die Komplikationen in dieser Arbeit relativ großzügig definiert, womit sich die erhöhte Rate von 25,5% (13 Patienten mit einer/mehreren Komplikationen aus der Population von n = 51) teilweise erklären lässt (s. Tabelle 3, S. 25). Bei der kritischen Betrachtung ist zu beachten, dass die genannten Komplikationen nicht notwendigerweise zu langfristigen Konsequenzen für Outcome und Lebensqualität führen. In einer Studie von Brown und Zinar (1995) zu traumatischen und iatrogenen neurologischen Komplikationen kam es bei allen 23 Neuropathien innerhalb von sechs Monaten zur spontanen Rückbildung – unabhängig davon, ob sie den Nervus radialis, ulnaris oder medianus betroffen hatten (Brown und Zinar, 1995). Auch von den Patienten, bei denen in der vorliegenden Arbeit neurologische Defizite im Sinne einer Komplikation dokumentiert wurden, berichtete niemand von immer noch bestehenden Gefühlsstörungen oder Lähmungen im Rahmen der Nachuntersuchung oder des Telefoninterviews. Davon ausgenommen sind zwei Patienten, die daran nicht teilgenommen haben.

Infektionen, Wundheilungsstörungen, Osteosyntheseversagen und Revisionen können adäquat behandelt werden, sodass auch sie keine dauerhaften Einschränkungen für die betroffenen Patienten bedeuten müssen. Eine Ausnahme bildet der Patient mit der Infektion: im Telefoninterview berichtete der Erziehungsberechtigte, dass noch eine Bewegungseinschränkung bestünde. Trotz Empfehlung wurde eine persönliche Vorstellung allerdings abgelehnt, sodass die genauen Umstände unklar bleiben.

4.3.4 Outcome

Bei der Auswertung der PedsQL™4.0-Scores gilt, dass höhere Scores eine bessere HRQoL kennzeichnen (Alderfer und Marsac, 2013; Varni et al., 2001). Bei einem Median von 95,65 kann entsprechend von einer sehr guten HRQoL der vorliegenden Kohorte ausgegangen werden. Dies spricht einerseits für eine gute Behandlung. Andererseits müssen, wie oben erklärt, aufgetretene Komplikationen nicht immer langfristige Folgen für Outcome und Lebensqualität haben. Die Fragen der PedsQL™4.0-Fragebögen beziehen sich jeweils auf die zurückliegenden vier Wochen.

Der QuickDASH-Wert beruht auf einem Kontinuum von null bis 100, wobei ein niedrigerer Wert geringere Einschränkungen bedeutet und ein höherer Wert deutliche Einschränkungen impliziert (Germann et al., 2003). Bei einem Median von 0,00 sind bei der Mehrzahl der Patienten der vorliegenden Arbeit also keine Einschränkungen zu erwarten. Mehr als drei Viertel der Patienten erreichten einen QuickDASH-Wert von 0,00 und damit den Bestwert. Die Auswertung des Sport- und Musik-Moduls ergab ebenfalls einen Median von 0,00. Dieses Ergebnis erzielten 87,88%. Es ist bei einem Großteil mit keinen Problemen beim Sport oder Musizieren zu rechnen.

Bei allen drei Scores (PedsQL™4.0-Score, QuickDASH-Wert, Auswertung Sport- und Musik-Modul) wurden gehäuft Bestwerte erzielt, sodass von einem mindestens moderaten Deckeneffekt gesprochen werden kann (McHorney und Tarlov, 1995). Dieser kann als das Unvermögen eines Tests interpretiert werden, unter hohen Lebensqualität-Niveaus zu differenzieren; Änderungen am oberen (im Sinne von „bestem“) Ende einer Skala können aufgrund eines ausgeprägten Deckeneffekts unter Umständen nicht ausfindig gemacht werden und stellen in diesem Sinne ein Messproblem dar, das im Rahmen einer Validierung untersucht werden sollte (Garin, 2014; McHorney und Tarlov, 1995).

Beim PedsQL™4.0-Fragebogen sind Machbarkeit, Reliabilität und Validität in Bezug auf die HRQoL gegeben (Varni et al., 2003). Soll die HRQoL explizit unter verletzten Kindern bestimmt werden, lassen Daten von Kruse et al. (2014) auf eine gute Konstruktvalidität des Fragebogens schließen. Verschiedene Ver-

zerrungen der PedsQL™4.0-Scores konnten in dieser Arbeit methodisch minimiert werden: ein Interviewerbias konnte durch die selbstständige Bearbeitung zuhause ausgeschlossen werden; Informationsbias wurden reduziert, da nur der Zeitraum innerhalb der vergangenen vier Wochen erinnert werden musste (Hammer et al., 2009). Verzerrungen lassen sich zwar nicht vollständig vermeiden (s. Kapitel 4.1 und 4.2, S. 35 ff.). In Zusammenschau der genannten Aspekte und im Vergleich mit der nachfolgend zitierten Studie von Liebs et al. (2020) können die guten Ergebnisse dieser Arbeit jedoch als plausibel angesehen werden.

In einem Review über Fragebögen zu Schulterbeeinträchtigungen erhielt der DASH-Fragebogen aufgrund seiner klinimetrischen Eigenschaften die beste Bewertung, unter anderem da kein Deckeneffekt (>15%) beobachtet wurde (Bot et al., 2004). Es existiert eine standardisierte und validierte deutsche Übersetzung (Germann et al., 2003). Der hier verwendete kürzere QuickDASH-Fragebogen liefert ähnlich präzise Ergebnisse und findet international regelmäßig Anwendung (Gummesson et al., 2006; Kennedy und Beaton, 2017). Vor diesem Hintergrund und mit Blick auf die im Folgenden zitierten guten Ergebnisse anderer Studien können die hervorragenden QuickDASH-Werte der vorliegenden Kohorte als glaubhaft betrachtet werden.

In einer gesunden deutschen Vergleichsgruppe mit einem Durchschnittsalter von 8,4 Jahren lag der mittlere PedsQL™4.0-Score bei 89,9 (n = 491, Elternfragebogen; Listing et al., 2018). In einer gesunden niederländischen Normpopulation lagen die Mittelwerte der PedsQL™4.0-Scores in der Gruppe der Sechsbis Siebenjährigen bei 86,07 (n = 61, Elternfragebogen), bei den Acht- bis Zwölfjährigen bei 82,31 (n = 192, eigenanamnestisch) und bei den Dreizehn- bis Achtzehnjährigen bei 83,14 (n = 148, eigenanamnestisch; Engelen et al., 2009; Haverman et al., 2012). Unter 5.079 gesunden Kindern aus Kalifornien im Alter von fünf bis 16 Jahren betrug der durchschnittliche eigenanamnestische PedsQL™4.0-Score 83,91 (Varni et al., 2003).

Im Gegensatz zu o. g. gesunden Populationen liegen die PedsQL™4.0-Scores der vorliegenden Arbeit mit einem Median von 95,65 (n = 36) höher. Dabei handelt es sich um eine Population von Kindern bzw. jungen Erwachsenen mit vorausgegangenem PSCHF. Verglichen mit den Normpopulationen scheint es, als hätten PSCHF keinen Einfluss auf die HRQoL. Beim Vergleich ist zu beachten, dass in der vorliegenden Arbeit nicht nach Altersgruppen getrennt ausgewertet wurde. Zudem wurde der Median und nicht der Mittelwert berechnet. Außerdem wurden keine Elternfragebögen, sondern nur die von den Patienten selbst bearbeiteten Versionen ausgewertet und manche waren zum Zeitpunkt der Studienteilnahme bereits volljährig.

Die gute HRQoL nach PSCHF zeigt auch eine Schweizer Studie: mit einem mittleren Follow-Up von 6,3 Jahren wurden die PedsQL™4.0-Scores von 775 Patienten ausgewertet, aufgetrennt in physische und psychosoziale Funktionsfähigkeit und nach AO-Klassifikation der ehemaligen PSCHF (Liebs et al., 2020). In der AO-Klassifikation der SCHF wird nach dem Dislokationsgrad unterschieden, die Typen I und II bezeichnen dabei inkomplette und die Typen III und IV komplette Frakturen (Slongo und Audigé, 2007). In der Schweizer Studie lagen die mittleren PedsQL™4.0-Scores für die physische Funktion zwischen 96,1 (AO-Typ III) und 97,6 (AO-Typ IV) bzw. bei einem Gesamtdurchschnitt von 97,2; die mittleren Scores für die psychosoziale Funktion lagen zwischen 92,5 (Typ III) und 93,7 (Typ I) bzw. bei einem Gesamtdurchschnitt von 93,3 (Liebs et al., 2020). Zwar wurde in der vorliegenden Arbeit nach Gartland/Wilkins klassifiziert und die PedsQL™4.0-Scores wurden nicht genauer nach Funktionsbereichen unterschieden, die Mediane bewegen sich aber insgesamt auf ähnlich hohem Niveau. Auch Liebs et al. (2020) verzeichneten in ihrer Studie einen ausgeprägten Deckeneffekt.

In einer aktuellen amerikanischen Arbeit lag der mittlere QuickDASH-Wert bei 1,4 unter 213 Patienten mit vorausgegangenem PSCHF und einem Follow-Up von mindestens zwei Jahren seit der operativen Versorgung (Eguia et al., 2020). Der Wert liegt damit knapp über dem Median der vorliegenden Arbeit und ist ebenfalls sehr gut. In einer anderen amerikanischen Studie an 132 Patienten wurde ein durchschnittlicher QuickDASH-Wert von 11,4 nach PSCHF

ermittelt; beim Vergleich mit der vorliegenden Arbeit ist jedoch das kürzere Follow-Up von durchschnittlich 12,4 (jedoch mindestens zehn) Wochen zu beachten (Ernat et al., 2017). Damit liegt der Wert etwas höher und es bleibt offen, ob er bei einem längeren Follow-Up geringer ausfallen würde. Ernat et al. (2017) sprechen dennoch von einem exzellenten Outcome und geringer Beeinträchtigung. In der oben zitierten Schweizer Studie wurde ebenfalls der QuickDASH-Wert erhoben. Mit einem Durchschnitt von 2,4 ist er vergleichbar mit den vorliegenden Ergebnissen (Liebs et al., 2020). Eguia et al. (2020) und Liebs et al. (2020) berichten in ihren Arbeiten von einem Deckeneffekt der QuickDASH-Werte, passend zu den Beobachtungen der vorliegenden Studie. Beim Vergleich ist zu beachten, dass Eguia et al. (2020) sowie Ernat et al. (2017) nur SCHF mit Gartland-Stadium II und III untersucht haben. Gegebenenfalls wäre der Wert noch geringer ausgefallen, hätte man Typ-I-Frakturen mit einbezogen. In der vorliegenden Arbeit wurden die Fragebögen von zwei Patienten mit einer Typ-I-Fraktur ausgewertet. Beide erzielten den Bestwert.

