

Aus der  
Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik  
Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und  
Verbrennungschirurgie an der Universität Tübingen

# **Die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese bei Fingergrundgliedfrakturen**

Vergleich der frühfunktionellen vs. konventionell-statischen  
Nachbehandlung

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der Medizinische Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von

Freiherr von und zu Fraunberg, Johannes Peter

2021

Dekan: Professor Dr. B. Bichler

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. F. Medved

2. Berichterstatter: Professor Dr. U. K. Hofmann

Tag der Disputation: 13.07.2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Handverletzungen und Fingerfrakturen</b> .....	<b>2</b>
1.1.1	Prävalenz.....	2
1.1.2	Verletzungsmechanismen.....	2
1.1.3	Traumafolgen für Individuum und Gesellschaft.....	2
<b>1.2</b>	<b>Fingergrundgliedfrakturen</b> .....	<b>4</b>
1.2.1	Anatomie des Fingergrundgliedes.....	4
1.2.2	Frakturformen.....	5
1.2.3	Komplikationen nach Fingergrundgliedfraktur.....	6
<b>1.3</b>	<b>Behandlung von Fingergrundgliedfrakturen</b> .....	<b>7</b>
1.3.1	Behandlungsgrundsätze.....	7
1.3.2	Geschichte der operativen Frakturversorgung.....	8
1.3.3	Die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese.....	10
1.3.4	Postoperative Nachbehandlung.....	12
<b>1.4</b>	<b>Fragestellung und Hypothesen</b> .....	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>Patienten und Methoden</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Patienten</b> .....	<b>15</b>
2.1.1	Ein- und Ausschlusskriterien.....	15
2.1.2	Studiendurchführung und Patientenrekrutierung.....	16
2.1.3	Studienpopulation.....	16
<b>2.2</b>	<b>Studiendesign</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Behandlungsmethode</b> .....	<b>18</b>
2.3.1	Klinische Untersuchung und OP-Indikation.....	18
2.3.2	Operation.....	18
2.3.3	Nachbehandlung.....	20
2.3.4	Kontrolluntersuchungen und Drahtentfernung.....	21
<b>2.4</b>	<b>Retrospektive Datenerhebung</b> .....	<b>21</b>
2.4.1	Komplikationen mit Notwendigkeit zu Folgeoperationen.....	21
2.4.2	Frakturkonsolidierung und Metallentfernung.....	22
<b>2.5</b>	<b>Prospektive Datenerhebung durch klinische Nachuntersuchung</b> .....	<b>23</b>
2.5.1	Setting und Anamnese.....	23
2.5.2	Fragebögen und Scores.....	23
2.5.3	Klinische Untersuchung der Hand.....	24

2.5.4	Kraftmessung .....	24
2.5.5	Beweglichkeitsmessung .....	26
<b>2.6</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>31</b>
2.6.1	Hypothesentestung und Hauptstudienresultate.....	32
2.6.2	Analysen der Nebenzielkriterien.....	32
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Patienten.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Frakturverteilung und Verletzungsmorphologie .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Hauptstudienresultate .....</b>	<b>35</b>
3.3.1	Total Active Motion (TAM) .....	35
3.3.2	DASH-Fragebogen.....	38
<b>3.4</b>	<b>Nebenstudienresultate .....</b>	<b>40</b>
3.4.1	Unfallmechanismus und Dauer bis zur Frakturversorgung .....	40
3.4.2	Operations- und Durchleuchtungsdauer.....	40
3.4.3	K-Draht-Konfigurationen.....	41
3.4.4	Nachbehandlung.....	41
3.4.5	Komplikationen.....	42
3.4.6	Frakturkonsolidierung und Metallentfernung .....	44
3.4.7	Dauer der Arbeitsunfähigkeit.....	46
3.4.8	Dauer bis Beschwerdefreiheit .....	47
3.4.9	Patientenzufriedenheit.....	47
3.4.10	DASH-Arbeitsmodul.....	48
3.4.11	PRWE-Fragebogen .....	48
3.4.12	Klinische Handuntersuchung .....	48
3.4.13	Hand- und Fingerkraftmessung.....	50
3.4.14	Fingerkuppen-Hohlhand- und Fingernagel-Tisch-Abstand .....	52
3.4.15	Total Passive Motion (TPM).....	54
3.4.16	Streck- und Beuge-defizite einzelner Fingergelenke .....	55
<b>3.5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse.....</b>	<b>60</b>
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Interpretation und Eingliederung der Hauptstudienresultate.....</b>	<b>60</b>
4.1.1	Total Active Motion und globale Bewegungsfähigkeit .....	60
4.1.2	DASH-Score und Funktionsniveau.....	63
4.1.3	Fazit aus den Hauptresultaten.....	64

<b>4.2</b>	<b>Interpretation und Eingliederung der Nebenergebnisse</b> .....	<b>65</b>
4.2.1	Komplikationen und Frakturkonsolidierung .....	65
4.2.2	Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit .....	66
4.2.3	Patientenzufriedenheit und Beschwerdefreiheit.....	68
4.2.4	Frakturheilung in Fehlstellung .....	68
4.2.5	Hand- und Fingerkraft.....	69
4.2.6	Streck- und Beugedefizite .....	70
<b>4.3</b>	<b>Vergleich mit alternativen Behandlungsverfahren</b> .....	<b>71</b>
4.3.1	Konservative Therapie .....	71
4.3.2	Offene Reposition und interne Fixation.....	71
<b>4.4</b>	<b>Stärken und Limitationen der Studie</b> .....	<b>72</b>
<b>4.5</b>	<b>Schlussfolgerung und Implikation für die medizinische Praxis</b> .....	<b>76</b>
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>78</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>80</b>
<b>7.</b>	<b>Erklärung zum Eigenanteil</b>	<b>88</b>
<b>8.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>89</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bezeichnung</b>
aROM	active Range-of-Motion
AU	Arbeitsunfähigkeit
CRIF	Closed Reduction Internal Fixation
DASH-Score	Disability of Arm, Shoulder and Hand-Score
DIP	Distales Interphalangealgelenk
EG	Experimentalgruppe
Ext.	Extension
FKHA	Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand
Flex.	Flexion
FNTA	Fingernagel-Tisch-Abstand
frühfkt.	frühfunktionell
IP-Gelenk/e	Interphalangealgelenk/e
IP-Stellung	Intrinsic-Plus-Stellung
K-Draht	Kirschner-Draht
KDO	Kirschner-Draht-Osteosynthese
KG	Kontrollgruppe
konv.-stat.	konventionell-statisch
<i>MW</i>	Mittelwert
M./Mm.	Musculus/Musculi
Max.	Maximum
MCP-Gelenk	Metacarpophalangealgelenk
<i>Mdn</i>	Median
Min.	Minimum

ORIF	Open Reduction Internal Fixation
periart.	periartikulär
PIP-Gelenk	Proximales Interphalangealgelenk
postop.	postoperativ
pROM	passive Range-of-Motion
PRWE-Score	Patient-Rated Wrist Evaluation-Score
Q1–Q3	1. Quartil – 3. Quartil
<i>SD</i>	Standardabweichung
t	Tage
TAM <sub>abs</sub>	absolute Total Active Motion
TAM <sub>rel</sub>	relative Total Active Motion
TPM <sub>abs</sub>	absolute Total Passive Motion
TPM <sub>rel</sub>	relative Total Passive Motion
transart.	transartikulär
W	Wochen

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehen bei der K-Draht-Osteosynthese.....	11
Abbildung 2: Übersicht der Studienkollektive und jeweilige Gruppengröße.....	17
Abbildung 3: Operationsschritte exemplarisch.....	19
Abbildung 4: Schienensysteme der konventionell-statischen Nachbehandlung.....	21
Abbildung 5: Patientenkollektiv Komplikationshäufigkeit (Methodenteil).....	22
Abbildung 6: Kraftmessung in der prospektiven Nachuntersuchung.....	25
Abbildung 7: Beweglichkeitsmessung in der prospektiven Nachuntersuchung.....	27
Abbildung 8: Frakturverteilung.....	33
Abbildung 9: Total Active Motion (absolut, relativ) nach Nachbehandlungsgruppe.....	36
Abbildung 10: Total Active Motion (relativ) nach Frakturart und Geschlecht.....	38
Abbildung 11: Total Active Motion (relativ) nach Patientenalter.....	38
Abbildung 12: Ergebnisse DASH-Fragebogen.....	39
Abbildung 13: Operationsdauer.....	40
Abbildung 14: Therapiearme der Nachbehandlung.....	42
Abbildung 15: Patientenkollektiv Komplikationshäufigkeit (Ergebnisteil).....	43
Abbildung 16: Komplikationen nach konventionell-statischer Nachbehandlung.....	44
Abbildung 17: Prä-, intra- und postoperative Röntgenaufnahmen.....	45
Abbildung 18: Dauer bis Frakturkonsolidierung und Metallentfernung.....	45
Abbildung 19: Dauer der Arbeitsunfähigkeit nach Nachbehandlungsgruppe.....	46
Abbildung 20: Patientenzufriedenheit.....	48
Abbildung 21: Häufigkeit von Fehlstellungen je nach Nachbehandlungsgruppe.....	49
Abbildung 22: Orientierende Beurteilung von Fingerstellung und -beweglichkeit.....	50
Abbildung 23: Relative Grobgriffkraft nach Nachbehandlungsgruppe.....	51

Abbildung 24: Zunehmende aktive Beugungsfähigkeit im Heilungsverlauf.....	52
Abbildung 25: Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand und Fingernagel-Tisch-Abstand.....	54
Abbildung 26: Total Passive Motion (absolut, relativ) nach Nachbehandlungsgruppe....	54
Abbildung 27: Extensionsverluste von DIP-, PIP- und MCP-Gelenken.....	56
Abbildung 28: Beispielergebnis mit geringem Extensionsverlust im PIP-Gelenk.....	57
Abbildung 29: Flexionsverluste von DIP-, PIP- und MCP-Gelenken.....	58
Abbildung 30: Beispielergebnis mit kombiniertem Beuge- und Streckdefizit.....	59

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Exemplarische Bestimmung des relevanten Streckdefizites.....	28
Tabelle 2: Exemplarische Bestimmung der active Range-of-Motion.....	29
Tabelle 3: Total Active Motion-Klassifikation nach Page und Stern (1998).....	30
Tabelle 4: Relevante Variablen der Handkraft- und Beweglichkeitsmessungen.....	31
Tabelle 5: Verteilung der Frakturhäufigkeit nach Handdominanz.....	34
Tabelle 6: Ergebnisse nach TAM-Kategorien (nach Page und Stern (1998)).....	35
Tabelle 7: Subgruppenanalyse.....	36
Tabelle 8: Anzahl eingebrachter Kirschner-Drähte.....	41
Tabelle 9: Handkraftmessungen in Daumenopposition und Präzisionsgriffen.....	52
Tabelle 10: Ergebnisse Fingerkuppen-Hohlhand- und Fingernagel-Tisch-Abstand.....	53
Tabelle 11: Zusammenfassung der Ergebnisse der Fingerbeweglichkeitsmessungen.....	55
Tabelle 12: Häufigkeit von Streckdefiziten und Extensionsverlust defizitärer Gelenke...57	57
Tabelle 13: Häufigkeit von Beugedefiziten und Flexionsverlust defizitärer Gelenke.....	59
Tabelle 14: Im Rahmen der Anamnese gestellte Fragen und Antwortmöglichkeiten.....	103
Tabelle 15: TAM nach K-Draht-Osteosynthese in der wissenschaftlichen Literatur.....	104

## 1. Einleitung

Im Jahre 1833 befasste sich der britische Anatom Sir Charles Bell mit der menschlichen Hand. Auf der Grundlage vergleichender anatomischer Forschung bei Menschen und Säugetieren beschrieb er den Zusammenhang zwischen Funktion und Form, zwischen Verhalten und Morphologie. Er sah die Hand als Exekutivinstrument des Verstandes, deren Existenz untrennbar mit der Entwicklung unserer kognitiven Fähigkeiten verbunden ist (Bell 1833; Berkowitz 2014). Aus heutiger Sicht beschreibt er erstaunlich treffend, welche Bedeutung die Hand in der Entwicklung zum modernen Menschen gehabt haben soll (Klix 2005; Weinmann 2005; Wilson und Kober 2000). Die Hand dient als Werkzeug – als Tast- und Greiforgan ermächtigt sie ihren Träger, sich in seiner Umwelt zurechtzufinden und in ihr zu agieren. Hände sind ein Schlüssel zur Teilhabe am kulturellen und beruflichen Leben. Hände sind Kommunikationsmittel (Goldin-Meadow 1999). Sie begleiten und ergänzen als Gestik die verbale Kommunikation und dienen sowohl dem Ausdruck wie auch dem Verständnis von Sprache. „You need hands...“, stellt John Napier, britischer Arzt und Paläoanthropologe, in seinem 1980 erstmals erschienenen Werk „Hands“ fest und unterstreicht damit die Notwendigkeit, sich der uneingeschränkten Funktion der Hand bedienen zu können (Napier und Tuttle 1993). Durch Traumata kann die Funktionalität der Hand jedoch nachhaltig Einschränkungen erfahren.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der operativen Versorgung von Fingergrundgliedfrakturen mittels perkutaner Kirschner(K)-Draht-Osteosynthese und dem Vergleich zweier postoperativer Nachbehandlungsschemata. Zunächst werden Prävalenz und Unfallmechanismen sowie individuelle und volkswirtschaftliche Folgen von Handverletzungen und Fingerfrakturen dargelegt. Nach der Betrachtung anatomischer Grundlagen werden Frakturformen und mögliche Komplikationen nach Fingergrundgliedfrakturen beschrieben. Es folgen Behandlungsgrundsätze und die geschichtliche Entwicklung der Therapie von Fingergrundgliedfrakturen. An ein Kapitel zum aktuellen wissenschaftlichen Stand schließt sich die Fragestellung dieser Studie an. Nachfolgend werden die angewendeten Methoden beschrieben und die Ergebnisse der Studie vorgestellt. Im letzten Kapitel werden die Ergebnisse im Hinblick auf den aktuellen Stand der Forschung diskutiert und Rückschlüsse für die medizinische Versorgung von Fingergrundgliedfrakturen abgeleitet.

---

## **1.1 Handverletzungen und Fingerfrakturen**

### **1.1.1 Prävalenz**

Frakturen der Handknochen sind häufige Unfallfolgen. Der Anteil an Patienten, der aufgrund von Frakturen im Bereich der Hand in einer unfallchirurgischen Notaufnahme vorstellig wird, liegt bei 18–24 %. In etwa der Hälfte dieser Fälle (40–59 %) handelt es sich um Fingerfrakturen (Court-Brown und Caesar 2006; Feehan und Sheps 2006; Hove 1993; van Onselen et al. 2003). Männer erleiden zwischen zweieinhalb und dreimal häufiger Frakturen an der Hand als Frauen (De Jonge et al. 1994; Stanton et al. 2007). Mit einer jährlichen Inzidenz von 11,5 Fällen pro 10.000 Personen handelt es sich bei den Frakturen der Phalangen, nach der distalen Radiusfraktur, um die zweithäufigste Fraktur der oberen Extremität (Karl et al. 2015). Die Grundglieder frakturieren dabei zu 15–23 % (Hove 1993; Stanton et al. 2007; van Onselen et al. 2003). Diese epidemiologischen Daten zugrunde gelegt, lässt sich für die Bundesrepublik Deutschland eine Inzidenz von über 20.000 Fingergrundgliedfrakturen pro Jahr schätzen.