Im Folgenden sollen exemplarisch die Patienten mit den ungünstigsten Outcome-Ergebnissen genauer betrachtet werden, um mögliche Zusammenhänge mit der Verletzung oder Behandlung herzuleiten. Mit dem Spitzenwert von 3.760 Tagen Follow-Up nach geschlossener Reposition und gekreuzter Spickdrahtosteosynthese erreichte eine Patientin den geringen PedsQL™4.0-Score von 63,04. Das Gartland-Wilkins-Stadium konnte nicht bestimmt werden, es sind keine Komplikationen bekannt. Laut Telefoninterview bestand noch ein Bewegungsdefizit des ehemals verletzten Arms, weitere Probleme wurden verneint. Bei einer QuickDASH-Auswertung von 0,00 sind keine Einschränkungen zu erwarten, sodass sich die genauen Umstände für den reduzierten PedsQL™4.0-Score nicht erklären lassen.

Eine Patientin erzielte die mäßige QuickDASH-Auswertung von 38,64, nachdem knapp sieben Jahre zuvor bei einer Typ-II-B-Fraktur eine geschlossene Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese durchgeführt wurde. Vier Wochen später kam es zum transkutanen Durchbrechen eines Kirschner-Drahts, sodass bei knöcherner Konsolidierung die reguläre Metallentfernung erfolgte. Im Rahmen der Studienteilnahme fielen eine Überstreckbarkeit von 15°

und ein Beugedefizit von 10° auf, zudem hätten noch Schmerzen bestanden (Ruhe, Alltag, Sport). Eine erneute Röntgenaufnahme zeigte einen zufriedenstellenden Befund mit regelrechter Artikulation, sodass sich die verbliebenen Schmerzen und der erhöhte QuickDASH-Wert nicht erklären ließen und eine Magnetresonanztomographie (MRT) mit anschließender Wiedervorstellung geplant wurden. Das Ergebnis lag zum Zeitpunkt der Auswertung dieser Arbeit noch nicht vor.

Die Patientin mit den größten Einschränkungen bei Sport und Musik erreichte eine Auswertung des Moduls von 50,00. Eine offene Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese wurde bei stark dislozierter Typ-III-Fraktur gut zwei Jahre zuvor durchgeführt. Bei knöcherner Konsolidierung und perforierendem Kirschner-Draht erfolgte sechs Wochen später die Metallentfernung. In einer Computertomographie fiel ein knöchernes Fragment in der Fossa olecrani auf, nachdem es postoperativ zu einem Streck- sowie Beugedefizit kam. Es folgte eine Revision in einer externen Kinderfachklinik. Im Rahmen der Nachuntersuchung bestand weiterhin ein Beugedefizit von 10° und starke Belastung wie Sport war noch schmerzhaft. Eine kurz zuvor erfolgte MRT-Untersuchung zeigte keine wegweisenden Befunde. Die fortbestehende Problematik nach Behandlung in der BGU und die klinische Dokumentation sprechen für einen Zusammenhang mit der Verletzung und könnten als Erklärung für die mäßige Auswertung des Sport- und Musik-Moduls herangezogen werden.

Im Rahmen der Nachuntersuchung von 23 Studienteilnehmern wurden die Bewegungsumfänge beider Arme miteinander verglichen. Die Unterschiede zwischen ehemals verletztem und gesundem Arm lagen sowohl bei Streckung und Beugung als auch bei der Umwendbewegung im Bereich von -10° bis $+10^\circ$. Korhonen et al. (2019) schlussfolgern in einer Arbeit zur Messmethodik der Bewegungsumfänge nach PSCHF, dass diese zwar essenziell bei der Auswertung des Outcomes nach SCHF sind. Zudem assoziieren sie Veränderungen des Bewegungsumfangs von über 10° im Ellenbogengelenk mit Funktionseinschränkungen, sie schätzen jedoch Unterschiede unter 10° als klinisch vermutlich unbedeutend ein (Korhonen et al., 2019). So können auch die Ergebnisse der vorliegenden Nachuntersuchungen als klinisch weniger bedeutsam gewer-

tet werden, was durch den Median von jeweils 0° bei Streckung/Beugung und bei der Umwendbewegung unterstützt wird.

In der Literatur ist die Bewertung des Outcomes nach SCHF anhand der Flynn-Kriterien weit verbreitet (Hadlow et al., 1996; Korhonen et al., 2019; Omid et al., 2008; Reitman et al., 2001; Sinikumpu et al., 2016; Tomori et al., 2018; Valencia et al., 2015). Im Seitenvergleich wird das kosmetische und funktionelle Outcome bestimmt: eine Minderung des Kubitalwinkels, also des „Tragewinkel[s] des Ellenbogengelenks“ zwischen Humerus und Unterarm (Waldt et al., 2013), oder des Bewegungsumfanges von bis zu 15° gilt als befriedigend, größere Abweichungen als unbefriedigend (Flynn et al., 1974). Gemessen an diesen Kriterien kann bei allen nachuntersuchten Patienten der vorliegenden Arbeit von einem befriedigenden Ergebnis gesprochen werden. Bewegungseinschränkungen bis zu 5° werden von Flynn et al. (1974) als exzellent bewertet, was auf die Mehrheit der untersuchten Studienteilnehmer zutrifft. In der Arbeit von Sinikumpu et al. (2016) mit einem mittleren Follow-Up von 12,1 Jahren (mindestens zehn Jahren) hatten hingegen nur gut drei Viertel der 81 untersuchten Patienten nach PSCHF ein zufriedenstellendes Ergebnis laut Flynn-Kriterien, hier wurden jedoch bereits Differenzen ab 10° als unbefriedigend eingestuft.

Die Relevanz des Bewegungsumfanges wird auch in der bereits zitierten Studie von Skaggs et al. (2008) klar (Follow-Up mindestens sechs Wochen): in einer Analyse von 189 Typ-II-Frakturen, die mittels geschlossener Reposition und Spickdrahtosteosynthese behandelt wurden, hatten 15 Patienten zum Behandlungsabschluss nicht den vollen Bewegungsumfang. Zwölf wurden mit einem Defizit von maximal 10° in Erwartung der vollen Rückkehr entlassen, in zwei Fällen wurde Physiotherapie verschrieben wegen eines Defizits von über 15° (Skaggs et al., 2008). Als mögliche Ursache führen Skaggs et al. (2008) Pins an, die die Fossa olecrani kreuzen (von lateral kommende Drähte zur Fixierung der medialen Säule kreuzen die Fossa häufig). Cheng et al. (2001) hingegen verglichen 162 Patienten mit Zustand nach SCHF mit einer altersangepassten Referenzgruppe und stellten bei den verletzten Kindern eine signifikant erhöhte Hyperextension im Ellenbogengelenk fest. Die Studienlage beschreibt demnach

sowohl Bewegungseinschränkungen als auch -gewinne nach PSCHF und scheint hier widersprüchlich.

Ausgehend von der vorliegenden Kohorte kann man in den meisten Fällen nach PSCHF eine ausgezeichnete HRQoL erwarten, in der Regel ohne wesentliche Einschränkungen im Alltag oder anhaltende Beschwerden. In Einzelfällen kann diese Aussage nicht getroffen werden. Die Gründe für ein eingeschränktes Outcome können teilweise erklärt werden. Auf die Besonderheiten pädiatrischer Frakturen als möglicher Einfluss wird in Kapitel 4.4 (s. S. 61 ff.) genauer eingegangen. Auch andere Arbeiten beschreiben gute Langzeitergebnisse nach PSCHF (Liebs et al., 2020), zum Teil mit Ausnahmen (Sinikumpu et al., 2016).

4.3.5 Statistische Ergebnisse

Unter der Annahme, dass Veränderungen bei einem ausgeprägten Deckeneffekt unter Umständen nicht differenziert werden können (s. o.; Garin, 2014; McHorney und Tarlov, 1995), wurden die QuickDASH-Werte nicht auf statistisch signifikante Unterschiede bezüglich der Frakturklassifikation und der Therapie getestet. Die Mediane lagen jeweils bei 0,00. Eine Ausnahme bildet der Patient, dessen OP als Revision gewertet wurde. Mit 2,27 ist sein Wert nur leicht erhöht. Auch ein Vergleich des MCID (s. u.) der QuickDASH-Werte erschien unter diesen Umständen nicht sinnvoll.

Andere Autoren konnten eine Abhängigkeit des QuickDASH-Werts von der Verletzungsschwere im Sinne eines zunehmenden Garland-Stadiums ermitteln: In einer amerikanischen Studie war der mittlere QuickDASH-Wert nach Typ-III-Frakturen mit 2,1 signifikant schlechter als nach Typ-II-Frakturen mit 0,4 (Eguia et al., 2020). Im Gegensatz dazu konnten Ernat et al. (2017) keinen signifikanten Unterschied der QuickDASH-Werte zwischen Typ-II- und III-Frakturen feststellen. Eine Erklärung könnte im unterschiedlich langen Follow-Up der beiden Arbeiten gesucht werden (Mittelwert 4,1 Jahre vs. 87 Tage; Eguia et al., 2020). Liebs et al. (2020) untersuchten in ihrer Arbeit die QuickDASH-Werte nach PSCHF in Abhängigkeit sowohl der AO-Frakturklassifikation als auch des ope-

rativen Ansatzes: es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied gefunden werden. Insofern passen die Ergebnisse von Liebs et al. (2020) und Ernat et al. (2017) zu denen der vorliegenden Arbeit.