### **1.1.2 Verletzungsmechanismen**

Es werden direkte und indirekte Verletzungsmechanismen unterschieden. Vor allem direkte Gewalteinwirkung führt dabei nicht selten zu ausgedehnten Begleitschäden am Weichteilmantel (Lögters und Windolf 2015). Fingerfrakturen haben ihre Ursache häufig am Arbeitsplatz oder beim Sport (Anakwe et al. 2011; De Jonge et al. 1994; Stanton et al. 2007). Bei Männern sind Sportverletzungen und stumpfe Traumata, aber auch tätliche Auseinandersetzungen bzw. Faustschläge hauptursächlich für Frakturen an der Hand (Anakwe et al. 2011). Bei Frauen kommen diese in der Mehrzahl der Fälle durch Stürze oder stumpfe Krafteinwirkung zustande. In der Altersgruppe der unter 30-Jährigen sind Sportverletzungen insgesamt am häufigsten verantwortlich, bei den über 70-Jährigen herrschen Stürze als Frakturursache vor (De Jonge et al. 1994).

### **1.1.3 Traumafolgen für Individuum und Gesellschaft**

#### *Individuelle Traumafolgen*

Traumata der Hand oder Hände können nachhaltige sensomotorische und damit auch funktionelle Einschränkungen zur Folge haben und für Patienten sehr belastend sein

(Gustafsson et al. 2011). Auch Kälteintoleranz, die sich durch Kribbeln, Steifheit, Taubheit oder Schmerzen bei niedrigen oder normalen Umgebungstemperaturen zeigen kann, ist ein häufiges Problem nach Handverletzungen (Nijhuis et al. 2010). Es hat sich gezeigt, dass regelmäßige Schmerzen im Bereich der Hand sich unmittelbar negativ auf die Lebenszufriedenheit auswirken (Kovacs et al. 2011). Häufig resultieren daraus auch Schwierigkeiten am Arbeitsplatz und bei Aktivitäten des alltäglichen Lebens (Gustafsson et al. 2011). Nach Handtraumata kommt es zudem gehäuft zu psychologischen Komorbiditäten wie affektiven Störungen, Angst- und somatoformen Störungen sowie Körperschemastörungen (Grunert et al. 1992; Gustafsson und Ahlstrom 2004; Koestler 2010). Daher müssen bei der Therapie von Handverletzungen neben der bloßen anatomischen Betrachtungsweise auch die psychologischen, sozialen und ökonomischen Umstände des Patienten beachtet werden (Grob et al. 2008).

#### *Volkswirtschaftliche Traumafolgen*

Neben individuellen Folgen können Handverletzungen auch sozioökonomische Folgen nach sich ziehen. Handtraumata erzeugen gesamtgesellschaftlich betrachtet hohe Kosten (Rosberg et al. 2005; Trybus et al. 2006). Direkte Kosten entstehen für das behandelnde Krankenhaus durch die Behandlungsmaßnahmen (stationärer Aufenthalt, Operationen usw.). Dazu addieren sich indirekte Krankheitskosten, deren Höhe sich unter anderem aus dem volkswirtschaftlichen Schaden ergibt, der durch den Produktionsausfall der Arbeitskraft im Rahmen transienter oder permanenter Arbeitsunfähigkeit entsteht (Rosberg et al. 2005). Unter den ca. 39,2 Millionen erwerbstätigen (freiwilligen und Pflicht-)Mitgliedern der gesetzlichen Krankenkassen traten laut GKV-Statistik 2017 insgesamt 39.258.676 Arbeitsunfähigkeitsfälle mit 500.508.816 Arbeitsunfähigkeitstagen auf (Bundesministerium für Gesundheit 2018b; Bundesministerium für Gesundheit 2018c). Der Bericht zur Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales berechnete für 2017 Produktionsausfallskosten von 76 Milliarden Euro (ca. 2,3 % des Bruttonationaleinkommens) (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2018).

Allein aufgrund von Frakturen im Bereich der Hand und des Handgelenks kam es 2017 in über 68.000 Fällen zu Arbeitsunfähigkeit, die zu einer Gesamtzahl von 2,4 Millionen AU-Tagen führten (Bundesministerium für Gesundheit 2018a). Bei einem entstehenden finanziellen Schaden von pauschal 114 Euro pro AU-Tag ergeben sich für

---

die ICD-10-Diagnosegruppe S62 (Fraktur im Bereich des Handgelenks und der Hand) Produktionsausfallkosten von ca. 277 Millionen Euro bzw. ein Ausfall an Bruttowertschöpfung von knapp einer halben Milliarde Euro pro Jahr (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2018). Die dargelegten individuellen und sozioökonomischen Folgen von Frakturen der Hand verdeutlichen die Notwendigkeit einer sich stetig weiterentwickelnden medizinischen Versorgung, um durch optimale Therapieverfahren und zielgerichtete Rehabilitationsmaßnahmen die individuelle Funktionsfähigkeit der Hand wiederherzustellen und eine zeitnahe berufliche Wiedereingliederung zu ermöglichen (Dias und Garcia-Elias 2006; Trybus et al. 2006).

## **1.2 Fingergrundgliedfrakturen**

### **1.2.1 Anatomie des Fingergrundgliedes**

Die Anatomie des Fingers ermöglicht einen großen Funktionsumfang. So sind gleichermaßen feine, hochdifferenzierte Bewegungen wie Schreiben oder Klavierspielen, aber auch das Ausüben großer Kräfte, beispielsweise beim Heben eines schweren Gegenstandes, möglich. Dieser Spagat aus Beweglichkeit und Stabilität gelingt durch ein biomechanisch ausgefeiltes System, in dem Knochen, Bänder, Sehnen, Gefäße und Nerven in enger topographischer Beziehung zueinander liegen und von einem nur dünnen Haut-/Weichteilmantel umgeben sind (Lögters und Windolf 2015). Dieser strukturelle Aufbau führt – neben der exponierten anatomischen Stellung des Fingers – aber dazu, dass dieser einer erhöhten Verletzungsgefahr ausgesetzt ist (Stanton et al. 2007).

Das Grundglied (lat. Phalanx proximalis) besitzt Basis, Corpus und Caput phalangis. Es ist im Schaftbereich palmar konkav gekrümmt und artikuliert nach distal über das proximale Interphalangealgelenk (PIP) mit dem Mittelglied sowie nach proximal mit seinem korrespondierenden Mittelhandknochen über das Metacarpophalangealgelenk (MCP). Auf dessen Palmarseite verlaufen die Beugesehnen der Mm. flexor digitorum superficialis und profundus. Auf der Dorsalseite des Fingergrundgliedes liegt die bindegewebige Dorsalaponeurose, die als Verlängerung der extrinsischen (M. extensor digitorum, M. extensor indicis, M. extensor digiti minimi) und intrinsischen (Mm. lumbricales, Mm. interossei) Handmuskulatur fungiert (Schünke et al. 2018). Auf Höhe des Fingergrundgelenks liegen deren laterale Züge jedoch palmar der Bewegungsachse des Gelenks. Dies führt, zusammen mit den direkten Ansatzpunkten der Mm. interossei

---

an der Basis des Fingergrundgliedes, bei Kontraktion zur Grundgelenkflexion (Anderhuber 2012). Gleichwohl bewirkt die Dorsalaponeurose durch die bis nach palmar ziehenden Anteilen eine regelrechte Ummantelung des proximalen Grundgliedbereichs, während sie nach distal zunehmend auf die Streckseite gelangt. Für zusätzliche Stabilität auf Höhe des Grundgliedes sorgt der zirkuläre metacarpophalangeale Halteapparat, nach seinem Erstbeschreiber auch Zancolli-Komplex genannt (Anderhuber 2012). Der aus verschiedenen Bandstrukturen bestehende, enganliegende Komplex umgreift das Grundgelenk zirkulär, koordiniert die Bewegung der Grundgelenkkomponenten zueinander und kann durch eine Fraktur Schaden nehmen. Therapeutisch wird die enge Ummantelung des Grundgliedes durch den Komplex im Sinne einer „inneren Schienung“ ausgenutzt (Rajesh et al. 2007). Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung semirigidier Frakturversorgungen wie der perkutanen K-Draht-Osteosynthese.

### **1.2.2 Frakturformen**

Fingergrundgliedfrakturen werden deskriptiv nach ihrer Lokalisation in Kopf-, Schaft- und Basisfrakturen eingeteilt. Weiterhin wird der Frakturverlauf (quer, schräg, spiral) beschrieben und nach Gelenkbeteiligung in extra- bzw. intraartikuläre Frakturen unterschieden. Die Anzahl an Frakturfragmenten (zweifragmentäre Fraktur bis hin zu Mehrfragment- und Trümmerfrakturen), der Grad an Dislokation (Angulation, Malrotation und Verkürzung) und das Vorliegen von Hautverletzungen sind weitere wichtige Determinanten (Day und Stern 2011; Lögters und Windolf 2015). Offene Frakturen können adaptiert nach der Gustilo-Anderson-Klassifikation für lange Röhrenknochen je nach Größe der Wunde, Art und Ausdehnung des Weichteilschadens, dem Grad an Kontamination sowie Begleitverletzungen wichtiger anatomischer Strukturen in Typ I-, II- oder III-Frakturen eingeteilt werden (Gustilo und Anderson 1976; Gustilo et al. 1984). Subkapitale Grundgliedfrakturen neigen zur dorsalen Dislokation (Day und Stern 2011). Bei Schaftfrakturen wird meist das proximale Fragment nach palmar gezogen und das distale Fragment nach dorsal verkippt (Day und Stern 2011; Lögters und Windolf 2015). Bei der Wahl des richtigen Therapieverfahrens müssen neben der reinen Frakturmorphologie weitere Schäden der komplexen Anatomie des Fingers beachtet werden (Verver et al. 2017). Bei Fingerfrakturen treten relevante Verletzungen des Weichteilgewebes im Bereich des Strecksehnenapparats, des

---

Hautmantels, der Beugesehen oder der Gefäß-Nerven-Bündel in ca. 30 % der Fälle auf (Ip et al. 1996; Pun et al. 1989). Diese Verletzungen gehen häufig mit einem schlechteren Erhalt bzw. einer schlechteren Wiederherstellung der ursprünglichen Beweglichkeit des Fingers einher (Duncan et al. 1993; Huffaker et al. 1979; Ip et al. 1996).

Es zeigt sich, dass das heterogene Spektrum an Fingergrundgliedfrakturen von einfachen, nicht-dislozierten Schaftfrakturen bis hin zu schweren Quetschverletzungen mit Trümmerfraktur und Haut-/Weichteilschaden reicht. Während einfache Verletzungsmuster konservativ behandelt werden können, ist zur Therapie komplexer Frakturen mitunter die gesamte Spanne der rekonstruktiven Chirurgie erforderlich. In der vorliegenden Studie wurden ausschließlich Patienten ohne rekonstruktionsbedürftige Schäden an Sehnen, Gefäßen oder Nerven und allenfalls mit nicht-kontaminierten, oberflächlichen Hautwunden, die im Rahmen der Frakturversorgung primär verschlossen werden konnten, eingeschlossen.

### **1.2.3 Komplikationen nach Fingergrundgliedfraktur**

Nach erlittener Fingergrundgliedfraktur können Deformationen des betroffenen Fingers, der Verlust an Handkraft und eingeschränkte Bewegungsfähigkeit dauerhafte Beschwerden verursachen (Hsu et al. 2011; Stahl und Schwartz 2001). Eine Rolle spielen vor allem Achs- (laterale oder apex-volare Angulation) und Rotationsfehlstellungen (Buchler et al. 1996; Day und Stern 2011). Ein Verheilen der Fraktur in apex-volarer Fehlstellung („pseudoclaving“ = Hyperextensionsfehlstellung im Bereich der ehemaligen Fraktur) kann dazu führen, dass die Zugrichtung der intrinsischen Muskulatur im MCP-Gelenk hinter die Rotationsachse verlagert wird. Dadurch verliert die intrinsische Muskulatur ihre flektierende Funktion im MCP-Gelenk und unterstützt stattdessen die Extension, was zum Verlust von Flexionsumfang und -kraft führt (Shewring et al. 2018). Das vollständige Ausbleiben einer suffizienten Knochenkonsolidierung kann zur Ausbildung einer schmerzhaften Pseudarthrose führen (Jupiter et al. 1985). Eine häufige Komplikation ist die Bewegungseinschränkung im betroffenen Strahl. Besonders das PIP-Gelenk ist häufig durch Kapselschrumpfung und Sehnenadhäsionen beeinträchtigt. Adhäsionen im Bereich der Dorsalaponeurose und Verkürzungen des frakturierten Grundgliedes können ein Extensionsdefizit des PIP-Gelenks zur Folge haben (Shewring et al. 2018; Vahey et al. 1998). Verkürzungen der

---

Kollateralbänder durch Fixierung der Interphalangealgelenke in Flexionsstellung, dorsale Kapselschrumpfung und Adhäsionen der Strecksehnen begünstigen Flexionsdefizite (Day und Stern 2011). Im Extremfall verbleibt eine Flexionskontraktur im PIP-Gelenk (Faruqi et al. 2012; Green 1986 zitiert nach Day und Stern 2011). Aufgrund bestehender intertendinöser Verbindungen der Sehnen der tiefen Flexorenmuskulatur auf Höhe des Karpaltunnels kann die Sehnenadhäsion an einem Finger zur Flexionseinschränkung der gesamten Hand führen (sog. Quadriga-Phänomen) (Schreuders 2012). Vor allem bei offenen Frakturen besteht die Gefahr von Infektionen, doch auch bei geschlossen reponierten und intern fixierten Frakturen können Infektionen im Verlauf der Drähte auftreten (McLain et al. 1991; Swanson et al. 1991). Die Wahl des operativen Verfahrens hat mitunter Einfluss auf das Risiko des Auftretens von Komplikationen (von Kieseritzky et al. 2017). Die im Vergleich zur offenen Reposition und internen Fixation geringere Invasivität der perkutanen K-Draht-Osteosynthese in Kombination mit der Möglichkeit zur frühen postoperativen Mobilisation soll Adhäsionsprozessen und Kapselschrumpfungen vorbeugen. Vor diesem Hintergrund kommt die perkutane K-Draht-Osteosynthese in der BG Unfallklinik Tübingen bevorzugt zum Einsatz.

### **1.3 Behandlung von Fingergrundgliedfrakturen**

#### **1.3.1 Behandlungsgrundsätze**

Fingergrundgliedfrakturen können grundsätzlich konservativ oder operativ behandelt werden. Während offene Frakturen und Frakturen mit rekonstruktionsbedürftigen Begleitverletzungen von Sehnen, Nerven oder Gefäßen in der Regel operativ angegangen werden müssen, fällt die Entscheidung bei isolierten und dislozierten, geschlossenen Frakturen auf Grundlage der (Übungs-)Stabilität, zu deren Beurteilung klinische und radiologische Kriterien herangezogen werden (Day und Stern 2011; Lögters und Windolf 2015). Stabile Frakturen können konservativ behandelt werden (Ebinger et al. 1999; Franz et al. 2012; Windolf et al. 2008). Lässt sich durch einen konservativen Ansatz jedoch keine zufriedenstellende Lage der Frakturfragmente zueinander herstellen oder erhalten, müssen operative Therapiekonzepte erwogen werden, um Deformitäten oder Bewegungseinschränkungen zu vermeiden (Day und Stern 2011). Kritisch, da meist instabil, sind Spiral-, lange Schräg- oder Trümmerfrakturen (Lögters und Windolf 2015). Ebenso sollten Frakturen mit Gelenkbeteiligung, Rotationsfehlstellung oder Verkürzung

---

operativ behandelt werden. Dabei ist zu beachten, dass der durch den operativen Eingriff verursachte Schaden am filigranen Weichteilmantel der Finger möglichst gering gehalten werden sollte, um das Risiko von Adhäsionen oder Infektionen im Operationsgebiet und damit die Notwendigkeit von Revisionseingriffen zu reduzieren (Day und Stern 2011). Trotzdem muss eine stabile Frakturversorgung gewährleistet werden, um einer Dislokation als Folge frühzeitiger Mobilisation vorzubeugen (Logters et al. 2017). Um ein zufriedenstellendes funktionelles postoperatives Ergebnis zu erhalten, werden an die operative Versorgung von Fingergrundgliedfrakturen somit hohe Ansprüche gestellt.

### **1.3.2 Geschichte der operativen Frakturversorgung**

Bis ins frühe 20. Jahrhundert hinein wurden Fingerfrakturen stets konservativ behandelt, die operative Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen ist eine Entwicklung, die sich vollständig in den vergangenen 90 Jahren abgespielt hat (Day und Stern 2011). Bereits in den Sechzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts wurden, mit der Intention einer statischen Frakturversorgung, Versuche einer internen Fixation mit einem subkutan abgeschnittenen Draht unternommen (James 1962). Ebenso wurde früh erkannt, dass durch Ruhigstellung der Fingergelenke in Streckstellung Extensionskontrakturen in den Grundgelenken (durch Schrumpfung der in Extensionsstellung entspannten Kollateralbänder) sowie Beuge- oder Streckkontrakturen der Mittelgelenke resultierten (Anderhuber 2012; James 1962). Auf Grundlage dieser Erkenntnis entwickelte James die noch heute angewendete „Safe-Position“ oder „Intrinsic-Plus-Stellung“ (30–40° Extension im Handgelenk, 70–90° Flexion in den Metacarpophalangealgelenken). Durch Schienung in dieser Position wird eine Verkürzung der metacarpophalangealen Kollateralbänder verhindert, während die Möglichkeit zur aktiven und passiven Bewegung der Interphalangealgelenke Kapselschrumpfung in diesem Bereich vorbeugt (James 1970). Zudem wird eine Verlagerung des Strecksehnenapparates nach distal erreicht, was eine intrinsische Schienung des Grundgliedes bewirkt (Burkhalter 1989). Schon früh wurde in der Literatur darauf verwiesen, dass das rasche Mobilisieren des Fingers für den Erhalt seiner Beweglichkeit von großer Bedeutung ist (Moberg 1972). Sonst drohen Sehnenadhäsionen oder Kapselschrumpfung (Day und Stern 2011). Die Mobilisation sollte dabei aufgrund des langsamen Durchbaus des Frakturspalts schon vor der vollständigen Frakturkonsolidierung erfolgen (Smith und Rider 1935).

*CRIF-Verfahren (Closed Reduction Internal Fixation)*

Die bis zur Mitte des vergangenen Jahrhunderts vornehmlich angewendete konservative Frakturversorgung mit früher Mobilisation führte gehäuft zu Deformationen (Joshi 1976). In den 1970er-Jahren gelang es, die Vorteile der chirurgischen Versorgung (höhere Stabilität) mit denen der frühen Mobilisation (bessere finale Gelenkbeweglichkeit) zu verbinden, indem erstmals perkutan eingebrachte Kirschner-Drähte zur Frakturfixierung mit früher Fingermobilisation zur Erhaltung der Gelenkbeweglichkeit kombiniert wurden (Green und Anderson 1973; Joshi 1976). Da die Drähte perkutan eingebracht wurden und das Grundglied zu Reposition und Fixation entsprechend nicht eröffnet werden musste, etablierte sich die Bezeichnung „geschlossene Reposition und interne Fixation“ (engl. „closed reduction and internal fixation“) (Belsky et al. 1984; Verver et al. 2017). Dieser Ansatz bildet die Grundlage der modernen perkutanen Kirschner-Draht-Osteosynthese, die eine ausreichend stabile interne Frakturversorgung mit geringem Weichteilschaden mit der Möglichkeit zur frühen Mobilisation vereint (Alexander et al. 1981). In der BG Unfallklinik Tübingen wird zur operativen Therapie instabiler Fingergrundgliedfrakturen regelhaft die perkutane K-Draht-Osteosynthese eingesetzt. Die im Folgenden beschriebenen ORIF-Verfahren sind aufgrund der dargelegten Nachteile speziellen Indikationen (z.B. Polytraumata, Revisionseingriffe) vorbehalten.

*ORIF-Verfahren (Open Reduction Internal Fixation)*

Durch Entwicklungen im Bereich der Osteosynthesematerialien, die dazu führten, dass auch zur Versorgung filigraner Knochen Platten- und Schraubenosteosynthesysteme vorlagen, ergaben sich mit den ORIF-Verfahren zusätzliche Behandlungsmöglichkeiten (Meals und Meals 2013; Verver et al. 2017). Vorteile der ORIF-Verfahren liegen in der Möglichkeit zur Reposition und Fixation auch komplexer Frakturen sowie der höheren Rigidität und Belastbarkeit der Frakturversorgung (Logters et al. 2017). Der Nachteil offener Repositionsverfahren ist jedoch, dass zur Darstellung der Fraktur und zur offenen Reposition Anteile des Grundgliedes freigelegt werden müssen. Der dadurch entstehende Schaden am Weichteilmantel kann zu Vernarbungen und Verklebungen zwischen Gleitlagern und Implantat führen und Bewegungseinschränkungen nach sich ziehen (Day und Stern 2011; Pratt 1959).

### 1.3.3 Die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese

Während sich die perkutane K-Draht-Osteosynthese als operative Methode zur Behandlung instabiler Fingergrundgliedfrakturen grundsätzlich etabliert hat, existieren bezüglich der Einbringung der K-Drähte durch das Grundgelenk hindurch bzw. an demselben vorbei, dem Kürzen der K-Drähte über bzw. unter Hautniveau und der postoperativen Nachbehandlung unterschiedliche Ansätze.

Bei Kirschner-Drähten handelt es sich um Edelstahl- oder Titandrähte unterschiedlicher Dicke, die in den Knochen eingebohrt werden können. Die Drähte sind flexibel und nach Applikation kürzbar, ihre Spitzen variabel geformt und teilweise mit einem Gewinde versehen (Franssen et al. 2010). K-Drähte, die parallel zur Längsrichtung des Grundgliedes zum Liegen kommen sollen, können grundsätzlich von proximal („antegrad“) und/oder distal („retrograd“) in das Grundglied eingebracht werden (Abbildung 1) (Al-Qattan 2011; Verver et al. 2017). In der BG Unfallklinik Tübingen findet beinahe ausschließlich die antegrade Herangehensweise Anwendung. Um eine ausreichende Rotationsstabilität der Frakturversorgung zu generieren, wird das Einbringen von zwei Drähten empfohlen (Hornbach und Cohen 2001). Die Drahtenden werden nach Applikation in der Regel umgebogen, um eine Migration der K-Drähte zu verhindern (Hargreaves et al. 2004). Aus dem gleichen Grund und um Irritationen des Weichteilgewebes zu verhindern, müssen die K-Drähte nach einigen Wochen wieder entfernt werden (Haapaniemi und Hermansson 1997). Die Indikation wird gestellt, sobald neben beginnenden radiologischen Durchbauungszeichen klinische Hinweise wie fehlender Druckschmerz über dem Frakturspalt vorliegen (Smith und Rider 1935).

#### *Transartikuläre vs. periartikuläre antegrade K-Draht-Osteosynthese*

Bei der antegraden Herangehensweise werden „transartikuläre“ und „periartikuläre“ (auch „extraarticular-pinning“ oder „cross-pinning“) Verfahren unterschieden (Faruqui et al. 2012; Saied und Sabet Jahromi 2018). Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte periartikuläre Einbringung der K-Drähte führt zu Übungsstabilität des Grundgliedes, während die angrenzenden Gelenke (MCP- und PIP-Gelenk) frei bleiben. Im Gegensatz dazu führt die transartikuläre Methode unter Einbringung von Fremdmaterial zur temporären Arthroese des MCP-Gelenks (Abbildung 1).

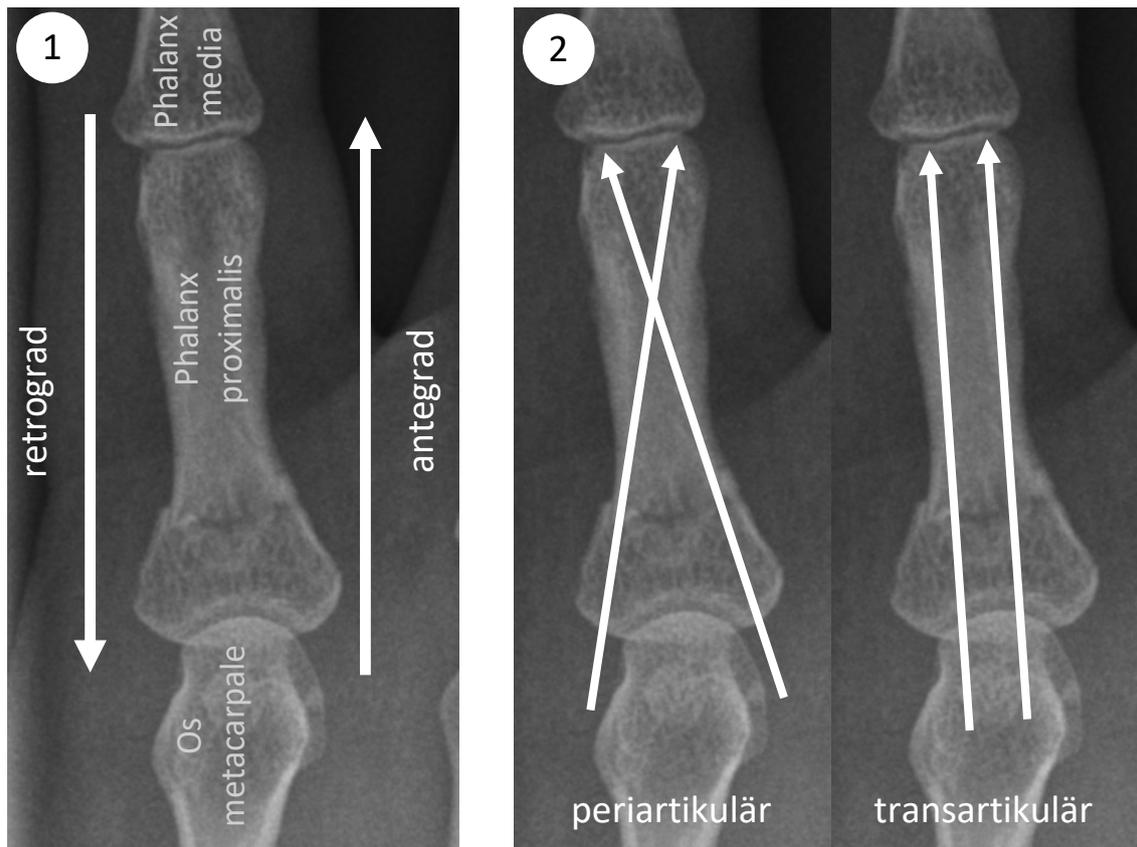


Abbildung 1: (1) Retro- vs. antegrade Einbringung der K-Drähte. (2) Periartikuläre vs. transartikuläre Einbringung der K-Drähte.

Wissenschaftliche Nachweise für die Überlegenheit einer der beiden Methoden (peri- vs. transartikulär) stehen aus (Verver et al. 2017). In einer retrospektiv vergleichenden Studie zeigte sich in der Gruppe der transartikulär eingebrachten Drähte jedoch eine Tendenz zu häufigeren Flexionsdefiziten im MCP-Gelenk und Infektionen (Faruqui et al. 2012). Insgesamt mussten häufiger sekundäre Operationen durchgeführt werden. Die Unterschiede zwischen den Gruppen erreichten jedoch keine statistische Signifikanz. In einer prospektiven Studie wurden 61 Patienten mit Quer- bzw. kurzen Schrägfrakturen der Fingergrundglieder per transartikulärer (29 Patienten) oder periartikulärer (32 Patienten) K-Draht-Osteosynthese versorgt (Saied und Sabet Jahromi 2018). Auch hier waren hinsichtlich des funktionellen Ergebnisses keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Methoden nachweisbar. Limitierend muss erwähnt werden, dass in keiner der beiden Studien Daten zu möglichen Folgeschäden am Gelenkknorpel durch die transartikuläre Drahteinbringung, die zu Arthrose des entsprechenden Gelenks führen könnten, erhoben wurden (Verver et al. 2017). So lässt sich feststellen, dass aus der wissenschaftlichen Literatur keine klare Empfehlung für eine der beiden Methoden

ableitbar ist. Zur frühfunktionellen Nachbehandlung, die auch Bewegungsübungen des MCP-Gelenks miteinschließt, ist das periartikuläre Vorgehen jedoch obligatorisch. Aus diesem Grund wird in der BG Unfallklinik Tübingen ausschließlich die periartikuläre Einbringung der K-Drähte praktiziert.

#### *Kürzen der Drahtenden über vs. unter Hautniveau*

Die Drahtenden können entweder über oder unter Hautniveau gekürzt werden (Lögters und Windolf 2015). Über Hautniveau gekürzte Drähte lassen sich nach erfolgter Frakturkonsolidierung leichter entfernen, schränken jedoch die Alltagstauglichkeit des Patienten durch aufragende Verbände ein und machen aufwendigere Wundpflege und Wundkontrollen bis zur Drahtentfernung notwendig (Terndrup et al. 2018). Alternativ können die Drahtenden auf Hautniveau gekürzt und die Eintrittsstellen mit Einzelknopfnähten verschlossen werden. Ein Vorteil hinsichtlich des Infektionsrisikos ergibt sich daraus laut aktueller Studienlage nicht (Hargreaves et al. 2004; Terndrup et al. 2018). Zudem ist zur Metallentfernung bei unter Hautniveau gekürzten Drähten meist ein kurzer operativer Eingriff obligatorisch. Um bei früh einsetzenden Mobilisationsübungen die Reizung des Haut-/Weichteilmantels zu reduzieren, hat sich das Kürzen unter Hautniveau im klinischen Alltag jedoch bewährt (Lögters und Windolf 2015). Auch an der BG Unfallklinik Tübingen werden die Drahtenden kurz abgeschnitten und unter Hautniveau versenkt, um postoperative Bewegungsübungen schmerzarm zu ermöglichen.

#### **1.3.4 Postoperative Nachbehandlung**

Im Anschluss an die K-Draht-Osteosynthese erfolgt in der Regel eine Immobilisation der MCP-Gelenke in 70–90° Flexionsstellung in einer palmar oder dorsal angelegten Schiene ( $\cong$  konventionell-statisches Nachbehandlungsschema) (Eberlin et al. 2014; Kose et al. 2019; Reformat et al. 2018; Shewring et al. 2018). Empfohlen wird eine Immobilisationsdauer von drei bis vier Wochen (Day und Stern 2011). Aus der Schiene heraus erfolgen Bewegungsübungen der IP-Gelenke. Diese Schienenruhigstellung soll vor allem eine sekundäre Dislokation verhindern. Gegenüber ORIF-Verfahren, die in der Regel unmittelbar postoperativ zu Übungsstabilität des gesamten Fingerstrahles führen, ist die Ruhigstellung nach CRIF jedoch als nachteilig anzusehen. Studien konnten zeigen,

dass die längerfristige Ruhigstellung frakturierter Finger zu schlechteren Ergebnissen hinsichtlich der finalen Beweglichkeit führt (Strickland et al. 1982 zitiert nach Day und Stern 2011; James 1962). Trotzdem ist die postoperative Ruhigstellung nach K-Draht-Osteosynthese nach wie vor gängige Praxis. Auch in der BG Unfallklinik Tübingen stellte die postoperative Schienenruhigstellung (konventionell-statische Nachbehandlung) bis vor wenigen Jahren den Standard dieser Frakturversorgung dar.