Ernat et al. (2020) untersuchten das funktionelle Outcome nach PSCHF abhängig vom präoperativen vaskulären Status. Patienten mit beidseits symmetrischem, palpablem Radialispuls erreichten signifikant bessere QuickDASH-Werte als Patienten mit abnormem vaskulärem Befund (Ernat et al., 2020). In einer südkoreanischen Arbeit wurde das funktionelle Outcome nach Gartland-Typ-III-Frakturen analysiert und es konnte kein signifikanter Unterschied der QuickDASH-Werte in Abhängigkeit aufgetretener neurovaskulärer Verletzungen nachgewiesen werden (Wang et al., 2017). Valencia et al. (2015) untersuchten 16 Patienten mit vorausgegangenen PSCHF und assoziierten neurologischen Verletzungen. Ausgehend vom QuickDASH-Wert (durchschnittlich 4) und der Auswertung des Sport- und Musik-Moduls (durchschnittlich 3) sprechen sie von guten bis exzellenten funktionellen Ergebnissen (Valencia et al., 2015). Die Studienlage zu Einflüssen von Komplikationen auf das Outcome scheint widersprüchlich. In der vorliegenden Arbeit zeigte die Verteilung des Outcomes zwischen den Gruppen mit und ohne Komplikationen laut Mann-Whitney-U-Test keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Unter den 36 ausgewerteten PedsQLTM4.0-Fragebögen wurde zehnmal der Höchstscore von 100 erreicht. Obwohl auch hier von einem Deckeneffekt gesprochen werden kann (McHorney und Tarlov, 1995), wurden statistische Tests durchgeführt. Laut Kruskal-Wallis-Test sind die medianen PedsQLTM4.0-Scores der Grundgesamtheit gleich und somit unabhängig vom Gartland-Wilkins-Stadium und der Behandlung. Bestünden doch Unterschiede, könnten diese durch den beobachteten Deckeneffekt verdeckt werden (s. o.; Garin, 2014; McHorney und Tarlov, 1995). Liebs et al. (2020) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss der AO-Frakturklassifikation und des operativen Ansatzes auf den PedsQLTM4.0-Score und konnten keinen statistisch signifikanten Unterschied nachweisen, passend zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit.

Um klinisch relevante Unterschiede abseits statistischer Signifikanz darzustellen, bietet sich eine Untersuchung des MCID an (de Vet et al., 2014; Jaeschke et al., 1989). Dabei handelt es sich um die kleinste Änderung in einem interessierenden Score, die Patienten als vorteilhaft empfinden und die, ohne störende Nebenwirkungen oder übermäßige Kosten, einen Wechsel des Patientenmanagements veranlassen würde (Jaeschke et al., 1989). In der Literatur wird der MCID für den eigenanamnestischen PedsQL™4.0-Fragebogen mit 4,4 angegeben (Varni et al., 2003). Die Differenzen der medianen PedsQL™4.0-Scores der vorliegenden Arbeit sind zwischen den verschiedenen Verletzungsgruppen jeweils kleiner als 4,4 ($\leq 3,80$, s. Tabelle 5, S. 31). Dies gilt auch für die Gruppen mit und ohne Komplikationen (Differenz = 3,26). Die Differenz zwischen konservativer Behandlung und geschlossener Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese liegt mit 4,34 knapp unterhalb des MCID von 4,4. In der vorliegenden Arbeit hat der MCID somit auch für die Behandlung keine wesentliche Bedeutung (eine Ausnahme bildet bei fraglicher Relevanz der Fall, der als Revision gewertet wurde).

Um die Bewegungsumfänge auf (Un-)Abhängigkeit von Gartland-Wilkins-Stadium, Therapie und Komplikationen zu untersuchen, wurden neue kategoriale Variablen definiert. Aus den nachfolgend genannten Gründen wurden dafür 10° Unterschied im Seitenvergleich festgelegt. Chapleau et al. (2011) verglichen in einer Studie an 51 gesunden Probanden die goniometrische Messung der Ellenbogenbewegung mit dem Goldstandard der radiologischen Bestimmung. Für das Goniometer berechneten sie einen maximalen Fehler von 10° (Chapleau et al., 2011). In den häufig in der Literatur zitierten Flynn-Kriterien (s. o.) werden Bewegungseinschränkungen nach PSCHF bis zu 10° als gut ($5-10^\circ$) bzw. exzellent ($0-5^\circ$) eingeschätzt, größere Abweichungen gelten als befriedigend ($10-15^\circ$) bzw. mangelhaft ($>15^\circ$; Flynn et al., 1974). Beugedefizite über 10° korrelieren mit einem subjektiv schlechteren funktionellen Outcome (Tuomilehto et al., 2018). Korhonen et al. (2019) ziehen in ihrer Arbeit zur Messmethodik der Bewegungsumfänge nach PSCHF den Schluss, dass Veränderungen $>10^\circ$ mit Funktionseinschränkungen einhergehen und kleinere Unterschiede vermutlich klinisch unbedeutend sind.

Durch die Kategorisierung in „Streck-/Beugedefizite von 10° oder nicht“ sind folgende Besonderheiten zu beachten: Ein Patient wies im Seitenvergleich nur einen Unterschied von +5° im Bewegungsumfang auf. Er hatte jedoch ein Beugedefizit von 10°, das durch eine Überstreckbarkeit von 15° quasi verborgen wurde. Dieser Patient wurde entsprechend mit einem Streck-/Beugedefizit von 10° erfasst. Ein anderer Patient wies ein Streck- und ein Beugedefizit von jeweils nur 5° auf. Da zusammengenommen ein Defizit von 10° entsteht, wurde er ebenfalls mitgezählt. Dies war zudem der einzige Fall, bei dem ein Streckdefizit auftrat. Alle weiteren Patienten, die eingeschlossen wurden, hatten ein Beugedefizit. Zwei weitere Patienten mit auffälligen Bewegungsunterschieden wurden durch die Kategorisierung nicht erfasst: Einer wies im Seitenvergleich einen Unterschied von 10° auf, der allerdings durch eine Zunahme der Beugefähigkeit auf der verletzten Seite zustande kam. Der andere wies eine isolierte Überstreckbarkeit von 10° auf.

Unter Anwendung des exakten Tests nach Fisher konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede der Bewegungsumfänge (Streck-/Beugedefizit bzw. Asymmetrie der Umwendbewegungen von 10°) zwischen den Fraktur- und Therapiegruppen sowie den Gruppen mit und ohne Komplikationen festgestellt werden. Die intuitive Annahme, schwerere Verletzungen im Sinne höherer Gartland-Wilkins-Stadien würden häufiger zu Bewegungseinschränkungen führen, kann durch die vorliegende Auswertung nicht unterstützt werden. Die Ergebnisse passen zu einer finnischen Outcome-Studie: Tuomilehto et al. (2018) werteten 168 Fragebögen von Patienten mit vorausgegangenem PSCHF aus und 28% berichteten von einer Asymmetrie der Streck- und Beugebewegungen im Seitenvergleich. Es konnte kein Einfluss des Frakturtyps festgestellt werden (Tuomilehto et al., 2018). Eine andere Arbeit lieferte hingegen statistisch signifikante Ergebnisse: Im Seitenvergleich konnte nach Typ-II- und Typ-III-Frakturen eine verminderte durchschnittliche Beugefähigkeit festgestellt werden, jedoch nicht nach Typ-I-Frakturen (Sinikumpu et al., 2016). In der vorliegenden Arbeit lag der Anteil an nachuntersuchten Patienten mit einem Streck-/Beugedefizit von 10° insgesamt bei gut einem Drittel (acht von 23). Sinikumpu et al. (2016) stellten Bewegungseinschränkungen >10° bei knapp einem Viertel fest, diese

seien jedoch im Hinblick auf Alltagsaktivitäten akzeptabel bei einem Gesamtumfang von jeweils $>100^\circ$. Diese Aussage zum Gesamtumfang kann auch für die Patienten der vorliegenden Studie getroffen werden.

Hadlow et al. (1996) untersuchten das Outcome nach PSCHF anhand der Flynn-Kriterien, die vom Kubitalwinkel des Ellenbogens und dem Bewegungsumfang abhängen (s. o.; Flynn et al., 1974). Bei der Untersuchung der verschiedenen Behandlungsgruppen (perkutane Kirschner-Drähte vs. geschlossene Reposition bzw. Olecranontraktion) konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden (Hadlow et al., 1996). Tomori et al. (2018) analysierten die Bewegungsumfänge nach Gartland-Typ-II- und -III-Frakturen in Abhängigkeit zweier verschiedener operativer Ansätze (geschlossene vs. „mini“-offene Reposition, jeweils mit perkutaner Spickdrahtosteosynthese) und fanden ebenfalls keinen statistisch signifikanten Unterschied. Beide Arbeiten passen somit zu den Ergebnissen der vorliegenden Ausarbeitung, nach denen die Bewegungsumfänge unabhängig von der Behandlung sind.

In einer spanischen Studie wurden 16 Patienten mit vorausgegangenen PSCHF und assoziierten neurologischen Verletzungen zu einer Nachuntersuchung eingeladen: im Seitenvergleich fiel eine signifikant verminderte Beugefähigkeit des verletzten Ellenbogens auf (Valencia et al., 2015). In der vorliegenden Arbeit konnte kein signifikanter Unterschied der Streck-/Beugedefizite zwischen den Gruppen mit und ohne Komplikationen ermittelt werden. Ein Vergleich mit dieser Arbeit ist erschwert, da in der spanischen Studie die Bewegungsumfänge nicht mit Patienten ohne Komplikationen verglichen wurden (Valencia et al., 2015).

Bei der Ursachensuche eines möglicherweise reduzierten Outcomes ist zu beachten, dass Korrelation nicht mit Kausalität gleichgesetzt werden sollte (Gianicolo et al., 2020). Eine Rolle spielen dabei Confounder: diese dritte Variable korreliert ggf. sowohl mit Exposition als auch mit Outcome und kann beide beeinflussen, was wiederum zu verzerrten Ergebnissen führen kann (Hammer et al., 2009; Johnson, 2014). Im weitesten Sinne könnte man hierzu auch das individuelle Risikoverhalten zählen, welches ursächlich zu Frakturen beitragen

kann (Mathison und Agrawal, 2010). Durch ebenjenes Verhalten ist auch eine verzögerte bzw. gestörte Heilung im Verlauf denkbar.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten keine statistisch signifikanten Ergebnisse ermittelt werden. Folglich sind die in Kapitel 2.4 formulierten Nullhypothesen beizubehalten (s. S. 16 f.). Ausgehend von dieser Studie kann gesagt werden, dass das überwiegend gute Outcome nach PSCHF unabhängig von der Frakturschwere im Sinne der Gartland-Wilkins-Klassifikation, der Behandlung und den Komplikationen ist.

4.4 Kontext

Beim Umgang mit kindlichen Frakturen gilt es, einige Besonderheiten zu beachten:

- Bei Heranwachsenden haben Röhrenknochen wie der Humerus noch offene Epiphysenfugen, die erst mit Abschluss des Wachstums verknöchern (von Laer, 2016).
- Während der Wachstumsphase des Knochens führen Frakturen in der Regel zur Stimulation der umliegenden Fugen und folglich zum gesteigerten Längenwachstum (von Laer, 2016).
- Ein verfrühter Epiphysenschluss resultiert in einem Wachstumsdefizit, ggf. mit zusätzlicher Achsabweichung bei teilweisem Verschluss (von Laer, 2016).
- Eine Konsolidierung in Fehlstellung oder avaskuläre Nekrosen verursachen u. U. ebenfalls Achsenfehler (Oh et al., 2000; Omid et al., 2008).
- Kindliche Knochen weisen eine gewisse Plastizität auf und sind gleichzeitig weniger stabil als im Erwachsenenalter, teilweise kommt es zu inkompletten Brüchen wie der Grünholzfraktur (Kraus und Wessel, 2010; Seebach, 2016; von Laer, 2016).
- Frakturen heilen bei Heranwachsenden schneller als im fortgeschrittenen Alter (Kraus und Wessel, 2010).

- Das infantile Skelett besitzt ein gewisses Potential zu Spontankorrekturen, sodass selbst Achsenfehlstellungen während des Wachstums ausgeglichen werden können, insbesondere bei langer Beteiligung der Fuge an der Entwicklung (Kraus und Wessel, 2010; von Laer, 2016).

Unter diesen Voraussetzungen könnte man meinen, dass die Kindertraumatologie eine sehr dankbare Disziplin ist. Dies gilt aber nur bedingt für PSCHF. Durch eine Wachstumsprognose können bei dislozierten Brüchen Aussagen zur Potenz einer Spontankorrektur und zu drohenden Wachstumsdefiziten getroffen werden: an der oberen Extremität machen die proximalen und distalen Wachstumszentren den Großteil des Wachstums aus, entsprechend umfangreich ist hier das Remodeling-Potential (Kraus und Wessel, 2010; Wilkins, 2005). Bis zur Skelettreife beträgt das ungefähre Wachstum des Humerus ab einem Alter von sieben Jahren bei Mädchen 1,2 cm und bei Jungen 1,3 cm pro Jahr (Pritchett, 1988). Der distale Teil ist dabei nur für 20% des gesamten Humeruswachstums verantwortlich, folglich ist hier das Remodeling-Potential sehr gering (von Laer, 2016; Omid et al., 2008).

In dieser Arbeit wurde bereits mehrfach die Kontroverse um die korrekte Behandlung der Typ-II-Frakturen erwähnt, deren optimale Therapie sich zum aktuellen Trend in Richtung operativer Versorgung entwickelt hat (Omid et al., 2008). 1996 noch schlussfolgerten Hadlow et al. aus ihrer oben zitierten Arbeit zu PSCHF, dass eine initiale operative Therapie für die Mehrheit der Patienten mit Typ-II-Frakturen überflüssig gewesen wäre, da bei ihnen durch Ruhigstellung nach geschlossener Reposition ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt worden war. Dennoch war bei knapp einem Viertel der primär geschlossen reponierten und konservativ versorgten Typ-II-Frakturen eine Sekundärbehandlung nötig (Hadlow et al., 1996). Kleinkinder, die jünger als drei Jahre alt sind, haben noch ein gewisses Remodeling-Potential, sodass Typ-II-Frakturen bei ihnen unter bestimmten Voraussetzungen konservativ versorgt werden könnten; ältere Kinder haben hingegen nur noch ein begrenztes Längenwachstum zur Verfügung, weshalb eine adäquate Reposition hier zur Vermeidung einer Fehlheilung von essenzieller Bedeutung ist (Omid et al., 2008). Fernandez und

Eberhardt (2012) rechnen in Bezug auf Typ-II-Frakturen bis zu einem Alter von sechs bis sieben Jahren mit einer spontanen Verbesserung, wenn das distale Frakturfragment in der sagittalen Ebene in Fehlstellung belassen wird.

Abzug und Herman (2012) versorgen Typ-II-Frakturen in ihren Einrichtungen bevorzugt mit geschlossener Reposition und Spickdrahtosteosynthese. Dies begründen sie vor allem mit Sorgen, dass eine adäquate Reposition mit Gips bzw. Schiene nicht gehalten werden kann, außerdem mit Bedenken bezüglich der Einhaltung von Empfehlungen zur Nachsorge durch die Patienten sowie dem Unvermögen, Typ-IIA- von Typ-IIB-Frakturen zu unterscheiden (Abzug und Herman, 2012). Eine geschlossene Reposition mit Gipsruhigstellung sei Patienten mit minimaler Schwellung und hinterer Dislokation ohne radiologisch nachweisbare Rotation oder Translation vorbehalten (Abzug und Herman, 2012).

Von den neun Patienten mit einer Typ-IIA-Fraktur der vorliegenden Arbeit wurden sieben operativ versorgt. Bei sechs wurden keine Komplikationen im klinischen Verlauf dokumentiert, einer erlitt posttherapeutisch sensible und motorische Ausfälle des Nervus ulnaris. Vier Patienten standen für ein Telefoninterview bzw. eine Nachuntersuchung zur Verfügung. Einer von ihnen beklagte Schmerzen im Alltag und bei starker Belastung und wies ein Beugedefizit von 10° auf. Bei einem QuickDASH-Wert von 18,18 und einer Auswertung des Sport- und Musik-Moduls von 12,50 ist bei diesem Patienten mit leichten Einschränkungen zu rechnen und der PedsQLTM4.0-Score von 79,35 deutet eine reduzierte HRQoL an. Bei den anderen drei Patienten ist bei Werten des QuickDASH-Fragebogens und des Sport- und Musik-Moduls von jeweils 0,00 von keinen Einschränkungen auszugehen, auch der PedsQLTM4.0-Score von jeweils um die 95 spricht für eine sehr gute HRQoL. Die beiden konservativ behandelten Patienten mit Typ-IIA-Frakturen wiesen im klinischen Verlauf keine Komplikationen auf. Von ihnen ist kein Follow-Up im Rahmen einer Studienteilnahme verfügbar. Bezugnehmend auf die Diskussion um das richtige Management der Typ-II-Frakturen kann auf Grundlage der vorliegenden Arbeit keine klare Aussage getroffen werden. Konservativ behandelte Patienten mit Typ-IIA-Frakturen hatten keine Komplikationen, Outcome und Lebensqualität sind jedoch unklar. Bei den operativ versorgten Patienten kam es in einem Fall zu

Komplikationen. Outcome und Lebensqualität sind bis auf eine Ausnahme sehr gut.

Bei der Abwägung zwischen konservativer und operativer Therapie ist zu beachten, dass eine Reposition immer in Narkose erfolgen sollte (Fernandez und Eberhardt, 2012; Kraus und Wessel, 2010) und somit die Risiken einer Anästhesie bei beiden Verfahren im Raum stehen, falls vor der Ruhigstellung eine Reposition durchgeführt wird. Bei einer operativen Behandlung kommen jedoch noch einige spezifische Risiken hinzu, beispielsweise Infektionen der Pin-Eintrittsstellen (Skaggs et al., 2008). Die Relevanz der richtigen Therapie wird auch aus den Konsequenzen einer Fehlentscheidung klar, was nochmals betont, dass die Therapiewahl immer individuell und sorgfältig getroffen werden sollte. Klagen in Bezug auf die Therapie pädiatrischer Frakturen erhalten außergewöhnlich häufig Zuspruch, unter anderem im Falle einer konservativen bzw. operativen Therapie, die nicht an den Frakturtyp angepasst war (Kraus und Wessel, 2010).

Eine weitere Kontroverse um die Therapie der PSCHF betrifft die korrekte Pin-Platzierung: Üblicherweise wurde die gekreuzte Spickdrahtosteosynthese verwendet, um SCHF nach der Reposition zu stabilisieren (Abzug und Herman, 2012). Dabei wird ein Draht am lateralen Kondylus und einer am medialen Kondylus eingebracht; dieses Vorgehen bietet in axialen Rotationstests die größte Stabilität (Lee et al., 2002). In einem biomechanischen Vergleich an einem synthetischen Modell eines pädiatrischen Oberarmknochens untersuchten Lee et al. (2002) die Stabilität parallel lateralseitig, gegenläufig lateralseitig und gekreuzt eingebrachter Kirschner-Drähte. Dazu simulierten sie eine typische SCHF vom Extensionstyp. Am lateralen Kondylus eingebrachte Pins in gegenläufiger Orientierung boten dabei in jeder Testsituation eine höhere Stabilität als parallel verlaufende Drähte. Dies erklären sich die Autoren damit, dass ein größerer Abstand der beiden Pins an der Frakturstelle die Stabilität der Fixierung erhöht. Bei der Testung von Extension sowie bei Varus- und Valgus-Belastung boten die gegenläufig lateral eingebrachten Pins eine vergleichbare oder sogar größere Stabilität als gekreuzte Spickdrähte (Lee et al., 2002).

Die Frage nach der korrekten Pin-Platzierung stellten sich auch Skaggs et al. (2001) in einer retrospektiven Untersuchung von 345 PSCHF vom Extensions-
typ, die mit Kirschner-Drähten versorgt wurden. Bei der Auswertung von 281
vorhandenen Röntgenaufnahmen konnten sie hinsichtlich des Erhalts der
Reposition keinen Unterschied zwischen gekreuzt und von lateral fixierten
Spickdrähten ermitteln. Dafür erlitten 7,7% der Patienten, die mit gekreuzten K-
Drähten versorgt wurden, eine Verletzung des Nervus ulnaris, wohingegen kei-
ner der 125 Patienten mit von lateral fixierten Pins einen Ulnarisschaden auf-
wies; des Weiteren stellten sie fest, dass die Hyperflexion des Ellenbogens
während der Pin-Platzierung das Risiko einer Ulnarisläsion erhöht (Skaggs et
al., 2001). In einem systematischen Review analysierten Brauer et al. (2007)
die Daten aus 35 Studien. Das Verletzungsrisiko des Nervus ulnaris war bei ge-
kreuzter Spickdrahtosteosynthese um den Faktor 5,04 höher als bei einer von
lateral kommenden Fixierung; die gekreuzte Osteosynthese schien dafür stabi-
ler, denn die Wahrscheinlichkeit einer Fehlstellung oder eines Repositionsver-
lustes war um den Faktor 0,58 geringer als bei einer ausschließlich von lateral
kommenden (Brauer et al., 2007).