Seit einigen Jahren wird in der BG Unfallklinik Tübingen jedoch unter der Annahme, dass durch die perkutane K-Draht-Osteosynthese Übungsstabilität erreicht wird, auf die Ruhigstellung zunehmend verzichtet. Stattdessen werden unmittelbar postoperativ lastfreie Bewegungsübungen sämtlicher Fingergelenke initiiert (frühfunktionelles Nachbehandlungsschema). Mit einer ähnlichen Herangehensweise wurden bereits gute funktionelle Ergebnisse publiziert (Al-Qattan 2010; Al-Qattan 2011). Die genannten Studien unterscheiden sich von der vorliegenden Studie jedoch in der chirurgischen Technik (vorliegende Studie: antegrade, gekürzte Drähte; Al-Qattan (2010/2011): antegrade/retrograde, ungekürzte Drähte), den Einschlusskriterien (vorliegende Studie: Einschluss unterschiedlicher Frakturmorphologien, Al-Qattan (2010/2011): Einschluss transversaler Schaftfrakturen) und in der Fallzahl der nachuntersuchten Patienten (Vorliegende Studie:  $n = 90$ ; Al-Qattan (2010):  $n = 3$ ; Al-Qattan (2011):  $n = 35$ ).

#### **1.4 Fragestellung und Hypothesen**

Bisher konnte sich kein Verfahren als Standard zur operativen Versorgung von Fingergrundgliedfrakturen durchsetzen. Zudem existieren nur wenige Studien, in denen ein frühfunktionelles Nachbehandlungsschema nach perkutaner, periartikulärer K-Draht-Osteosynthese angewendet wurde. So ist die Frage, ob das frühfunktionelle Nachbehandlungsschema nach perkutaner periartikulärer K-Draht-Osteosynthese bei instabilen Fingergrundgliedfrakturen sicher anzuwenden ist und zu besseren funktionellen Ergebnissen als das konventionell-statische Nachbehandlungsschema führt, auf der Grundlage bisheriger wissenschaftlicher Publikationen nicht zufriedenstellend zu beantworten.

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Beurteilung des Behandlungserfolgs nach perkutaner periartikulärer K-Draht-Osteosynthese bei Fingergrundgliedfrakturen sowie die Untersuchung des Einflusses des postoperativen Nachbehandlungsschemas auf das

---

funktionelle Ergebnis. Hierzu wurden Patienten des konventionell-statischen (Kontrollgruppe) und des frühfunktionellen Nachbehandlungsschemas (Experimentalgruppe) rekrutiert und nachuntersucht. Dabei wurden retrospektive und prospektive Daten eines größeren und hinsichtlich der Frakturmorphologie heterogeneren Patientenkollektivs als in den oben genannten Studien analysiert.

Frühe postoperative Bewegungsübungen nach Frakturversorgung, wie sie im frühfunktionellen Nachbehandlungsschema Anwendung finden, sind für den Erhalt bzw. die Wiederherstellung des ursprünglichen Bewegungsumfangs maßgeblich (Green 2011). Daher lautet die erste Hypothese:

1. Der Bewegungsumfang der ehemals frakturierten Finger ist bei Patienten, die mit dem frühfunktionellen Nachbehandlungsschema behandelt wurden, höher als bei Patienten, die mit dem konventionell-statischen Nachbehandlungsschema behandelt wurden (höhere relative Total Active Motion).

Zur Evaluation der Ergebnisse nach handchirurgischen Eingriffen ist neben der Messung klinischer Messparameter wie des Bewegungsumfangs auch die subjektive Patientensicht auf den Funktionszustand der Hand relevant (Germann et al. 2003). Unter der Annahme, dass die subjektive Patientensicht auf die Funktionalität der Hand mitunter vom ihrem Bewegungsumfang abhängt, lautet die zweite Hypothese:

2. Der Grad an Beeinträchtigung bei Funktionen und Aktivitäten des Alltags und die Schwere an Symptomen bei Tätigkeiten, für die die obere Extremität genutzt wird, ist bei Patienten, die mit dem frühfunktionellen Nachbehandlungsschema behandelt wurden, niedriger als bei Patienten, die mit dem konventionell-statischen Nachbehandlungsschema behandelt wurden (niedrigerer Disability of Arm, Shoulder and Hand-Score).

Weiterhin wurden als Nebenzielkriterien die Komplikationshäufigkeit, die Dauer bis zur Frakturkonsolidierung, die Zufriedenheit der Patienten mit der Behandlung, die Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit sowie die Ergebnisse der Messungen von Hand- und Fingerkraft und weiterer Bewegungsmaße untersucht.

## 2. Patienten und Methoden

### 2.1 Patienten

#### 2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Eingeschlossen wurden alle Patienten, die im Zeitraum von 2010 bis 2017 in der BG Unfallklinik Tübingen aufgrund einer Fingergrundgliedfraktur operativ mittels antegrader periartikulärer K-Draht-Osteosynthese versorgt und frühfunktionell oder konventionell-statisch nachbehandelt wurden. Zwischen der operativen Frakturversorgung und dem Zeitpunkt der klinischen Nachuntersuchung lag ein zeitlicher Abstand von mindestens sechs Monaten. Teilnehmende Patienten mussten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung volljährig sein und den Sinn der Studie sprachlich und inhaltlich nachvollziehen können, um in diese einzuwilligen.

Ausgeschlossen wurden Kinder und Jugendliche (< 16 Jahre), bei denen noch nicht vom Schluss der Epiphysenfugen ausgegangen werden konnte, und Patienten hohen Alters (> 80 Jahre), bei denen hohe Prävalenzraten chronisch-degenerativer Gelenksveränderungen vorliegen (Strickland et al. 1982 zitiert nach Day und Stern 2011). Ausschlusskriterien waren zudem multiple Frakturen der Hand, Verletzungen von Sehnen, Blutgefäßen oder Nerven, systemische Erkrankungen mit unmittelbarem Einfluss auf die Funktion des Bewegungssystems und fortgeschrittene degenerative Erkrankungen von Hand- und Fingergelenken. Lagen Funktionseinschränkungen der kontralateralen Hand vor, durch die die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der klinischen Messungen (Bewegungsfähigkeit, Handkraft) nicht gewährleistet gewesen wäre, oder trat eines der oben genannten Ausschlusskriterien unabhängig von und mit zeitlichem Versatz zu der zu untersuchenden Fingergrundgliedfraktur auf (z. B. eine erneute Handverletzung), stellte dies ausschließlich für die prospektive, nicht jedoch für die retrospektive Datenerhebung ein Ausschlusskriterium dar.

Die für die Studie infrage kommenden Patienten wurden über das digitale Operationen-Dokumentationsportal nach ihren ICD-10-Diagnosen vorausgewählt. Zwischen 2010 und 2017 wurden Fingergrundgliedfraktur(en) (ICD-10: S62.61) bei 502 Patienten operativ versorgt. Das resultierende Patientenkollektiv nach Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien bestand aus  $n = 90$  Patienten.

### 2.1.2 Studiendurchführung und Patientenrekrutierung

Dem Ethikantrag auf Bewilligung der Studie wurde am 20.04.2016 unter der Projektnummer 193/2016BO2 durch die Ethik-Kommission der medizinischen Fakultät der Universität Tübingen stattgegeben. Die prospektive Datenerhebung fand im Zeitraum von 01.09.2016 bis 31.07.2018 statt. Zur Kompensation der zeitlichen und finanziellen Aufwendungen erhielten die Patienten eine Aufwandsentschädigung von 50 Euro. Sämtliche Studiendokumente wurden pseudonymisiert. Es existiert lediglich eine auf den Servern der BG Unfallklinik Tübingen gespeicherte Identifikationsliste, mit der eine Zuordnung von Studiendaten und Patienten möglich ist.

Die eingeschlossenen Patienten wurden zunächst postalisch über die Studie informiert und anschließend telefonisch hinsichtlich ihrer Zustimmung zur Studienteilnahme und zu einer Nachuntersuchung im Rahmen der Studienteilnahme befragt. Das Patientenanschreiben informierte über Studiendurchführung, Ziele, Vertraulichkeit, Risiken und Nebenwirkungen der Studie. Die Einwilligungserklärung zur Studienteilnahme (Anhang A), die Datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung (Anhang B), ein Anamnesebogen (Anhang C), der DASH-Fragebogen (inklusive DASH-Arbeitsmodul; Anhang D), der PRWE(Patient-Rated Wrist Evaluation)-Fragebogen und ein vorfrankierter Rücksendeumschlag waren beigelegt.

Von den 90 möglichen Patienten wurden sieben aufgrund von Kriterien, die eine Vergleichbarkeit prospektiver Studienergebnisse nicht zugelassen hätten, von einer Nachuntersuchung ausgeschlossen und retrospektiv analysiert. Von den restlichen 83 Patienten wurden 65 telefonisch erreicht, 46 erklärten sich zu einem Nachuntersuchungstermin in der BG Unfallklinik Tübingen bereit, fünf weitere schickten die ausgefüllten Fragebögen zurück, wollten aber keinen angebotenen Nachuntersuchungstermin wahrnehmen. Vierzehn Personen konnten aus zeitlichen oder persönlichen Gründen nicht an der prospektiven Datenerhebung teilnehmen. Von den übrigen 18 Patienten waren 17 telefonisch nicht erreichbar ( $n = 17$ ), ein Patient war zum Zeitpunkt der Datenerhebung verstorben.

### 2.1.3 Studienpopulation

Die gesamte Studienpopulation beinhaltete  $n_{gesamt} = 90$  Patienten. Ausgewertet wurden retrospektive Daten aus der klinischen Behandlungsdokumentation. Von  $n_{pro} = 51$  der 90

Patienten wurden mittels Selbstberichtsfragebögen zusätzlich prospektive Daten zum Therapieerfolg aus Patientensicht erhoben (Rücklaufquote: 56,7 %). Zudem fanden bei 46 der 51 Patienten klinische Nachuntersuchungen zur Messung von Handkraft und -beweglichkeit in der BG Unfallklinik Tübingen statt (Teilnahmequote: 51,1 %).

Unter den 90 Patienten des Gesamtkollektivs ( $n_{gesamt} = 90$ ) befanden sich 41 Patienten mit frühfunktioneller Nachbehandlung (Experimentalgruppe) und 49 Patienten mit konventionell-statischer Nachbehandlung (Kontrollgruppe). In der prospektiven Studienpopulation ( $n_{pro} = 51$ ) wurden 30 Patienten frühfunktionell und 21 Patienten konventionell-statisch nachbehandelt (Abbildung 2).

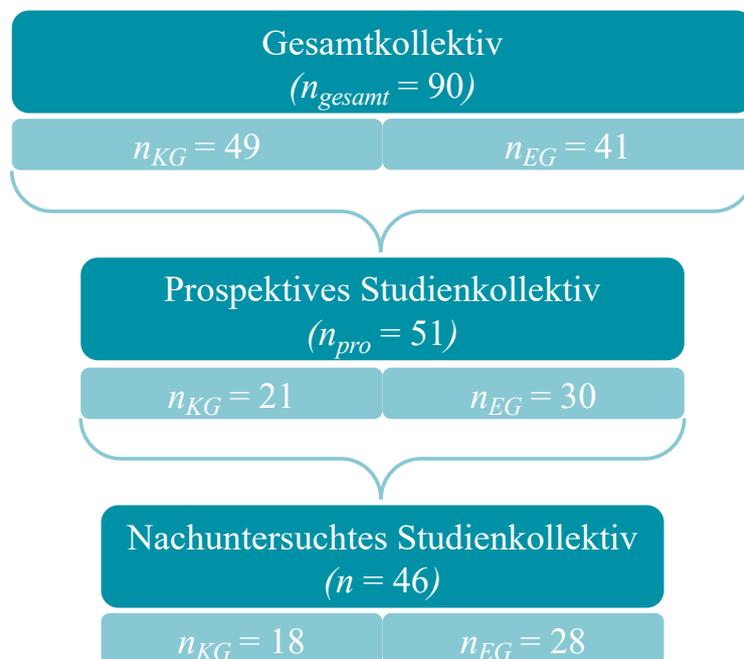


Abbildung 2: Übersicht der Studienkollektive mit jeweiliger Gruppengröße (KG = Kontrollgruppe; EG = Experimentalgruppe).

## 2.2 Studiendesign

Die kombiniert retro- und prospektive klinische Studie war als Between-Subjects Design aufgebaut. Der Between-Faktor und gleichzeitig die unabhängige Variable dieser Studie war die Nachbehandlungsmethode mit zwei Faktorstufen (frühfunktionell, konventionell-statisch). Als abhängige Variablen wurden die subjektive Beeinträchtigung bei Funktionen und Aktivitäten des Alltags und die Schwere an Symptomen bei Tätigkeiten

der oberen Extremität durch den DASH-Score ( $n = 51$ ) sowie der Bewegungsumfang der ehemals frakturierten Finger durch die Total-Active-Motion ( $TAM_{rel}$ ) ( $n = 46$ ) erfasst.

Weiterhin wurden retrospektiv erhobene Daten der gesamten Studienpopulation ( $N_{gesamt} = 90$ ) deskriptiv hinsichtlich demographischer, die Frakturprävalenz betreffender und behandlungsspezifischer Maßzahlen ausgewertet und die Anzahl aufgetretener behandlungsbedürftiger Komplikationen erfasst. In der prospektiven Studienpopulation ( $n_{pro} = 51$ ) wurden weitere anamnestiche Angaben und Antworten aus beschwerde- und funktionsbezogenen Fragebögen analysiert, die den Behandlungserfolg aus subjektiver Patientensicht beurteilen lassen. Fünf der 51 Patienten schickten lediglich die ausgefüllten Fragebögen zurück, bei 46 der 51 Patienten fanden klinische Nachuntersuchungen mit Messungen von Handkraft und -beweglichkeit statt.

## **2.3 Behandlungsmethode**

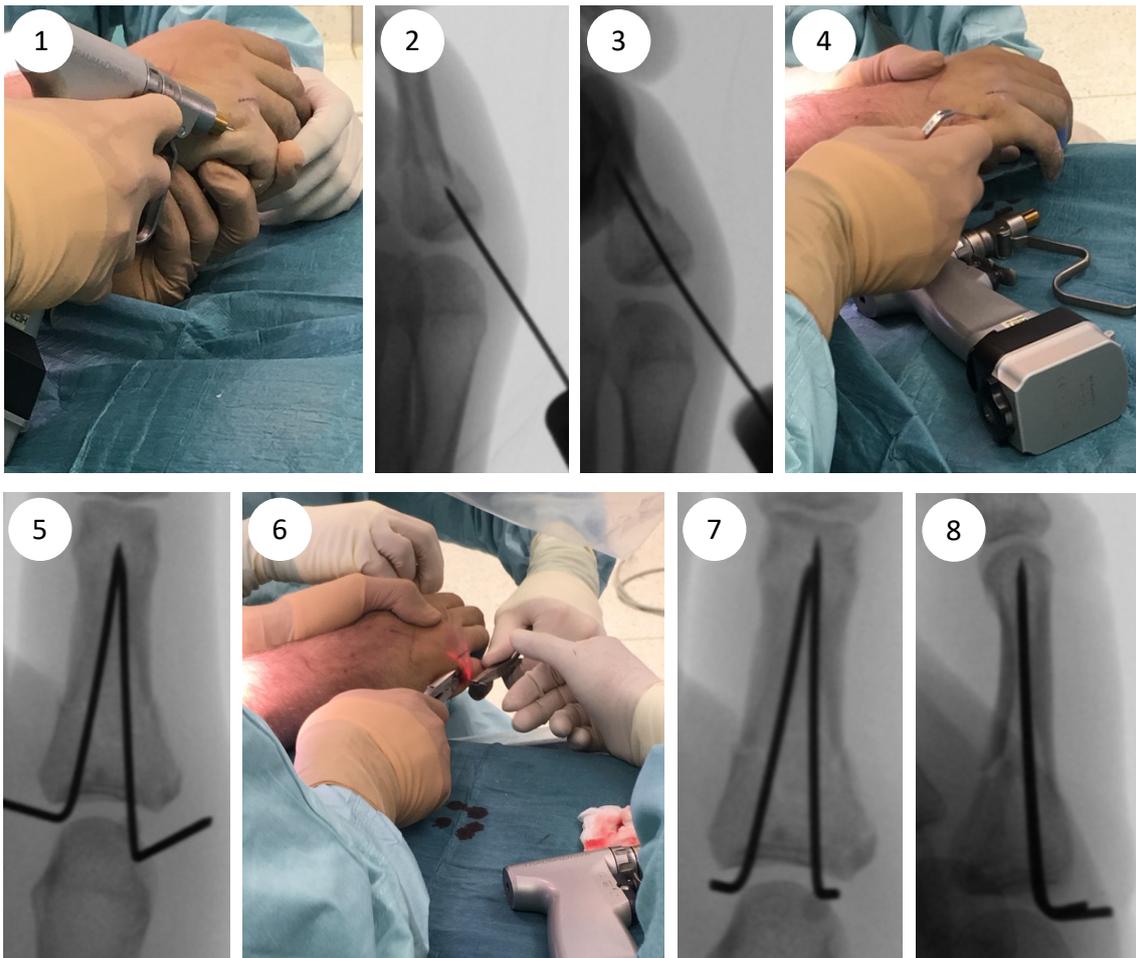
### **2.3.1 Klinische Untersuchung und OP-Indikation**

Die Patienten wurde entweder zur primären Behandlung in der Ambulanz der BG Unfallklinik Tübingen vorstellig oder von niedergelassenen Ärzten und anderen Kliniken zur Frakturversorgung überwiesen. Regelmäßig erfolgte eine ausgiebige klinische Untersuchung der Hand, mit besonderem Augenmerk auf Dislokation (Rotationsfehler, Versatz, Angulation), peripherer Sensibilität und Durchblutung, Weichteilschwellung, offenen Wunden sowie Bewegungsfähigkeit und -stabilität. Die Indikation zur operativen Versorgung wurde gestellt, wenn eine geschlossene Frakturaufrichtung nicht möglich war und/oder kein stabiles Repositionsergebnis erreicht werden konnte. Die frakturierte Phalanx wurde anschließend, abhängig von der klinischen Symptomatik, in einer Gipsschiene in IP-Stellung bis zur definitiven Versorgung ruhiggestellt.

### **2.3.2 Operation**

Die operative Versorgung der frakturierten Fingergrundglieder fand in Plexusanästhesie und, unter Anlage einer komprimierenden Oberarmmanschette (300 mmHG), in Blutleere der betroffenen Hand statt. Zur Fixation der Frakturen wurden in der Regel zwei K-Drähte dorsal auf Höhe der MCP-Gelenke perkutan eingebracht und periartikulär in die ulnare und radiale Grundgliedbasis vorgebohrt. Unter

Bildwandlerkontrolle erfolgte in Flexionsstellung des MCP-Gelenks und durch axialen Zug am frakturierten Finger die Reposition. Bei zufriedenstellendem Repositionsergebnis wurden die Drähte in das Grundgliedköpfchen vorgebohrt, dabei fand besondere Beachtung, dass sich die Drähte nicht auf Höhe der Fraktur, sondern idealerweise im distalen Drittel der Grundphalanx kreuzten oder in v-förmiger Konfiguration zum Liegen kamen (Abbildung 3).



*Abbildung 3:* Operationsschritte exemplarisch: (1) Einbringen eines K-Drahtes in die ulnare Basis des fünften Grundgliedes. (2) Drahtspitze eines von ulnar eingebrachten K-Drahtes im Bereich des proximalen Frakturfragments. (3) Manuelle Reposition der Fraktur und Vorbohren des Drahtes bis in das Grundgliedköpfchen. (4) Nach Lagekontrolle Umbiegen des herausstehenden K-Drahtendes. (5) Einbringen eines zweiten K-Drahtes in die radiale Basis des Fingergrundgliedes und Lagekontrolle in dorsopalmarer Projektion. (6) Kürzen der Drahtenden unter Hautniveau. (7/8) Abschließende Kontrolle von Frakturstellung und K-Draht-Lage.

In Abhängigkeit von der intraoperativen Situation erfolgten leichte Abwandlungen in Anzahl und Ausrichtung der K-Drähte. Die Übungsstabilität des Fingers musste intraoperativ bestätigt werden. Zu beachten war zudem, dass die Fixation von

Strecksehnenanteilen vermieden wurde und eine freie Beweglichkeit aller Gelenke möglich war (freier Tenodese-Effekt). Die K-Drähte wurden umgebogen, unter Hautniveau gekürzt und die Eintrittsstellen gegebenenfalls mit einer Naht verschlossen. Abschließend erhielten die Patienten einen Kompressionsverband und, je nach Ermessen des Operateurs, zusätzlich eine Gipsschiene in IP-Stellung.

### **2.3.3 Nachbehandlung**

Verglichen wurden in dieser Studie zwei unterschiedliche postoperative Nachbehandlungsschemata. Deren Hauptunterschied lag in der Freilassung (EG) bzw. Fixation (KG) des MCP-Gelenks, wodurch bei frühfunktioneller Nachbehandlung frühe, lastfreie Bewegungsübungen des gesamten Strahles ermöglicht wurden.

#### 1. Das frühfunktionelle Nachbehandlungsschema (Experimentalgruppe)

Das frühfunktionelle Nachbehandlungsschema sieht, unter der Voraussetzung, dass durch die K-Draht-Osteosynthese Übungsstabilität erreicht wurde, eine möglichst frühe postoperative Mobilisation und physiotherapeutische Beübung aller Fingergelenke ohne externe Schienung des betroffenen Fingers vor. Zeigten sich unmittelbar postoperativ stark geschwollene Weichteilverhältnisse oder war es aus analgetischer Sicht notwendig, konnte zunächst für wenige Tage eine Ruhigstellung des Fingers in einer volaren Gipsschiene erfolgen. Zusätzlich konnte vorübergehend eine 8er-Schleife/Buddy-Tape angelegt werden, um das Risiko von Achs- oder Rotationsabweichungen bei dafür gefährdeten Frakturformen zu verringern.

#### 2. Das konventionell-statische Nachbehandlungsschema (Kontrollgruppe)

Das konventionell-statische Nachbehandlungsschema beinhaltete den Wechsel von der postoperativ angelegten Gipsschiene zu einer individuell angepassten, aus thermoplastischem Material gefertigten Kunststoffschiene in IP-Stellung für etwa sechs Wochen. Im Rahmen dieser Studie fanden zwei unterschiedliche Schienen („Mittelhandspange“ und „Doppelflintenschiene“) Anwendung, die im Folgenden unter dem Begriff „Kunststoffschiene“ zusammengefasst werden. Ihnen gemein ist, dass sie unter Fixierung der MCP-Gelenke in 70–90° Flexionsstellung eine kontrollierte Mobilisierung und physiotherapeutische Beübung der Interphalangealgelenke ermöglichen (Abbildung 4).

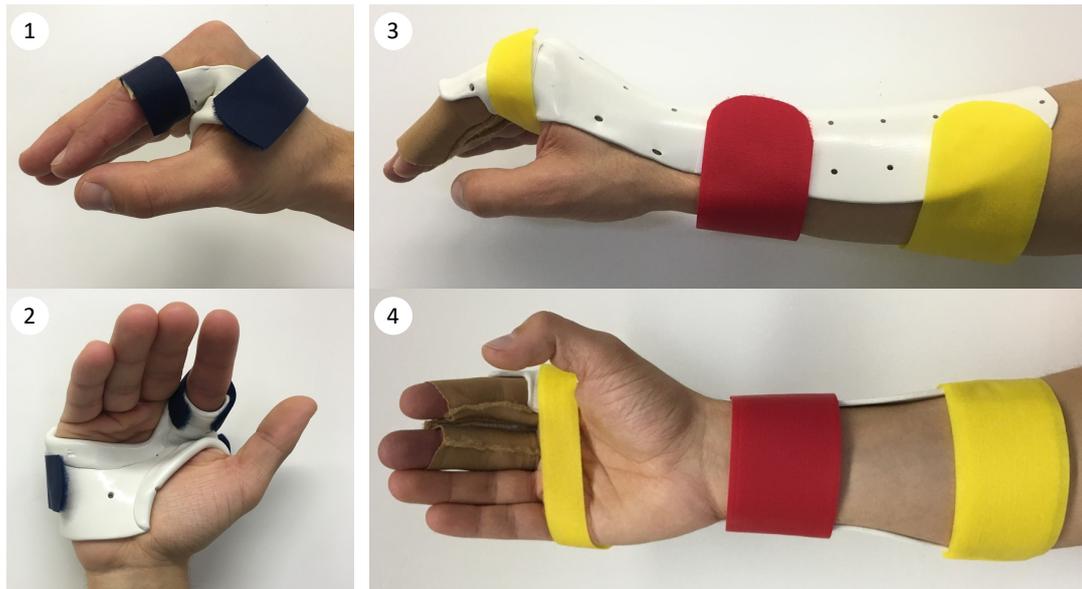


Abbildung 4: (1) Palmar angelegte Mittelhandspange mit Ausleger für D II (radiale Ansicht). (2) Mittelhandspange mit Ausleger für D II (palmare Ansicht). (3) Dorsal angelegte Doppelflintenschiene (radiale Ansicht). (4) Doppelflintenschiene (palmare Ansicht).

### 2.3.4 Kontrolluntersuchungen und Drahtentfernung

Nach erfolgter Osteosynthese erfolgten regelmäßige klinische und röntgenologische Kontrollen. Dies erlaubte einerseits eine Beobachtung des Behandlungsverlaufs, um auf mögliche Komplikationen frühzeitig reagieren zu können, und diente zudem der Einschätzung der Konsolidierungstendenz, um die Indikation zur operativen Entfernung des Osteosynthesematerials zu stellen.

## 2.4 Retrospektive Datenerhebung

Neben Angaben zur Patientendemographie und allgemeinen Behandlungsdaten (Frakturmorphologie, Begleitverletzungen, Operationsdauer, Durchleuchtungsdauer, Draht-Konfigurationen, Nachbehandlung) wurden die Komplikationshäufigkeit und die Dauer bis zur Frakturkonsolidierung bzw. bis zur Metallentfernung untersucht.

### 2.4.1 Komplikationen mit Notwendigkeit zu Folgeoperationen

Im retrospektiven Studienkollektiv wurde die Häufigkeit untersucht, mit der operativ revisionsbedürftige Komplikationen auftraten. Voraussetzung dafür war, dass von den zu analysierenden Patienten Daten über den gesamten Behandlungsverlauf bis hin zum

Therapieende vorlagen. Diese Voraussetzung war erfüllt, wenn ein Patient die auf die operative Versorgung folgenden Kontrolluntersuchungen sowie die Entfernung des Osteosynthesematerials und damit den gesamten Behandlungsverlauf (inklusive etwaiger Folgeoperationen aufgrund von Komplikationen) in der BG Unfallklinik Tübingen durchführen ließ. Die Patienten aber, die für die Weiterbehandlung und Drahtentfernung andere Kliniken oder Ärzte in Niederlassung aufgesucht hatten, gingen für die Beobachtung im Rahmen dieser Studie verloren, sofern sie sich nicht bereit erklärten, an einem klinischen Nachuntersuchungstermin teilzunehmen und die Behandlungsdaten nachzuliefern. Daher wurde die Häufigkeit, mit der operativ revisionsbedürftige Komplikationen auftraten, über ein reduziertes Patientenkollektiv ausgewertet (Abbildung 5).

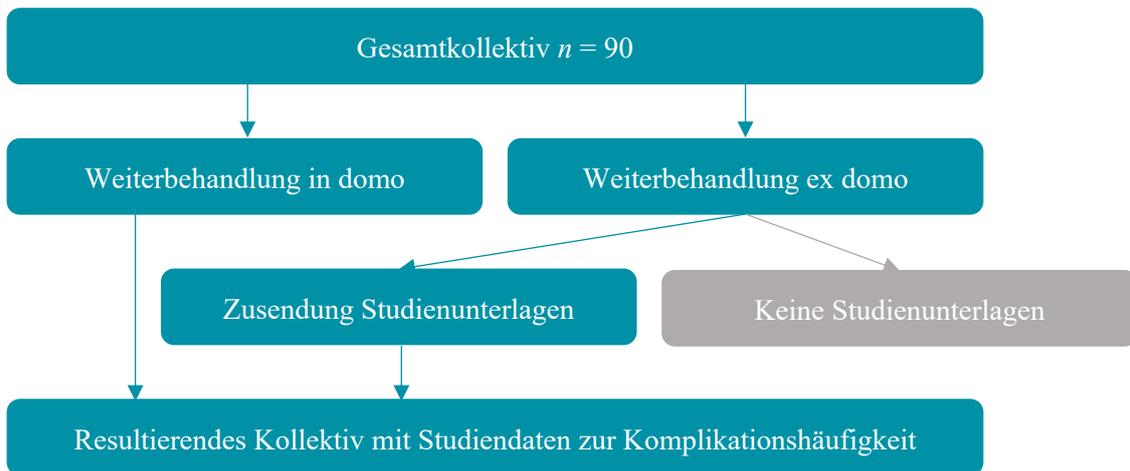


Abbildung 5: Resultierendes Patientenkollektiv zur Auswertung der Komplikationshäufigkeit.

#### 2.4.2 Frakturkonsolidierung und Metallentfernung

Des Weiteren wurden die im Rahmen der Kontrolluntersuchungen erstellten postoperativen Röntgenbilder zur Bestimmung der Frakturkonsolidierungstendenz analysiert. Die Dauer bis zur Frakturkonsolidierung bezeichnet den Zeitraum (in Tagen) zwischen der K-Draht-Osteosynthese und dem Datum, an dem röntgenologisch eine zur Drahtentfernung ausreichende Frakturdurchbauung festgestellt werden konnte.

## 2.5 Prospektive Datenerhebung durch klinische Nachuntersuchung

### 2.5.1 Setting und Anamnese

Die Anamnesegespräche und die klinischen Nachuntersuchungen fanden in den Räumlichkeiten der klinikeigenen ergotherapeutischen Abteilung statt. Die Probanden wurden am Telefon gebeten, die zugeschickten Studienunterlagen wahlweise bereits bearbeitet oder unausgefüllt zur gemeinsamen Erhebung mitzubringen. Eine vollständige Auflistung der Fragen und Antwortmöglichkeiten des Anamnesegesprächs findet sich in Anhang G wieder.

### 2.5.2 Fragebögen und Scores

#### *DASH(Disability of Arm, Shoulder and Hand)-Fragebogen*

Anwendung fand in dieser Studie die ins Deutsche übersetzte Version des DASH-Fragebogens, der 1996 veröffentlicht wurde (Germann et al. 1999). Der DASH-Fragebogen findet heute sowohl in der klinischen Routine als auch im wissenschaftlichen Kontext Anwendung. Er trifft als Selbstberichtsfragebogen eine Aussage über die physische und psychosoziale Funktionalität der oberen Extremität als funktionelle Einheit (Hudak et al. 1996). Der 30 Items umfassende Fragebogen untersucht mit einem 5-stufigen Antwortformat von 1 bis 5 das Maß an Schwierigkeiten bzw. die Schwere der Symptome, die die betreffende Person mit bzw. bei der Ausführung bestimmter, die Funktionalität der oberen Extremität erfordernden Aktivitäten des alltäglichen Lebens in der vergangenen Woche hatte (Anhang D – Anhang E). Der DASH-Fragebogen gilt als reliabel und valide und verfügt über eine hohe interne Konsistenz (Westphal 2007). Durch die breite Anwendung des DASH-Fragebogens in der Forschung wird eine gute Vergleichbarkeit von Studienergebnissen erreicht (Hoang-Kim et al. 2011). Der Punktwert (0–100) errechnet sich nach folgender Formel:

$$DASH - Score = \left( \left( \frac{\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte}}{n} \right) - 1 \right) \times 25$$

Dabei steht n für die Anzahl beantworteter Fragen. Für  $n < 27$  darf der Score nicht berechnet werden. Bei berufstätigen Probanden wurde zusätzlich das DASH-Arbeitsmodul erhoben.