Auch bei den Patienten der vorliegenden Arbeit können posttherapeutische De-
fizite des Nervus ulnaris mit einer medialen Pin-Platzierung im Rahmen der ge-
kreuzten Spickdrahtosteosynthese in Zusammenhang gebracht werden (s.
Kapitel 4.3.3, S. 45 ff.). In einem Fall kann allerdings ein Zusammenhang eines
posttherapeutischen Defizits des Nervus medianus mit einer lateralen Pin-
Platzierung genauso wenig ausgeschlossen werden. Denn laut oben zitierter
Metaanalyse von Babal et al. (2010) ist das Risiko von Verletzungen des Ner-
vus medianus bei der lateralen Pin-Platzierung erhöht verglichen mit der media-
len. Ebenso bestand im Review von Brauer et al. (2007) bei einer unilateralen
Spickdrahtosteosynthese von lateral ein zweiprozentiges Risiko für Nerven-
schäden, einschließlich Nervus medianus und Nervus radialis. Die Autoren se-
hen mögliche Ursachen hierfür in der Reposition, aber auch in Pins, die den
Knochenkortex gegenüber der Eintrittsstelle zu weit durchdringen (Brauer et al.,
2007).

In Zusammenschau der zitierten Arbeiten steht bei der Frage nach der richtigen Pin-Platzierung eine Abwägung zwischen biomechanischer Stabilität und dem Risiko iatrogenen Nervenschäden im Vordergrund. Auf Grundlage der vorliegenden Studie kann keine klare Empfehlung zur korrekten Pin-Platzierung abgegeben werden. Alle operativ versorgten Patienten dieser Arbeit wurden mit gekreuzten Spickdrähten versorgt. Assoziationen zu Nervenschäden können mit medialen *und* lateralen Pins hergestellt werden.

4.5 Limitationen, Stärken und Ausblick

Im Folgenden sollen die Limitationen und Stärken der vorliegenden Arbeit zusammengefasst sowie die weitere Forschung diskutiert werden. Zu den Stärken zählt das lange Follow-Up mit einem Median von 3,2 Jahren für die gesamte Population (n = 51) bzw. 3,9 Jahren für die Teilnehmer, die für eine Erhebung des Outcomes zur Verfügung standen (n = 37). Dass von acht der primär eingeschlossenen Patienten mangels Erreichbarkeit bzw. aktueller Kontaktmöglichkeit keine Erhebung des Outcomes möglich war, stellt sich wiederum als limitierender Faktor dar. Von 72,5% konnte das Outcome eingeholt werden, was als Stärke gesehen werden kann. Im Gegensatz zum PedsQL™4.0- und QuickDASH-Fragebogen wirkt der selbst entwickelte Fragebogen bei der Datenerhebung insofern limitierend, als dass er nicht validiert wurde. Dies wird dadurch relativiert, als dass er lediglich als Grundlage für Telefoninterview und Nachuntersuchung diente und somit eine einheitliche Abfrage möglicher Hinweise auf Komplikationen ermöglichte. Die Verwendung der PedsQL™4.0- und QuickDASH-Fragebögen sowie die Messung der Bewegungsumfänge präsentieren sich als Stärke, denn dadurch wurde ein Vergleich mit der Literatur erleichtert.

Eine weitere Stärke dieser Arbeit ist die deskriptive Analyse eines Kollektivs von zum Unfallzeitpunkt zwischen drei und 13 Jahre alten Patienten mit PSCHF verschiedener Gartland-Wilkins-Stadien, die unterschiedlich behandelt wurden, denn Frakturen der oberen Extremität sind häufig in der Kindertraumatologie (Merckaert et al., 2020). Die Ergebnisse könnten auf ähnliche Institutionen wie

die BGU übertragen werden. Um eine höhere externe Validität und damit bessere Repräsentativität für die Allgemeinbevölkerung zu erreichen, wäre es möglich, eine vergleichbare Studie multizentrisch durchzuführen (Röhrig et al., 2009) unter Einbezug niedergelassener Kollegen, die unkomplizierte Fälle ggf. ohne Vorstellung in einer Klinik behandeln. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen konnten nicht gefunden werden. Limitierend könnte hier die Fallzahl gewesen sein. Falls doch geringe Unterschiede vorhanden sein sollten, könnten diese unter Umständen mit einer größeren Fallzahl aufgedeckt werden, was wiederum einen finanziellen und personellen Mehraufwand bedeuten würde und wodurch mehr Teilnehmer potenziell belastet würden (Röhrig et al., 2009).

Bei der Beurteilung des Outcomes anhand der PedsQLTM4.0-Scores sowie den Auswertungen der QuickDASH-Fragebögen mit Sport- und Musik-Modulen kann der beobachtete Deckeneffekt limitierend wirken. Dieser wurde auch in ähnlich gelagerten Arbeiten zum Outcome nach PSCHF beschrieben (Eguia et al., 2020; Liebs et al., 2020). Sieht man dies als Problem, sollten bei vergleichbaren Studienansätzen in Zukunft dessen Ursachen genauer untersucht und Strategien zur Vermeidung entwickelt werden.

Mit den vorhandenen Daten ist eine eindeutige Beantwortung der beiden großen Kontroversen bzgl. der korrekten Therapie von Typ-II-Frakturen und der optimalen Pin-Platzierung bei PSCHF nicht möglich. Die vorliegende Arbeit zielte vielmehr darauf ab, Outcome und HRQoL nach PSCHF zu beschreiben sowie mögliche Einflussgrößen zu untersuchen. Um auf der Suche nach der besten Therapie der Typ-II-Frakturen und der korrekten Pin-Platzierung das Outcome abhängig von der Behandlung bestmöglich zu beurteilen, würde sich eine RCT als Goldstandard anbieten (Lange et al., 2017). Die randomisierte Zuteilung eines Patienten zu einer festgelegten Therapie wirft jedoch ethische Bedenken auf: Der behandelnde Arzt kann einem individuellen Patienten dann nicht mehr die seiner professionellen klinischen Beurteilung nach ideale Behandlung zukommen lassen (Royall, 1991). Die Entscheidung zu einer OP sowie die Wahl des geeignetsten Prozederes sollten auf Grundlage einer korrekten radiologischen Untersuchung erfolgen, bei missglückter Reposition

sollte ein anderes Verfahren vorgezogen werden; verbliebene Rotationsfehler beispielsweise können zum Osteosyntheseversagen und zu Fehlstellungen führen (Slongo, 2018). Heranwachsende, die ihr ganzes Leben vor sich haben, könnten somit durch eine nicht-individuelle Therapieentscheidung lebenslange Konsequenzen erleiden.

4.6 Schlussfolgerung

Anhand der vorliegenden Kohorte kann man in der Mehrzahl der Fälle nach PSCHF eine ausgezeichnete HRQoL erwarten. In der Regel resultieren keine anhaltenden Beschwerden oder wesentlichen Alltagseinschränkungen gemessen an HRQoL (PedsQL™4.0), funktionellem Ergebnis (QuickDASH, Sport-/Musik-Modul) und verbliebenen Bewegungseinschränkungen. Signifikante Unterschiede der Fraktur- und Therapiegruppen sowie in Abhängigkeit aufgetretener Komplikationen konnten im Rahmen der statistischen Tests nicht gefunden werden.

5. Zusammenfassung

Das Outcome heranwachsender Patienten, die unter Umständen zeitlebens von Einschränkungen durch Frakturen und deren Behandlung betroffen sind, ist von besonderem Interesse. In dieser Arbeit wurde retrospektiv das Outcome nach pädiatrischen suprakondylären Humerusfrakturen (PSCHF) anhand der etablierten QuickDASH- und PedsQL™4.0-Fragebögen sowie in Form verbliebener Bewegungseinschränkungen untersucht. Die Ergebnisse wurden anschließend in Abhängigkeit der international gebräuchlichen Gartland-Wilkins-Klassifikation im Sinne der Frakturschwere, der Therapie (Invasivität) wie auch aufgetretener Komplikationen betrachtet.

Von den 51 in die Studie eingeschlossenen Patienten konnte in 37 Fällen bei einem medianen Follow-Up von 3,9 Jahren das Outcome erhoben werden. Entweder wurden sie persönlich nachuntersucht, ein Telefoninterview geführt oder ein schriftlicher Fragebogen beantwortet. Die Patientencharakteristika wurden statistisch ausgewertet: 58,8% waren männlich, 41,2% weiblich. In 31,4% war der rechte, in 68,6% der linke Arm betroffen. Die Patienten waren zum Unfallzeitpunkt zwischen 3 und 13 Jahre alt.

Nach Gartland und Wilkins ließen sich 2 Frakturen dem Typ I zuordnen (undisloziert mit rundum intaktem Periost), 9 dem Typ IIA (teilweise disloziert mit posteriorem kortikalem Kontakt ohne Rotations-Fehlstellung), 14 dem Typ IIB (mit Malrotation), 21 dem Typ III (vollständig disloziert ohne kortikalen Kontakt) und 4 waren nicht klassifizierbar. In 5 Fällen erfolgte eine konservative Therapie mittels Ruhigstellung, bei 23 Patienten fand eine geschlossene und bei 22 eine offene Reposition mit gekreuzter Spickdrahtosteosynthese statt (ein Patient war extern voroperiert und wurde als Revision gewertet). Bei 25,5% traten Komplikationen auf, welche in prä-/posttherapeutisches neurologisches Defizit, Infektion/Wundheilungsstörung, Osteosyntheseversagen und Revision unterteilt wurden.

Im Median zeigte sich bei den persönlich nachuntersuchten Patienten kein Unterschied der Bewegungsumfänge beider Arme, aufgetretene Abweichungen wurden als klinisch unbedeutend gewertet. Den guten Ergebnissen des Quick-DASH-Fragebogens zufolge ist ein Großteil der persönlich/telefonisch untersuchten Patienten nicht bzw. gering eingeschränkt bei Alltagsaktivitäten. Anhand der positiven PedsQL™4.0-Scores kann von einer ausgezeichneten gesundheitsbezogenen Lebensqualität (HRQoL) der vorliegenden Kohorte ausgegangen werden. Statistisch signifikante Unterschiede der Fraktur- und Therapiegruppen sowie in Abhängigkeit aufgetretener Komplikationen konnten nicht ermittelt werden. Abseits statistischer Tests wurden die genannten Gruppen anhand des in der Literatur verwendeten minimalen klinisch bedeutsamen Unterschieds (MCID) miteinander verglichen. Es konnte kein klinisch relevanter Unterschied festgestellt werden.