### *PRWE(Patient-Rated Wrist Evaluation)-Fragebogen*

Weiterhin wurde der PRWE-Fragebogen erhoben, der trotz Konzeptionierung als Evaluationsinstrument nach Handgelenksverletzungen auch bei anderen Verletzungen der Hand Anwendung findet (Bashardoust Tajali et al. 2016; MacDermid et al. 1998). Der PRWE-Fragebogen zeichnet sich durch seine hohe Sensibilität für Veränderungen der Funktionalität aus (MacDermid und Tottenham 2004). Fünf der 15 Fragen erheben auf einem 10-stufigen Antwortformat die Stärke der Schmerzen, die in Abhängigkeit von der Beanspruchung der zu untersuchenden Hand auftreten. Die restlichen zehn Fragen beziehen sich auf die Funktionsfähigkeit der Hand, indem das Maß an Schwierigkeiten bei der Ausübung bestimmter Tätigkeiten (zwischen 0 = „keine Schwierigkeiten“ und 10 = „nicht möglich“) quantifiziert wird. Danach werden die Werte für „Schmerzen“ und „Funktion“ in gleicher Gewichtung zu einem Punktwert von 0 (= beste Punktzahl) und 100 (= schlechteste Punktzahl) verrechnet (Anhang F). Dem PRWE-Fragebogen wird eine gute Reliabilität und Validität attestiert (John et al. 2008; Schoneveld et al. 2009).

### **2.5.3 Klinische Untersuchung der Hand**

In der standardisierten klinischen Nachuntersuchung wurde die Hand auf Deformitäten, Narben, Durchblutungs- und Sensibilitätsstörungen und irreguläre Muskeltrophik überprüft. Besonderes Augenmerk lag außerdem auf der Analyse von Achs- oder Rotationsabweichungen des frakturierten Fingers, die als Abweichung um mindestens 10° von der anatomischen Stellung definiert wurden.

### **2.5.4 Kraftmessung**

Zur Messung der Handkraft wurde auf ein softwarebasiertes System der Firma Biometrics Ltd. zurückgegriffen, das im ergotherapeutischen Bereich der handchirurgischen Abteilung der BG Unfallklinik Tübingen sowohl zu Evaluations- als auch zu Therapie- und Übungszwecken verwendet wird. In der Nachuntersuchung fanden die folgenden Systemkomponenten Anwendung: „E-Link Software (Version 8)“, „Resistance Control Unit (RCU)“ des „Upper Limb Exerciser (E3000)“ als Schnittstelle zwischen Software und Messinstrument sowie „Hand Kit (H400)“ mit digitalen Dynamometer (G100) und Pinchmeter (P100) (Abbildung 6).



Abbildung 6: Links: Dynamometer G100 und Kraftmessung in der Position „Kraftgriff“. Rechts oben: Pinchmeter P100 und Kraftmessung in der Position „Schlüsselgriff“. Rechts unten: Kraftmessung in der Position „Pinzettengriff“.

### *Kraftgriff*

Zur Kraftmessung anhand des Kraftgriffes mittels Jamar-Dynamometer wurden die Patienten gebeten, eine bequeme Sitzposition mit geradem Rücken und auf den Boden aufgesetzten Füßen einzunehmen. Im Schultergelenk war eine 0°-Abduktions-/Adduktionsstellung (angelegter Oberarm), im Ellenbogengelenk eine 90°-Flexions- und 0°-Semipronationsstellung herzustellen. Nach Demonstration der Funktionsweise des Dynamometers durch den Versuchsleiter wurde den Probanden das Dynamometer in oben beschriebener Körperhaltung in die Hand gelegt. Es folgte die Anweisung, maximale Kraft auf den Griff des Dynamometers auszuüben. Die Messung der Griffkraft erfolgte in Handgriffposition zwei des Jamar-Dynamometers und wurde jeweils im Wechsel dreimal pro Seite durchgeführt. Zeigte sich der durch die Software berechnete Variationskoeffizient über die drei Messungen pro Seite größer als 15 %, wurde die Messung nach zweiminütiger Regenerationspause vollständig wiederholt, um Incompliance vonseiten der Probanden oder Ermüdungsgeschehen durch zu kurz aufeinanderfolgende Messereignisse als Ursache der hohen Variabilität auszuschließen.

Neben der absoluten Griffkraft ( $Kraftgriff_{abs}$  (in kg)) wurde die relative Griffkraft ( $Kraftgriff_{rel}$  (in %)) als Verhältnis zur gesunden Gegenseite betrachtet:

$$Kraftgriff_{rel} = \frac{Kraftgriff_{frakturierte\ Hand_{abs}}(in\ kg)}{Kraftgriff_{nicht-frakturierte\ Hand_{abs}}(in\ kg)}$$

#### *Daumenopposition und Präzisionsgriffe*

Analog wurden mithilfe des Pinchmeters („pinch“ = engl. für „Zangengriff“) Kraftmessungen für „Oppositionsgriff<sub>rel</sub>“ (in %) (= Kraft zwischen ehemals frakturiertem Finger und opponiertem Daumen im Verhältnis zur Gegenseite), „Schlüsselgriff<sub>rel</sub>“ (in %), „Dreipunktgriff<sub>rel</sub>“ (in %) und „Pinzettengriff<sub>rel</sub>“ (in %) durchgeführt.

### **2.5.5 Beweglichkeitsmessung**

Zur orientierenden Beurteilung der Fingerbeweglichkeit wurden der Fingernagel-Tisch-Abstand (FNTA) sowie der Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand (FKHA) erhoben. Zur exakten Bestimmung des Hand- und Fingerbeweglichkeitsausmaßes nach der Neutral-Null-Methode wurde erneut auf das System der Biometrics Ltd. zurückgegriffen. Zum Einsatz kam neben den oben genannten Komponenten das „Range of Motion Kit (R400)“ mit Goniometer N100 (Abbildung 9). Hierzu nahm der Proband die gleiche Sitzposition wie bei der Handkraftmessung ein. Die Messung erfolgte aktiv (durch Probanden ausgeführte Bewegung) und passiv (durch Untersucher ausgeführte Bewegung).

#### *Fingernagel-Tisch- (FNTA) und Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand (FKHA)*

Zur Messung des FNTA platzierte der Patient seine Hand (Handrücken zeigte zur Tischplatte) auf den Tisch und versuchte, in maximaler Dorsalextension Kontakt zwischen jedem der fünf Fingernägel und der Tischplatte herzustellen. Gelingt dies nicht, wurde der Abstand zwischen Fingernagel und Tischplatte gemessen. Der FKHA wurde gemessen, indem der Patient versuchte, mit seinen Fingerkuppen (Finger zwei bis vier) in Palmarflexion die proximale Beugefurche (Linea carpi palmaris proximalis) der Handinnenfläche zu berühren. War die Berührung an einem oder mehreren Fingern nicht möglich, wurde der Abstand zwischen Beugefurche und Fingerkuppe gemessen. Existierte kein Abstand zwischen Fingernagel und Tischoberfläche respektive

Fingerkuppe und Hohlhandfurche (Abstand = 0 cm), wurde das Ergebnis als „keine Einschränkung“ gewertet. Ein Abstand zwischen 0,1 und 1,0 cm wurde als geringfügige Einschränkung und ein Abstand > 1,0 cm als höhergradige Einschränkung beurteilt.

### *Streck- und Beugedefizite einzelner Fingergelenke*

Zur Bestimmung des aktiven Bewegungsausmaßes jedes Fingergelenks (MCP-, PIP- und DIP-Gelenk) wurde das Goniometer in den Gelenkstellungen „maximale Dorsalextension“ (Anleitung des Probanden: „Strecken bzw. Überstrecken Sie ihre Finger soweit wie möglich Richtung Decke“) und „maximale Palmarflexion“ (MCP-Gelenk: „Bitte machen Sie eine möglichst enge Faust“; DIP- und PIP-Gelenke: „Bitte machen Sie eine möglichst enge kleine Faust“) an der Dorsalseite der Finger angelegt (Abbildung 7). Der Begriff „kleine Faust“ beschreibt eine Gelenkstellung, bei der in Extension der MCP-Gelenke die proximalen und distalen Interphalangealgelenke maximal flektiert sind. Dies dient zum einen der Vereinfachung des Messvorgangs mittels Goniometer (in der Fauststellung besteht keine Möglichkeit, das Goniometer über dem PIP- und DIP-Gelenk zu platzieren und das Bewegungsausmaß zu messen), zum anderen der Entspannung des Strecksehnenapparates, der andernfalls zur artifiziellen Verkleinerung des Beugungsumfangs der PIP- und DIP-Gelenke geführt hätte.

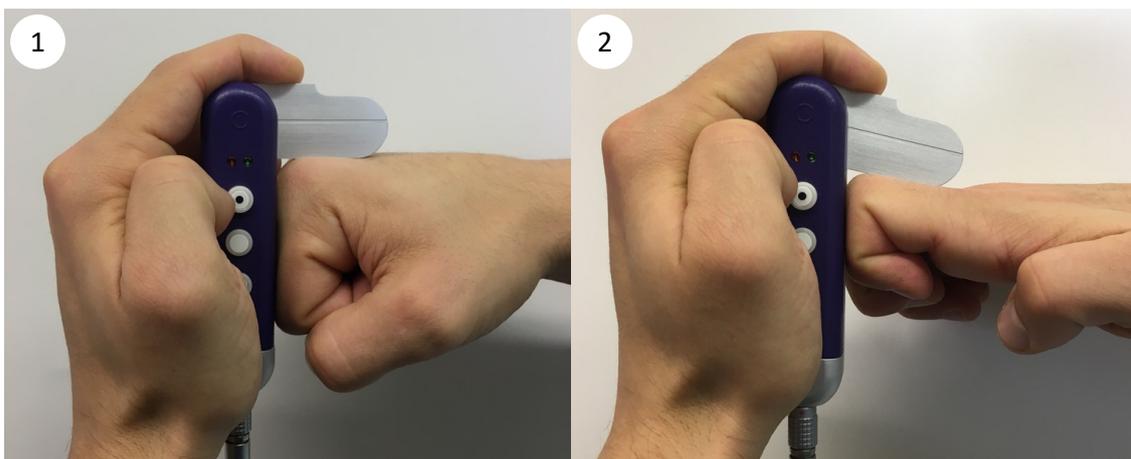


Abbildung 7: (1) Messung aktive Flexion MCP-Gelenk DII rechts mit Goniometer N100. (2) Messung aktive Flexion PIP-Gelenk DII rechts.

Der Verlust an Extensionsfähigkeit (= „Extensionsverlust“) in einem Gelenk lässt sich als Differenz zwischen der maximal erreichbaren Extensionsstellung des Gelenks der

gesunden Gegenseite und der des frakturierten Fingers beschreiben (analoge Berechnung für den Verlust an Flexionsfähigkeit (= „Flexionsverlust“)):

$$\text{Extensionsverlust } (^\circ)_{\text{Gelenk}} = \text{Ext. } (^\circ)_{\text{Gelenk}_{\text{nicht-frakturiertes Finger}}} - \text{Ext. } (^\circ)_{\text{Gelenk}_{\text{frakturiertes Finger}}}$$

Um neben der rein quantitativen Auswertung der Extensions- bzw. Flexionsverluste eine Aussage über die Anzahl an Probanden treffen zu können, deren Beweglichkeitsverluste ein relevantes Ausmaß erreichen, wurden die Probanden anhand des folgenden Algorithmus klassifiziert. Im Rahmen dieser Studie galt als relevantes „Streckdefizit“, wenn folgende Kriterien erfüllt waren:

1. Das betrachtete Gelenk wies am frakturierten Finger ein absolutes Extensionsdefizit auf (die Neutralstellung (= 0°) wurde nicht erreicht).
2. Die Gelenkbeweglichkeit am frakturierten Finger war im Vergleich zum kontralateralen gesunden Fingergelenk um mehr als 15° eingeschränkt (entsprechend dem Kriterium bei Faruqi et al. (2012)).

Tabelle 1 stellt das Vorgehen zur Bestimmung eines relevanten Streckdefizites mithilfe des beschriebenen Algorithmus exemplarisch dar. Analog dazu galt im Rahmen dieser Studie als relevantes „Beugedefizit“, wenn sich, verglichen mit der gesunden Gegenseite, der Verlust an Flexionsfähigkeit in einem Gelenk > 15° darstellte (entsprechend dem Kriterium bei Faruqi et al. (2012)).

Tabelle 1  
*Exemplarische Bestimmung des relevanten Streckdefizites*

	Patient A	Patient B	Patient C
Extension (Gelenk der frakturierten Phalanx)	-39°	-7°	2°
Extension (Gelenk der gesunden Phalanx)	5°	-3°	25°
Kriterium 1	Ja (-39°)	Ja (-7°)	Nein (2°)
Kriterium 2	Ja (44°)	Nein (4°)	Ja (23°)
Beurteilung „relevantes Streckdefizit“	Ja	Nein	Nein

*Anmerkung:* Patienten A, B und C stellen exemplarische Patienten dar. Auf Grundlage der Bewegungsausmaße des betrachteten Gelenks des gesunden und des ehemals frakturierten Fingers erfolgt die Beurteilung, ob ein relevantes Streckdefizit im entsprechenden Gelenk vorliegt.

*Active Range-of-Motion (aROM) und Total Active Motion (TAM)*

Aus der Summe der maximalen Extensions- und maximalen Flexionsstellung eines Gelenks ergab sich das aktive Bewegungsausmaß (aROM) desselben:

$$aROM_{Gelenk} = Flexion_{Gelenk} + Extension_{Gelenk}$$

Tabelle 2 stellt das Vorgehen zur Bestimmung der aROM exemplarisch anhand der Bewegungsausmaße der drei Fingergelenke eines fiktiven Patienten dar.

Tabelle 2

*Exemplarische Bestimmung der active Range-of-Motion (aROM)*

Gelenk	Extension	Flexion	Neutral-Null (Ex/Flex)	aROM <sub>Gelenk</sub>
DIP-Gelenk	10°	72°	10-0-72	82°
PIP-Gelenk	-12°	96°	0-12-96	84°
MCP-Gelenk	20°	87°	20-0-87	107°

*Anmerkung:* Die Bestimmung der aROM erfolgt anhand der Bewegungsausmaße von DIP-, PIP- und MCP-Gelenken eines exemplarischen Patienten. DIP-Gelenk = distales Interphalangealgelenk. PIP-Gelenk = proximales Interphalangealgelenk. MCP-Gelenk: Metacarpophalangealgelenk.

Für die Beurteilung der Gesamtbeweglichkeit des Fingers hat sich, anstatt die Einzelwerte der Gelenke aufzuaddieren, in der Literatur eine alternative Berechnungsweise etabliert. Die „Total Active Motion“ (TAM<sub>abs</sub>) berücksichtigt die Hyperextensionsfähigkeit nicht und berechnet sich aus Gesamtflexionsfähigkeit und gegebenenfalls bestehendem Extensionsdefizit (Kleinert und Verdan 1983):

$$TAM_{abs} = (Flexion_{DIP} + Flexion_{PIP} + Flexion_{MCP}) - (Extionsdefizit_{DIP} + Extensionsdefizit_{PIP} + Extensionsdefizit_{MCP})$$

Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden die Probanden ihren TAM<sub>abs</sub>-Werten nach klassifiziert (entsprechend der Einteilung nach Page und Stern (1998)) (Tabelle 3):

Tabelle 3

*Total Active Motion-Klassifikation nach Page and Stern (1998)*

TAM <sub>abs</sub> > 240°	Exzellente Bewegungsfähigkeit
TAM <sub>abs</sub> zwischen 220°–240°	Gute Bewegungsfähigkeit
TAM <sub>abs</sub> zwischen 180°–219°	Mittelmäßige Bewegungsfähigkeit
TAM <sub>abs</sub> < 180°	Schlechte Bewegungsfähigkeit

Anmerkung: TAM<sub>abs</sub> = absolute Total Active Motion.

Um interindividuellen Unterschieden zwischen den Probanden Rechnung zu tragen, wurden die TAM-Werte zudem als Relativwert (TAM<sub>rel</sub>) im Verhältnis zum gesunden Finger der Gegenseite betrachtet:

$$TAM_{rel} = \frac{TAM \text{ (frakturierter Finger)}_{abs}}{TAM \text{ (nicht-frakturierter Finger)}_{abs}}$$

#### *Passive Range-of-Motion und Total Passive Motion (TPM)*

Bei der Messung des passiven Bewegungsausmaßes wurde analog vorgegangen, mit dem Unterschied, dass die Einnahme der Messposition der einzelnen Fingergelenke nicht durch aktiven muskulären Zug des Probanden, sondern durch Manipulation der Fingergelenksstellung durch den Untersucher herbeigeführt wurde. Zur Berechnung der Total Passive Motion wurde die gleiche Formel wie für die Berechnung der Total Active Motion verwendet. Zur Berücksichtigung individueller Unterschiede zwischen den Probanden, die unabhängig von der zu untersuchenden Verletzung bestanden, wurde die Fingerbeweglichkeit, ebenso wie die Hand- und Fingerkraft, ins Verhältnis zur Gegenseite gesetzt. Tabelle 4 gibt einen Überblick über alle für die Auswertung relevanten erhobenen Variablen aus der Nachuntersuchung von Handkraft und -beweglichkeit.

Tabelle 4  
*Relevante Variablen der Handkraft- und Bewegungsmessungen*

Konstrukt	Erhobene Variable	Einheit
Handkraftmessung	Kraftgriff <sub>abs</sub>	kg
	Kraftgriff <sub>rel</sub>	%
	Oppositionsgriff <sub>rel</sub>	%
	Schlüsselgriff <sub>rel</sub>	%
	Dreipunktgriff <sub>rel</sub>	%
	Pinzettengriff <sub>rel</sub>	%
Orientierende Bewegungsmessung	FKHA	cm
	FNTA	cm
	Häufigkeit „eingeschränkter FKHA“	n
	Häufigkeit „eingeschränkter FNTA“	n
Exaktes isoliertes Bewegungsausmaß	Extensionsverluste (DIP-, PIP-, MCP-Gelenk)	° (Grad)
	Häufigkeit „Streckdefizit in DIP-/PIP-/MCP-Gelenk“	n
	Flexionsverluste (DIP-, PIP-, MCP-Gelenk)	° (Grad)
	Häufigkeit „Beugedefizit in DIP-/PIP-/MCP-Gelenk“	n
Exaktes globales Bewegungsausmaß	TAM <sub>abs</sub>	° (Grad)
	Häufigkeiten TAM <sub>abs</sub> -Kategorie	n
	TAM <sub>rel</sub>	%
	TPM <sub>abs</sub>	° (Grad)
	TPM <sub>rel</sub>	%

*Anmerkung:* Übersicht über die für die statistische Auswertung relevanten Variablen der Handkraft- und Bewegungsmessungen. abs = absolut. rel = relativ. FKHA = Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand. FNTA = Fingernagel-Tisch-Abstand. n = Anzahl Patienten. DIP-Gelenk = distales Interphalangealgelenk. PIP-Gelenk = proximales Interphalangealgelenk. MCP-Gelenk = Metacarpophalangealgelenk. TAM = Total Active Motion. TPM = Total Passive Motion.

## 2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics (Version 25, IBM Corp., 2017). Das Signifikanzniveau für alle Analysen wurde auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt. Deskriptive Daten wurden bei anzunehmender Normalverteilung

---

als Mittelwert und Standardabweichung ( $MW \pm SD$ ) angegeben, bei nicht-normalverteilten Daten als Median und 1./3. Quartil ( $Mdn, Q1-Q3$ ).

### 2.6.1 Hypothesentestung und Hauptstudienresultate

Zur Überprüfung von Gruppenunterschieden hinsichtlich der primären Zielkriterien „DASH-Score“ und „TAM<sub>rel</sub>“ wurden univariate multifaktorielle (Ko-)Varianzanalysen gerechnet. Als Voraussetzung wurden Varianzhomogenität und Normalverteilung innerhalb der Gruppen überprüft. Bei nicht gegebener Normalverteilung wurde logarithmisch transformiert. Zur Prüfung möglicher Kovariablen für die Analysen wurden die beiden Gruppen auf Unterschiede hinsichtlich der Verteilung demographischer, frakturmorphologischer und behandlungsspezifischer Variablen untersucht.

### 2.6.2 Analysen der Nebenzieldaten

Zur explorativen Analyse weiterer Zielkriterien erfolgte der Einsatz folgender Tests:

#### *Chi-Quadrat-Test*

Zur Analyse der Verteilung unabhängiger, nominalskalierten Variablen zwischen den beiden zu vergleichenden Gruppen wurden Kreuztabellen erstellt und Chi-Quadrat-Tests gerechnet. Bei 2x2 Kreuztabellen und erwarteten Zellhäufigkeiten  $< 5$  wurde statt des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson der Exakte Fisher-Test berechnet (Finney 1948).

#### *Mann-Whitney-U-Test*

Lagen ordinalskalierte oder nicht-parametrisch verteilte metrische Daten vor, wurde der Mann-Whitney-U-Test eingesetzt. Zur Effektstärkeberechnung wurde der Korrelationskoeffizient  $r$  bestimmt und nach Cohen interpretiert (Cohen 1992).

#### *T-Test für unabhängige Stichproben*

Handelte es sich bei den Maßzahlen um intervallskalierte Daten, konnte bei gegebener Normalverteilungsannahme, Varianzhomogenität in den zu vergleichenden Gruppen und ausreichender Gruppengröße der T-Test für unabhängige Stichproben angewendet werden (Weiß 2013). Als Effektstärkemaß wurde Cohen's  $d$  berechnet (Cohen 1988).

### 3. Ergebnisse<sup>1</sup>

#### 3.1 Patienten

Die untersuchte Studienpopulation ( $n = 90$ ) bestand aus 27 Frauen (30,0 %) und 63 Männern (70,0 %), die zum Zeitpunkt der Operation zwischen 16 und 75 ( $MW = 41,26$ ,  $SD = 16,68$ ) Jahre alt waren. Die beiden Nachbehandlungsgruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich der Geschlechterverteilung (EG: 63,4 % Männer; KG: 75,5 % Männer; Fisher-Test:  $p = 0,252$ ) sowie hinsichtlich des Alters der Patienten (EG:  $39,88 \pm 16,44$ ; KG:  $42,41 \pm 16,95$ ; T-Test:  $t(88) = -0,72$ ,  $p = 0,477$ ).

#### 3.2 Frakturverteilung und Verletzungsmorphologie

In 53 Fällen (58,9 % bei  $n = 90$ ) frakturierten Finger der linken Hand, in 37 Fällen (41,1 %) Finger der rechten Hand. In der KG war das Verhältnis von linker zu rechter Hand 25:24, in der EG waren Frakturen der linken Hand vorherrschend (28:13). Mit 71,1 % war das Grundglied des Kleinfingers am häufigsten betroffen (EG 80,5 %, KG 63,3 %). Der Zeigefinger war in beiden Gruppen das am zweithäufigsten frakturierte Grundglied (EG: 9,8 %; KG: 14,3 %), die Mittel- (D III) und Ringfinger (D IV) folgten dahinter (EG: D III/ D IV: jeweils 4,9 %; KG: D III: 12,2 %, D IV: 10,2 %) (Abbildung 8).

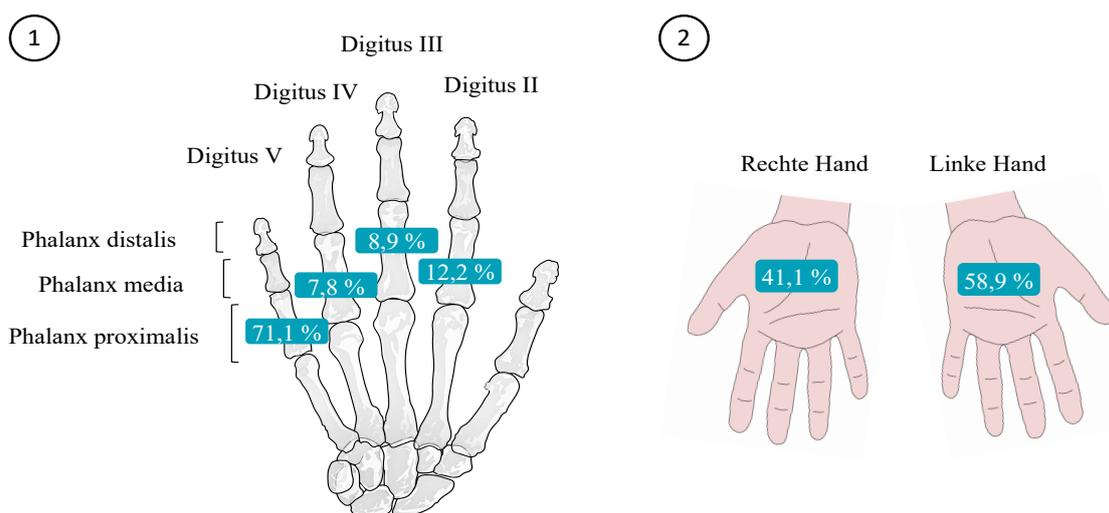


Abbildung 8: (1) Knochen der rechten Hand und Anteil betroffener Fingergrundglieder. (2) Frakturverteilung auf rechte und linke Hand.

<sup>1</sup> Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden in der Fachzeitschrift „Handchirurgie – Mikrochirurgie – Plastische Chirurgie“ zur Veröffentlichung eingereicht, 08.01.2020

Im prospektiven Kollektiv gaben hinsichtlich ihrer Händigkeit 46 Patienten (90,2 %) die rechte Hand als dominante Hand an, fünf Patienten (9,8 %) waren Linkshänder ( $n = 51$ ). In einem Drittel der Fälle ( $n = 17$ ) war die dominante die verletzte Hand, in zwei Drittel der Fälle ( $n = 34$ ) war die nicht-dominante Hand betroffen. Die Verteilung zwischen den Nachbehandlungsgruppen unterschied sich nicht signifikant (Fisher-Test:  $p = 0,183$ ). Tabelle 5 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 5  
*Verteilung der Frakturhäufigkeit nach Handdominanz*

	Frakturiert rechts	Frakturiert links	Gesamt
Dominant rechts	14 (27,5%)	32 (62,7 %)	46
Dominant links	2 (3,9 %)	3 (5,9 %)	5
Gesamt	16	35	51

Am häufigsten lagen isolierte Frakturen von Grundgliedschaft (48,9 %) oder -basis (36,7 %) vor. Lediglich 4,4 % der Fälle wiesen Frakturen im Bereich des Grundgliedkopfes (kapitale- bzw. subkapitale Frakturen) auf. In 10,0 % der Fälle betrafen die Frakturen mehrere Anteile des Grundgliedes. Die Mehrheit der Frakturen stellten einfache quer bzw. transversal verlaufende Frakturen (47,8 %) dar, gefolgt von Mehrfragment- bzw. Trümmerfrakturen (30,0 %), Schräg- (17,8 %) und Spiralfrakturen (4,4 %). Zwischen den Gruppen waren die genannten Frakturtypen nicht signifikant unterschiedlich verteilt (Chi-Quadrat-Test:  $\chi^2(3) = 5,47, p = 0,142$ ). Der häufigste Frakturtyp war die Grundgliedbasisquerfraktur (25,6 %), darauf folgten Schaftquer- (20,0 %), Schaftmehrfragment- (12,2 %) und Schaftschrägfrakturen (10,0 %). Bei 83 der  $n = 90$  untersuchten Fingerfrakturen handelte es sich um Frakturen mit geschlossenem Hautmantel (92,2 %), sieben Finger (7,8 %) wiesen initial durch den Unfallmechanismus entstandene offene Wunden auf. Diese wurden in zwei Fällen frühfunktionell und in fünf Fällen konventionell-statisch nachbehandelt. Eine Gelenkbeteiligung bestand in insgesamt elf Fällen (12,2 %), zwei davon wurden frühfunktionell nachbehandelt, neun konventionell-statisch. Hinsichtlich der Verteilung offener und intraartikulärer Frakturen bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Nachbehandlungsgruppen (Fisher-Tests: offene Frakturen:  $p = 0,298$ ; intraartikuläre Frakturen:  $p = 0,061$ ).

### 3.3 Hauptstudienergebnisse

#### 3.3.1 Total Active Motion (TAM)

##### *Deskriptive Auswertung*

Die TAM<sub>abs</sub> lag im nachuntersuchten Kollektiv ( $n = 46$ ) im Bereich von 93–282° und im Median bei 232,0° (Q1–Q3 = 200,8–253,3°). Patienten der EG erlangten mit dem von der Fraktur betroffenen Finger im Median eine TAM<sub>abs</sub> von 234,0° (Q1–Q3 = 201,5–251,8°), Patienten der KG eine mediane TAM<sub>abs</sub> von 228,5° (Q1–Q3 = 198,0–263,3°). Ausgewertet nach TAM-Kategorien ergab sich die in Tabelle 6 dargestellte Verteilung. Es zeigte sich hinsichtlich der Einteilung in „exzellent“, „gut“, „befriedigend“ und „mangelhaft“ zwischen den Nachbehandlungsgruppen kein signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat-Test:  $\chi^2(3) = 0,39, p = 0,941$ ).

Tabelle 6

*Ergebnisse nach TAM-Kategorien (nach Page and Stern (1998))*

Gruppe	n	TAM-Kategorie (Anzahl (Prozent))			
		exzellent	gut	befriedigend	mangelhaft
EG	28	12 (42,9 %)	6 (21,4 %)	4 (14,3 %)	6 (21,4 %)
KG	18	7 (38,9 %)	5 (27,8 %)	3 (16,7 %)	3 (16,7 %)
Gesamt	46	19 (41,3 %)	11 (23,9 %)	7 (15,2 %)	9 (19,6 %)

*Anmerkung:* TAM = Total Active Motion.  $n$  = Anzahl Patienten. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe.

Ins Verhältnis zur TAM des kontralateralen gesunden Fingers gesetzt, ergab sich für die EG eine mediane TAM<sub>rel</sub> von 90,3 % (Q1–Q3 = 80,1–97,2 %), für die KG eine mediane TAM<sub>rel</sub> von 90,5 % (Q1–Q3 = 68,8–99,0 %). Abbildung 9 stellt die Ergebnisse für TAM<sub>abs</sub> und TAM<sub>rel</sub> der beiden Gruppen gegenüber.