In der Literatur wird kontrovers über die korrekte Behandlung der Typ-II-Frakturen und die korrekte Pin-Platzierung als Abwägung zwischen biomechanischer Stabilität und dem Risiko iatrogenen Nervenschäden diskutiert. Mit den gewonnenen Daten der vorliegenden Arbeit war eine eindeutige Beantwortung dieser Kontroversen nicht möglich. Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich mit der vorhandenen Literatur in einen Kontext setzen.

Schlussfolgernd kann man nach PSCHF in den meisten Fällen eine hervorragende HRQoL erwarten, ohne anhaltende Beschwerden oder wesentliche Alltagseinschränkungen gemessen an den verwendeten Outcome-Parametern.

Für eine höhere Repräsentativität der Gesamtbevölkerung sind in Zukunft multizentrische Studien unter Einbezug niedergelassener Kollegen mit größerer Fallzahl interessant. Zudem können randomisierte kontrollierte Studien zur Klärung der genannten Kontroversen diskutiert werden.

6. Literaturverzeichnis

- Abzug, J. M., Herman, M. J. (2012). Management of supracondylar humerus fractures in children: current concepts. *J Am Acad Orthop Surg*, 20(2), 69-77.
doi: 10.5435/jaaos-20-02-069
- Alderfer, M.A., Marsac, M.L. (2013). Pediatric Quality of Life Inventory (PedsQL). pp 1448-1449. In: Gellman, M.D., Turner, J.R. (eds) *Encyclopedia of Behavioral Medicine*. Springer, New York, USA.
doi: 10.1007/978-1-4419-1005-9_974
- Babal, J. C., Mehlman, C. T., Klein, G. (2010). Nerve injuries associated with pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis. *J Pediatr Orthop*, 30(3), 253-263.
doi: 10.1097/BPO.0b013e3181d213a6
- Barton, K. L., Kaminsky, C. K., Green, D. W., Shean, C. J., Kautz, S. M., Skaggs, D. L. (2001). Reliability of a modified Gartland classification of supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop*, 21(1), 27-30.
doi: 10.1097/00004694-200101000-00007
- Bashyal, R. K., Chu, J. Y., Schoenecker, P. L., Dobbs, M. B., Luhmann, S. J., Gordon, J. E. (2009). Complications after pinning of supracondylar distal humerus fractures. *J Pediatr Orthop*, 29(7), 704-708.
doi: 10.1097/BPO.0b013e3181b768ac
- Beaton, D. E., Wright, J. G., Katz, J. N., Upper Extremity Collaborative Group (2005). Development of the QuickDASH: comparison of three item-reduction approaches. *JBJS*, 87(5). 1038–1046.
doi: 10.2106/JBJS.D.02060
- Bender, R., Lange, S., Ziegler, A. (2007). Wichtige Signifikanztests. *Dtsch Med Wochenschr*, 132(S01), 24-25.
doi: 10.1055/s-2007-959034
- BG Kliniken – Klinikverbund der gesetzlichen Unfallversicherung gGmbH (ohne Datum). BG Klinik Tübingen: Unfall- und Wiederherstellungschirurgie. © BG Kliniken Ludwigshafen und Tübingen gGmbH, Ludwigshafen, Tübingen, Germany [Internet, Zugriff 22.12.2021].
<https://www.bg-kliniken.de/klinik-tuebingen/fachbereiche/detail/unfall-und-wiederherstellungschirurgie/>
- Bot, S. D. M., Terwee, C. B., van der Windt, D. A. W. M., Bouter, L. M., Dekker, J., de Vet, H. C. W. (2004). Clinimetric evaluation of shoulder disability questionnaires: a systematic review of the literature. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 63(4), 335-341.
doi: 10.1136/ard.2003.007724
- Brauer, C. A., Lee, B. M., Bae, D. S., Waters, P. M., Kocher, M. S. (2007). A systematic review of medial and lateral entry pinning versus lateral entry pinning for supracondylar fractures of the humerus. *J Pediatr Orthop*, 27(2), 181-186.
doi: 10.1097/bpo.0b013e3180316cf1
- Brown, I. C., Zinar, D. M. (1995). Traumatic and iatrogenic neurological complications after supracondylar humerus fractures in children. *J*

- Pediatr Orthop*, 15(4), 440-443.
doi: 10.1097/01241398-199507000-00005
- Carter, T. I., Pansy, B., Wolff, A. L., Hillstrom, H. J., Backus, S. I., Lenhoff, M., Wolfe, S. W. (2009). Accuracy and reliability of three different techniques for manual goniometry for wrist motion: a cadaveric study. *J Hand Surg Am*, 34(8), 1422-1428.
doi: 10.1016/j.jhsa.2009.06.002
- Chapleau, J., Canet, F., Petit, Y., Laflamme, G. Y., Rouleau, D. M. (2011). Validity of Goniometric Elbow Measurements: Comparative Study with a Radiographic Method. *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, 469(11), 3134-3140.
doi: 10.1007/s11999-011-1986-8
- Cheng, J. C., Lam, T. P., Maffulli, N. (2001). Epidemiological features of supracondylar fractures of the humerus in Chinese children. *J Pediatr Orthop B*, 10(1), 63-67.
doi: 10.1097/00009957-200101000-00011
- Cheng, J. C., Shen, W. Y. (1993). Limb fracture pattern in different pediatric age groups: a study of 3,350 children. *J Orthop Trauma*, 7(1), 15-22.
doi: 10.1097/00005131-199302000-00004
- Colaris, J., van der Linden, M., Selles, R., Coene, N., Allema, J. H., Verhaar, J. (2010). Pronation and supination after forearm fractures in children: Reliability of visual estimation and conventional goniometry measurement. *Injury*, 41(6), 643-646.
doi: 10.1016/j.injury.2010.02.007
- de Vet, H. C. W., Mokkink, L. B., Terwee, C. B. (2014). Minimal Clinically Important Difference (MCID). pp. 4071-4072. In: Michalos, A. C. (ed), *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
doi: 10.1007/978-94-007-0753-5_1812
- Eckes, T. (2005). Evaluation von Beurteilungen. *Zeitschrift für Psychologie / Journal of Psychology*, 213(2), 77-96.
doi: 10.1026/0044-3409.213.2.77
- Eguia, F. A., Gottlich, C. P., Vora, M., Klyce, W., Hassan, S., Sponseller, P. D., Lee, R. J. (2020). Radiographic assessments of pediatric supracondylar fractures and mid-term patient-reported outcomes. *Medicine*, 99(41), e22543.
doi: 10.1097/md.00000000000022543
- Engelen, V., Haentjens, M. M., Detmar, S. B., Koopman, H. M., Grootenhuis, M. A. (2009). Health related quality of life of Dutch children: psychometric properties of the PedsQL in the Netherlands. *BMC Pediatrics*, 9, 68-68.
doi: 10.1186/1471-2431-9-68
- Ernat, J., Ho, C., Wimberly, R. L., Jo, C., Riccio, A. I. (2017). Fracture Classification Does Not Predict Functional Outcomes in Supracondylar Humerus Fractures: A Prospective Study. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 37(4), e233-e237.
doi: 10.1097/bpo.0000000000000889
- Ernat, J. J., Wimberly, R. L., Ho, C. A., Riccio, A. I. (2020). Vascular examination predicts functional outcomes in supracondylar humerus

- fractures: a prospective study. *Journal of Children's Orthopaedics*, 14(6), 495-501.
doi: 10.1302/1863-2548.14.200130
- Farnsworth, C. L., Silva, P. D., Mubarak, S. J. (1998). Etiology of Supracondylar Humerus Fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 18(1), 38-42.
- Fernandez, F. F., Eberhardt, O. (2012). Suprakondyläre Humerusfraktur bei Kindern. *Trauma und Berufskrankheit*, 14(3), 379-384.
doi: 10.1007/s10039-012-1848-y
- Flynn, J. C., Matthews, J. G., Benoit, R. L. (1974). Blind pinning of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. Sixteen years' experience with long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am*, 56(2), 263-272.
- Flynn, J. M., Skaggs, D. L. (2010). Supracondylar fractures of the distal humerus. pp. 487-532. In: Beaty, J. H., Kasser, J. R. (eds), *Rockwood and Wilkins' fractures in children (Vol. 7. ed.)*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA.
- Frank, J. (2016). Nervenverletzungen. pp. 83-87. In: Marzi, I. (ed), *Kindertraumatologie*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
doi: 10.1007/978-3-642-44997-0_8
- Furnival, R. A., Woodward, G. A., Schunk, J. E. (1996). Delayed diagnosis of injury in pediatric trauma. *Pediatrics*, 98(1), 56-62.
- Garin, O. (2014). Ceiling Effect. pp. 631-633. In: A. C. Michalos, A. C. (ed), *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
doi: 10.1007/978-94-007-0753-5_296
- Gartland, J. J. (1959). Management of supracondylar fractures of the humerus in children. *Surg Gynecol Obstet*, 109(2), 145-154.
- Gercek, E., Nusselt, T., Rothenbach, E., Hartmann, F. (2015). Suprakondyläre Humerusfrakturen im Wachstumsalter. *Trauma und Berufskrankheit*, 17(2), 260-264.
doi: 10.1007/s10039-015-0057-x
- Germann, G., Harth, A., Wind, G., Demir, E. (2003). Standardisation and validation of the German version 2.0 of the Disability of Arm, Shoulder, Hand (DASH) questionnaire. *Unfallchirurg*, 106(1), 13-19.
doi: 10.1007/s00113-002-0456-x
- Germann, G., Harth, A., Wind, G., Demir, E. (2006). The QuickDASH Outcome Measure (Deutsche Version). © Institute for Work & Health, Toronto, Canada [Internet, Zugriff 12.12.2020].
http://www.dash.iwh.on.ca/sites/dash/public/translations/QuickDASH_German_2015.pdf
- Gianicolo, E. A. L., Eichler, M., Muensterer, O., Strauch, K., Blettner, M. (2020). Methoden zur Bewertung der Kausalität in Beobachtungsstudien. *Dtsch Arztebl International*, 117(7), 101-107.
doi: 10.3238/arztebl.2020.0101
- Goodwin, J., Clark, C., Deakes, J., Burdon, D., Lawrence, C. (1992). Clinical methods of goniometry: a comparative study. *Disabil Rehabil*, 14(1), 10-15.
doi: 10.3109/09638289209166420

- Goswami, G. K. (2002). The fat pad sign. *Radiology*, 222(2), 419-420.
doi: 10.1148/radiol.2222000365
- Gummeson, C., Ward, M. M., Atroshi, I. (2006). The shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (Quick DASH): validity and reliability based on responses within the full-length DASH. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 7(1), 44.
doi: 10.1186/1471-2474-7-44
- Hadlow, A. T., Devane, P., Nicol, R. O. (1996). A selective treatment approach to supracondylar fracture of the humerus in children. *J Pediatr Orthop*, 16(1), 104-106.
doi: 10.1097/00004694-199601000-00021
- Hammer, G. P., du Prel, J.-B., Blettner, M. (2009). Vermeidung verzerrter Ergebnisse in Beobachtungsstudien. *Dtsch Arztebl International*, 106(41), 664-668.
doi: 10.3238/arztebl.2009.0664
- Haverman, L., Grootenhuis, M. A., van den Berg, J. M., van Veenendaal, M., Dolman, K. M., Swart, J. F., Kuijpers, T. W., van Rossum, M. A. J. (2012). Predictors of health-related quality of life in children and adolescents with juvenile idiopathic arthritis: Results from a web-based survey. *Arthritis Care & Research*, 64(5), 694-703.
doi: 10.1002/acr.21609
- Hentsch, S., Thormann, U. (2017). Artikel "Cubitus valgus". Pschyrembel Online, Verlag Walter de Gruyter, Berlin, Germany [Internet, Zugriff 07.02.2021].
<https://www.pschyrembel.de/Cubitus%20valgus/K05DK/doc/>
- Hudak, P. L., Amadio, P. C., Bombardier, C., Beaton, D., Cole, D., Davis, A., Hawker, G., Katz, J. N., Makela, M., Marx, R. G., Punnett, L., Wright, J. (1996). Development of an upper extremity outcome measure: The DASH (disabilities of the arm, shoulder, and hand). *American Journal of Industrial Medicine*, 29(6), 602-608.
doi: 10.1002/(SICI)1097-0274(199606)29:6<602::AID-AJIM4>3.0.CO;2-L
- Institute for Work & Health (2006-2020). The DASH Outcome Measure, Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand: Available Translations. © Institute for Work & Health, Toronto, Canada [Internet, Zugriff 12.12.2020]
<https://www.dash.iwh.on.ca/available-translations>
- Jaeschke, R., Singer, J., Guyatt, G. H. (1989). Measurement of health status: Ascertaining the minimal clinically important difference. *Controlled Clinical Trials*, 10(4), 407-415.
doi: [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(89\)90005-6](https://doi.org/10.1016/0197-2456(89)90005-6)
- Joeris, A., Lutz, N., Wicki, B., Slongo, T., Audigé, L. (2014). An epidemiological evaluation of pediatric long bone fractures — a retrospective cohort study of 2716 patients from two Swiss tertiary pediatric hospitals. *BMC Pediatrics*, 14(1), 314.
doi: 10.1186/s12887-014-0314-3
- Johnson, G. (2014). Epidemiologic Measurements. pp. 1946-1950. In: Michalos, A. C. (ed), *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research*.

- Springer, Dordrecht, Netherlands.
doi: 10.1007/978-94-007-0753-5_906
- Jones, I. E., Williams, S. M., Dow, N., Goulding, A. (2002). How many children remain fracture-free during growth? a longitudinal study of children and adolescents participating in the Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study. *Osteoporos Int*, 13(12), 990-995.
doi: 10.1007/s001980200137
- Kennedy, C. A., Beaton, D. E. (2017). A user's survey of the clinical application and content validity of the DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) outcome measure. *Journal of Hand Therapy*, 30(1), 30-40.e2.
doi: 10.1016/j.jht.2016.06.008
- Kopjar, B., Wickizer, T. M. (1998). Fractures among children: incidence and impact on daily activities. *Injury Prevention*, 4(3), 194-197.
doi: 10.1136/ip.4.3.194
- Korhonen, L., Pokka, T., Holappa, A., Serlo, W., Sinikumpu, J. J. (2019). The Measurement Methods of Movement and Grip Strength in Children with a Previous Upper Extremity Fracture: A Comparative, Prospective Research. *Scand J Surg*, 109(4), 351–358.
doi: 10.1177/1457496919857261
- Körner, D., Gonser, C. E., Bahrs, C., Hemmann, P. (2019). Change in paediatric upper extremity fracture incidences in German hospitals from 2002 to 2017: an epidemiological study. *Arch Orthop Trauma Surg*, 140(7), 887–894.
doi: 10.1007/s00402-019-03321-5
- Körner, D., Laux, F., Stöckle, U., Gonser, C. (2019). Factors influencing the complication rate in pediatric supracondylar humerus fractures. *Orthop Rev (Pavia)*, 11(2), 7949.
doi: 10.4081/or.2019.7949
- Kraus, R., Wessel, L. (2010). The treatment of upper limb fractures in children and adolescents. *Dtsch Arztebl Int*, 107(51-52), 903-910.
doi: 10.3238/arztebl.2010.0903
- Kruse, S., Schneeberg, A., Brussoni, M. (2014). Construct validity and impact of mode of administration of the PedsQL™ among a pediatric injury population. *Health and quality of life outcomes*, 12, 168-168.
doi: 10.1186/s12955-014-0168-2
- Kwok, I. H. Y., Silk, Z. M., Quick, T. J., Sinisi, M., MacQuillan, A., Fox, M. (2016). Nerve injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children. *The Bone & Joint Journal*, 98-B(6), 851-856.
doi: 10.1302/0301-620X.98B6.35686
- Ladenhauf, H. N., Schaffert, M., Bauer, J. (2014). The displaced supracondylar humerus fracture: indications for surgery and surgical options: a 2014 update. *Current Opinion in Pediatrics*, 26(1).
doi: 10.1097/MOP.0000000000000044
- Landin, L. A. (1983). Fracture patterns in children. Analysis of 8,682 fractures with special reference to incidence, etiology and secular changes in a Swedish urban population 1950-1979. *Acta Orthop Scand Suppl*, 202, 1-109.

- Landis, J. R., Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
doi: 10.2307/2529310
- Lange, S., Sauerland, S., Lauterberg, J., Windeler, J. (2017). Vielfalt und wissenschaftlicher Wert randomisierter Studien. *Dtsch Arztebl International*, 114(38), 635-640.
doi: 10.3238/arztebl.2017.0635
- Lee, S. S., Mahar, A. T., Miesen, D., Newton, P. O. (2002). Displaced pediatric supracondylar humerus fractures: biomechanical analysis of percutaneous pinning techniques. *J Pediatr Orthop*, 22(4), 440-443.
doi: 10.1097/00004694-200207000-00005
- Lenich, A. (2021). Cubitus valgus, Cubitus varus. pp. 375-376. In: Imhoff, A., Linke, R., Baumgartner, R. (eds), *Checkliste Orthopädie (4., unveränderte Auflage)*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany.
doi: 10.1055/b000000527
- Liebs, T. R., Burgard, M., Kaiser, N., Slongo, T., Berger, S., Ryser, B., Ziebarth, K. (2020). Health-related quality of life after paediatric supracondylar humeral fractures. *The Bone & Joint Journal*, 102-B(6), 755-765.
doi: 10.1302/0301-620x.102b6.Bjj-2019-1391.R2
- Listing, M., Mönkemöller, K., Liedmann, I., Niewerth, M., Sengler, C., Listing, J., Foell, D., Heiligenhaus, A., Klein, A., Horneff, G., Ganser, G., Haas, J.-P., Klotsche, J., Minden, K. (2018). The majority of patients with newly diagnosed juvenile idiopathic arthritis achieve a health-related quality of life that is similar to that of healthy peers: results of the German multicenter inception cohort (ICON). *Arthritis Research & Therapy*, 20(1), 106.
doi: 10.1186/s13075-018-1588-x
- Ma, D., Morley, R., Jones, G. (2004). Risk-taking, coordination and upper limb fractures in children: a population based case-control study. *Osteoporos Int*, 15(8), 633-638.
doi: 10.1007/s00198-003-1579-9
- Mahan, S. T., May, C. D., Kocher, M. S. (2007). Operative Management of Displaced Flexion Supracondylar Humerus Fractures in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 27(5), 551-556.
doi: 10.1097/01.bpb.0000279032.04892.6c
- Mathison, D. J., Agrawal, D. (2010). An update on the epidemiology of pediatric fractures. *Pediatr Emerg Care*, 26(8), 594-603.
doi: 10.1097/PEC.0b013e3181eb838d
- May, W. W. (1975). The composition and function of ethical committees. *J Med Ethics*, 1(1), 23-29.
doi: 10.1136/jme.1.1.23
- McHorney, C. A., Tarlov, A. R. (1995). Individual-patient monitoring in clinical practice: are available health status surveys adequate? *Quality of Life Research*, 4(4), 293-307.
doi: 10.1007/BF01593882
- Mehlman, C. T., Strub, W. M., Roy, D. R., Wall, E. J., Crawford, A. H. (2001). The Effect of Surgical Timing on the Perioperative Complications of Treatment of Supracondylar Humeral Fractures in Children. *JBJS*, 83(3),

- 323-327.
doi: 10.2106/00004623-200103000-00002
- Merckaert, S., Chaibi, E., Meriem, S., Kwiatkowski, B., Divjak, N., Zambelli, P.-Y. (2020). Epidemiology of Pediatric Upper Extremity Fractures in Tertiary Care Center in Switzerland. *Pediatric emergency care*, 37(12), e825–e835.
doi: 10.1097/pec.0000000000002047
- Meurer, A., Kreitner, K. F., Tsironis, K., Prokop, A., Rehm, K. E. (1999). The value of MR-tomography in the diagnosis of occult fractures. *Der Unfallchirurg*, 102(1), 43-49.
doi: 10.1007/s001130050371
- Meyerding, H. W. (1953). Volkmann's ischemic contracture as a complication of supracondylar fractures of the humerus. *J Int Coll Surg*, 19(6), 675-691.
- Nakaniida, A., Sakuraba, K., Hurwitz, E. L. (2014). Pediatric orthopaedic injuries requiring hospitalization: epidemiology and economics. *J Orthop Trauma*, 28(3), 167-172.
doi: 10.1097/BOT.0b013e318299cd20
- Oh, C. W., Park, B. C., Ihn, J. C., Kyung, H. S. (2000). Fracture separation of the distal humeral epiphysis in children younger than three years old. *J Pediatr Orthop*, 20(2), 173-176.
- Omid, R., Choi, P. D., Skaggs, D. L. (2008). Supracondylar humeral fractures in children. *J Bone Joint Surg Am*, 90(5), 1121-1132.
doi: 10.2106/jbjs.G.01354
- Pritchett, J. W. (1988). Growth and predictions of growth in the upper extremity. *J Bone Joint Surg Am*, 70(4), 520-525.
- Reitman, R. D., Waters, P., Millis, M. (2001). Open Reduction and Internal Fixation for Supracondylar Humerus Fractures in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 21(2), 157-161.
- Röhrig, B., du Prel, J.-B., Blettner, M. (2009). Studiendesign in der medizinischen Forschung. *Dtsch Arztebl International*, 106(11), 184-189.
doi: 10.3238/arztebl.2009.0184
- Röhrig, B., du Prel, J.-B., Wachtlin, D., Blettner, M. (2009). Studientypen in der medizinischen Forschung. *Dtsch Arztebl International*, 106(15), 262-268.
doi: 10.3238/arztebl.2009.0262
- Royall, R. M. (1991). Ethics and Statistics in Randomized Clinical Trials. *Statistical Science*, 6(1), 52-62.
- Schürer, C., Wallaschofski, H., Nauck, M., Völzke, H., Schober, H.-C., Hannemann, A. (2015). Fracture Risk and Risk Factors for Osteoporosis. *Dtsch Arztebl International*, 112(21-22), 365-371.
doi: 10.3238/arztebl.2015.0365
- Seebach, C., Eichler, K., Kurth, A. (2016). Knochentumoren und pathologische Frakturen. pp. 547-565. In: Marzi, I. (ed) *Kindertraumatologie*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
doi: 10.1007/978-3-642-44997-0_25
- Sinikumpu, J. J., Victorzon, S., Pokka, T., Lindholm, E. L., Peljo, T., Serlo, W. (2016). The long-term outcome of childhood supracondylar humeral fractures. *The Bone & Joint Journal*, 98-B(10), 1410-1417.
doi: 10.1302/0301-620X.98B10.35923

- Skaggs, D. L., Hale, J. M., Bassett, J., Kaminsky, C., Kay, R. M., Tolo, V. T. (2001). Operative treatment of supracondylar fractures of the humerus in children. The consequences of pin placement. *J Bone Joint Surg Am*, 83(5), 735-740.
- Skaggs, D. L., Sankar, W. N., Albrektson, J., Vaishnav, S., Choi, P. D., Kay, R. M. (2008). How safe is the operative treatment of Gartland type 2 supracondylar humerus fractures in children? *J Pediatr Orthop*, 28(2), 139-141.
doi: 10.1097/BPO.0b013e3181653ac8
- Slongo, T. (2018). Tipps zur Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur. *Trauma und Berufskrankheit*, 20(2), 82-92.
doi: 10.1007/s10039-018-0357-z
- Slongo, T. F., Audigé, L. (2007). Fracture and dislocation classification compendium for children: the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF). *J Orthop Trauma*, 21(10), 135-160.
doi: 10.1097/00005131-200711101-00020
- Spiestersbach, A., Röhrig, B., du Prel, J. B., Gerhold-Ay, A., Blettner, M. (2009). Descriptive statistics: the specification of statistical measures and their presentation in tables and graphs. Part 7 of a series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int*, 106(36), 578-583.
doi: 10.3238/arztebl.2009.0578
- Stang, A., Poole, C., Kuss, O. (2010). The ongoing tyranny of statistical significance testing in biomedical research. *European Journal of Epidemiology*, 25(4), 225-230.
doi: 10.1007/s10654-010-9440-x
- Thode, H. C. (2011). Normality Tests. pp. 999-1000. In: Lovric, M. (ed), *International Encyclopedia of Statistical Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
doi: 10.1007/978-3-642-04898-2_423
- Tomori, Y., Nanno, M., Takai, S. (2018). Clinical results of closed versus mini-open reduction with percutaneous pinning for supracondylar fractures of the humerus in children: A retrospective case-control study. *Medicine*, 97(45), e13162.
doi: 10.1097/MD.00000000000013162
- Tuomilehto, N., Sommarhem, A., Nietosvaara, A. Y. (2018). 9 years' follow-up of 168 pin-fixed supracondylar humerus fractures in children. *Acta Orthopaedica*, 89(3), 351-356.
doi: 10.1080/17453674.2018.1438765
- Valencia, M., Moraleda, L., Díez-Sebastián, J. (2015). Long-term Functional Results of Neurological Complications of Pediatric Humeral Supracondylar Fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 35(6), 606-610.
doi: 10.1097/BPO.0000000000000337
- Varni, J. W., Burwinkle, T. M., Seid, M., Skarr, D. (2003). The PedsQL™ 4.0 as a Pediatric Population Health Measure: Feasibility, Reliability, and Validity. *Ambulatory Pediatrics*, 3(6), 329-341.
doi: 10.1367/1539-4409(2003)003<0329:TPAAPP>2.0.CO;2

- Varni, J. W., Seid, M., Kurtin, P. S. (2001). PedsQL 4.0: reliability and validity of the Pediatric Quality of Life Inventory version 4.0 generic core scales in healthy and patient populations. *Med Care*, 39(8), 800-812.
doi: 10.1097/00005650-200108000-00006
- von Laer, L, Kraus, R, Linhart, W. E. (2012). Wachstum und Wachstumsstörungen. pp. 16-25. In: von Laer, L., Kraus, R., Linhart, W. E. (eds), *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter (6. überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany
doi: 10.1055/b-002-11351
- von Laer, L. (2016). Knochenwachstum und Knochenheilung. pp. 3-13. In: Marzi, I. (ed), *Kindertraumatologie*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
doi: 10.1007/978-3-642-44997-0_1
- von Laer, L. (2016). Verletzungsformen. pp. 15-22. In: Marzi, I. (ed), *Kindertraumatologie*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
doi: 10.1007/978-3-642-44997-0_2
- Waldt, S., Eiber, M., Wörtler, K. (2023). Kubitalwinkel (Tragewinkel des Ellenbogengelenks). pp. 102-104. In: Waldt, S., Eiber, M., Wörtler, K. (eds), *Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie (3., unveränderte Auflage)*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany.
doi: 10.1055/b0000000874
- Wang, H., Feng, C., Liu, H., Liu, J., Ou, L., Yu, H., Xiang, L. (2019). Epidemiologic Features of Traumatic Fractures in Children and Adolescents: A 9-Year Retrospective Study. *Biomed Res Int*, vol. 2019, Article ID 8019063, 8 pages.
doi: 10.1155/2019/8019063
- Wang, S. I., Kwon, T. Y., Hwang, H. P., Kim, J. R. (2017). Functional outcomes of Gartland III supracondylar humerus fractures with early neurovascular complications in children: A retrospective observational study. *Medicine*, 96(25), e7148.
doi: 10.1097/MD.00000000000007148
- Wessel, L., Schneidmüller, D., Weinberg, A., Castellani, C., Rose, S., Marzi, I. (2016). Ellenbogen. pp. 147-187. In: Marzi, I. (ed), *Kindertraumatologie*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
doi: 10.1007/978-3-642-44997-0_13
- Westphal, T. (2007). Reliabilität und Veränderungssensitivität der deutschen Version des Fragebogens Arm, Schulter und Hand (DASH). *Der Unfallchirurg*, 110(6), 548-552.
doi: 10.1007/s00113-007-1235-5
- Wilkins, K. E. (2005). Principles of fracture remodeling in children. *Injury*, 36(Suppl 1), S3-S11.
doi: 10.1016/j.injury.2004.12.007
- Williams, B. G., Hlaing, T., Aaland, M. O. (2009). Ten-Year Retrospective Study of Delayed Diagnosis of Injury in Pediatric Trauma Patients at a Level II Trauma Center. *Pediatric Emergency Care*, 25(8), 489-493.
doi: 10.1097/PEC.0b013e3181b0a07d

7. Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen unter Betreuung von PD Dr. med. Andreas Badke (Chefarzt Querschnittgelähmte, Technische Orthopädie und Wirbelsäulenchirurgie und stv. Ärztlicher Direktor) durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. med. Christoph Gonser (Stv. Leitender Arzt der Sektion Rekonstruktive Chirurgie, Leitender Arzt Kindertraumatologie, Leitender Arzt Computergestütztes Operieren, E-Health und Digitalisierung) und PD Dr. med. Daniel Körner (Stv. Leitender Arzt der Sektion Rekonstruktive Chirurgie, Leitender Arzt Kindertraumatologie).

Die Nachuntersuchungen wurden nach Einarbeitung durch Dr. med. Christoph Gonser und PD Dr. med. Daniel Körner von mir eigenständig durchgeführt. Die zugrunde gelegte Datenmatrix wurde initial durch PD Dr. med. Daniel Körner angelegt und durch mich revidiert und ergänzt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch das Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen durch mich.

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

Cornelius Feige

Nagold, 30.10.2023

8. Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im März 2020 von der medizinischen Fakultät der Eberhard Karls Universität Tübingen als Promotionsvorhaben angenommen.

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Menschen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Dissertation unterstützt haben und ohne die sie in dieser Form nicht hätte realisiert werden können.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater PD. Dr. med. Andreas Badke, der meine Arbeit von Beginn an unterstützt hat.

Für ihren umfassenden Einsatz bin ich besonders Dr. med. Christoph Gonser und PD Dr. med. Daniel Körner von der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen verbunden, welche mich insbesondere zu Beginn meiner Arbeit und während der Datenerhebung durch regelmäßigen Austausch unterstützt haben.

Ebenfalls möchte ich für den Beitrag der methodischen Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen zu meiner statistischen Auswertung danken.

Mein besonderer Dank gilt schließlich neben vielen Freunden meinen Eltern Christa und Ulrich Feige für den ununterbrochenen moralischen Beistand, die Ermutigungen und den Zuspruch. Sie haben wesentlich zum erfolgreichen Abschluss der Arbeit beigetragen.