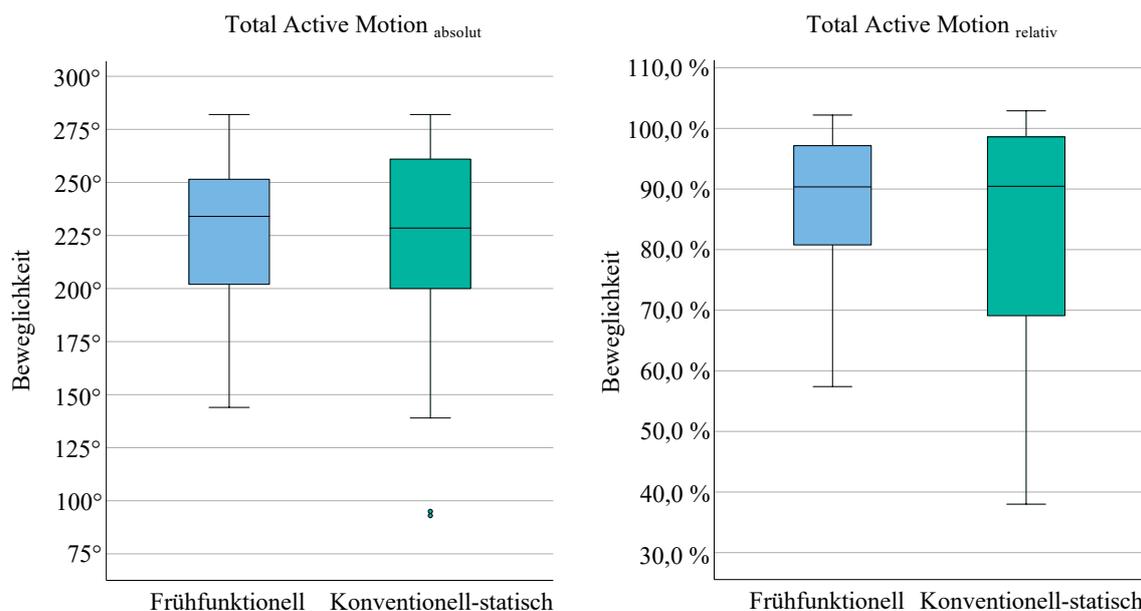


Abbildung 9: Total Active Motion absolut (links) und relativ (rechts) in Abhängigkeit der beiden Nachbehandlungsgruppen „Frühfunktionell“ und „Konventionell-statisch“.

*Hypothesentestung*

Untersucht wurde, ob Patienten, die mit dem frühfunktionellen Nachbehandlungsschema behandelt wurden, signifikant höhere TAM<sub>rel</sub>-Werte aufwiesen als Patienten, die mit dem konventionell-statischen Nachbehandlungsschema behandelt wurden (Hypothese 1). Um potenzielle Kovariablen mit Einfluss auf das Ergebnis der TAM<sub>rel</sub> zu ermitteln, wurden Subgruppenanalysen durchgeführt, die zwischen den Gruppen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Operationsdauer und der Häufigkeit postoperativer Gipsschienenanlage zeigten (Tabelle 7).

Tabelle 7  
*Subgruppenanalyse*

Variable	n	EG	KG	p-Wert
Operationsdauer in Minuten (Mdn) (Q1–Q3)	90	20,0 (15,0–24,5)	24,0 (18,5–38,0)	0,014*
Postoperative Gipsschienenanlage (n) (%)	90	13 (31,7 %)	43 (87,8 %)	< 0,01**

Anmerkung: n = Anzahl Patienten. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe. Mdn = Median. Q1–Q3 = 1. und 3. Quartil. Angewendete statistische Tests: \* Mann-Whitney-U-Test. \*\* Chi-Quadrat-Test.

Zur Untersuchung des Einflusses dieser beiden Variablen auf das Ergebnis der TAM<sub>rel</sub> wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt. Analysiert wurde der Einfluss des festen Faktors „Gruppenzugehörigkeit“ sowie der Kovariablen „Operationsdauer“ und „postoperative Gipsschienenanlage“ auf die abhängige Variable „TAM<sub>rel</sub>“. Für die Kovariable „postoperative Gipsschienenanlage“ zeigte sich kein statistisch signifikanter Haupteffekt ( $F(1,41) = 0,194, p = 0,662$ ). Das Weglassen einer kurzzeitigen postoperativen Ruhigstellung hatte im betrachteten Kollektiv keinen Einfluss auf die TAM<sub>rel</sub>. Ein signifikanter Haupteffekt auf die TAM<sub>rel</sub> ließ sich jedoch für die „Operationsdauer“ ( $F(1,41) = 4,118, p = 0,049$ ) beobachten. Demzufolge hatte die Operationsdauer in der analysierten Stichprobe einen Einfluss auf die TAM<sub>rel</sub>.

Für den Faktor „Gruppenzugehörigkeit“ ( $F(1,41) = 0,002, p = 0,962$ ) zeigte sich unter Kontrolle der Kovariablen „Operationsdauer“ und „postoperative Gipsschienenanlage“ kein statistisch signifikanter Haupteffekt auf die TAM<sub>rel</sub>. Die beiden Nachbehandlungsgruppen unterschieden sich damit in der TAM<sub>rel</sub> nicht signifikant. Entgegen der Erwartung zeigte sich somit, dass frühfunktionell nachbehandelte Patienten keine höheren finalen Bewegungsumfänge der ehemals frakturierten Finger ( $\hat{=}$  TAM<sub>rel</sub>-Werte) erreichten als konventionell-statisch nachbehandelte Patienten.

#### *Einfluss von Alter, Geschlecht und der Frakturart auf die TAM<sub>rel</sub>*

Zusätzlich wurden die Faktoren „Geschlecht“, „Alter“ und „Frakturart“ hinsichtlich ihres Einflusses auf die TAM<sub>rel</sub> untersucht. Hierzu wurden unifaktorielle Varianzanalysen berechnet. Es zeigten sich für die Faktoren „Geschlecht“ ( $F(1,45) = 0,622, p = 0,434$ ) und „Frakturart“ ( $F(3,45) = 0,313, p = 0,816$ ) keine statistisch signifikanten Einflüsse. Die TAM<sub>rel</sub> war im untersuchten Kollektiv demzufolge unabhängig vom Geschlecht der Patienten sowie der Art der Fraktur (Abbildung 10).

Um den Einfluss des Alters auf die TAM<sub>rel</sub> zu untersuchen wurden die Patienten in vier Altersgruppen eingeteilt (siehe Abbildung 11). Die höchste mediane TAM<sub>rel</sub> lag in der Gruppe der 31- bis 45- Jährigen (97,1 %) vor, der geringste Wert in der Gruppe der 46- bis 60- Jährigen (79,5 %). Für den Faktor „Altersgruppe“ konnte ein signifikanter Haupteffekt beobachtet werden ( $F(3,45) = 4,817, p = 0,006$ ). Die TAM<sub>rel</sub> hing damit im beobachteten Patientenkollektiv von der Zugehörigkeit zu einer der Altersgruppen ab.

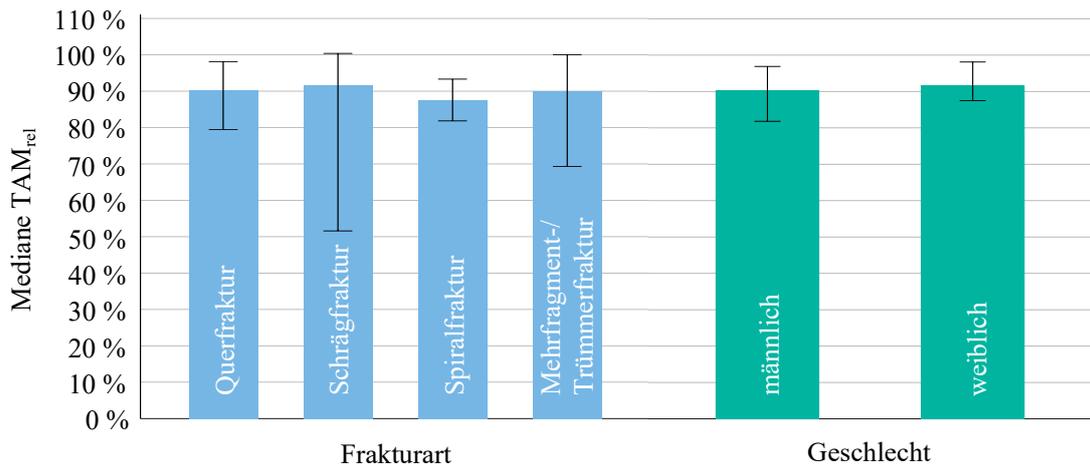


Abbildung 10: Mediane TAM<sub>rel</sub> nach Frakturart und Geschlecht.

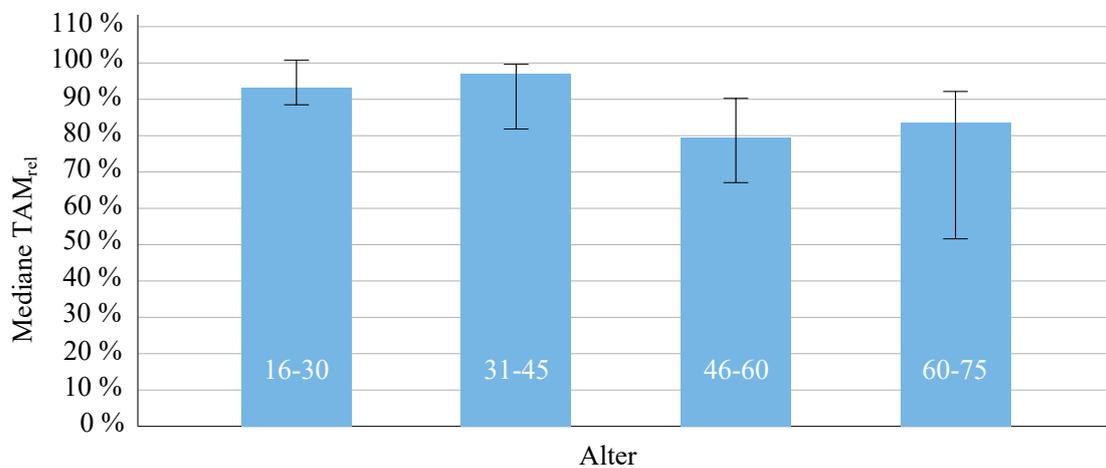


Abbildung 11: Mediane TAM<sub>rel</sub> in Abhängigkeit vom Patientenalter zum Zeitpunkt der Operation.

### 3.3.2 DASH-Fragebogen

#### Deskriptive Auswertung

Die Range der DASH-Scores reichte in der betrachteten Studienpopulation ( $n = 51$ ) von 0,0 bis 81,0 mit einem Median von 1,7 (Q1–Q3 = 0,0–7,5), wobei der DASH-Score 0,0 bei 16 Patienten (31,4 %) und damit am häufigsten vorkam (Abbildung 12). In der EG lag der mediane DASH-Score bei 1,7 (Q1–Q3 = 0,0–6,03). Bei neun Patienten (30,0 %) ergab sich ein DASH-Score von 0,0, was keine Einschränkungen impliziert. In der KG lag mit 2,5 (Q1–Q3 = 0,0–23,35) ein höherer medianer DASH-Score vor. Bei sieben Patienten (33,3 %) betrug der DASH-Score 0,0.

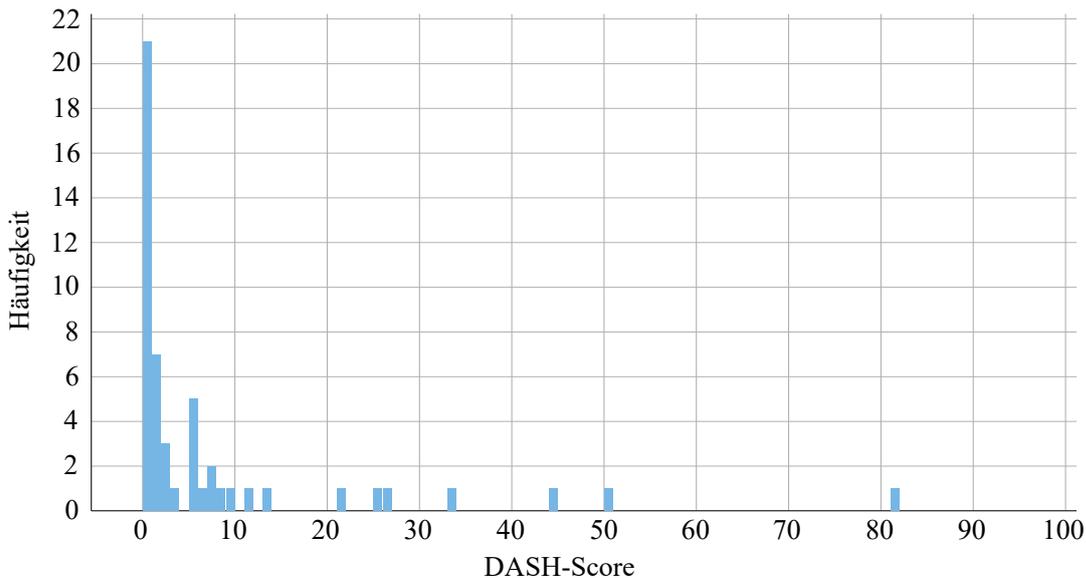


Abbildung 12: DASH-Scores ( $n = 51$ ) auf der X-Achse anhand ihrer absoluten Häufigkeiten auf der Y-Achse abgetragen.

### Hypothesentestung

Untersucht wurde, ob frühfunktionell nachbehandelte Patienten signifikant niedrigere DASH-Scores aufwiesen als Patienten, die konventionell-statisch nachbehandelt wurden (Hypothese 2). Dabei wurde auf Einflüsse der potenziellen Kovariablen „Operationsdauer“ und „postoperativer Gipsschienenanlage“ eingegangen (Tabelle 7). Hierzu wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt. Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsvoraussetzung wurden die Werte des DASH-Scores logarithmiert. Betrachtet wurden somit die Einflüsse des festen Faktors „Gruppenzugehörigkeit“ sowie die der Kovariablen „Operationsdauer“ und „postoperative Gipsschienenanlage“ auf die abhängige Variable „dash-log“ (= Logarithmus des „DASH-Scores“).

Für den Faktor „Gruppenzugehörigkeit“ ( $F(1,46) = 0,375, p = 0,545$ ) zeigte sich unter Kontrolle der Kovariablen „Operationsdauer“ und „postoperative Gipsschienenanlage“ in der untersuchten Stichprobe kein statistisch signifikanter Haupteffekt auf die Variable „dash-log“. Somit hing das Ergebnis des DASH-Scores nicht von der Zugehörigkeit zu einer der beiden Nachbehandlungsgruppen ab. Entgegen der Hypothese zeigte sich somit, dass der Grad an Beeinträchtigung bei Funktionen und Aktivitäten des Alltags und die Schwere an Symptomen bei Tätigkeiten, für die die obere Extremität genutzt wird (DASH-Score), bei frühfunktionell nachbehandelten Patienten nicht geringer war als bei konventionell-statisch nachbehandelten Patienten.

### 3.4 Nebenstudienergebnisse

#### 3.4.1 Unfallmechanismus und Dauer bis zur Frakturversorgung

Ursächlich für die Fraktur waren in 71,1 % der Fälle Freizeitunfälle. Im Rahmen von Arbeitsunfällen entstanden 26,7 % der Frakturen, als Wegeunfälle 2,2 %. Im Mittel vergingen  $6,6 \pm 4,5$  Tage zwischen Unfall und operativer Frakturversorgung. Patienten der EG wurden mit 6,2 Tagen Latenz nach Trauma dabei im Durchschnitt früher operiert als Patienten der KG die durchschnittlich nach 7,0 Tagen operiert wurden. Hinsichtlich der Dauer bis zur operativen Versorgung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 975,0$ ,  $z = -0,240$ ,  $p = 0,810$ ).

#### 3.4.2 Operations- und Durchleuchtungsdauer

Die Operationsdauer lag im Gesamtkollektiv im Median bei 22 Minuten (Q1–Q3 = 16–32 Minuten). In der EG lag die Operationsdauer mit im Median 20 Minuten (Q1–Q3 = 15–24,5 Minuten) statistisch signifikant unter der Operationsdauer der KG mit im Median 24 Minuten (Q1–Q3 = 18,5–38 Minuten; Mann-Whitney-U-Test:  $U = 701,5$ ,  $z = -2,457$ ,  $p = 0,014$ ). Abbildung 13 stellt die Gruppenunterschiede gegenüber. Hinsichtlich der intraoperativen Durchleuchtungsdauer zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (EG:  $Mdn = 30$  Sekunden; KG:  $Mdn = 42$  Sekunden; Mann-Whitney-U-Test:  $U = 655,5$ ,  $z = -0,648$ ,  $p = 0,517$ ).

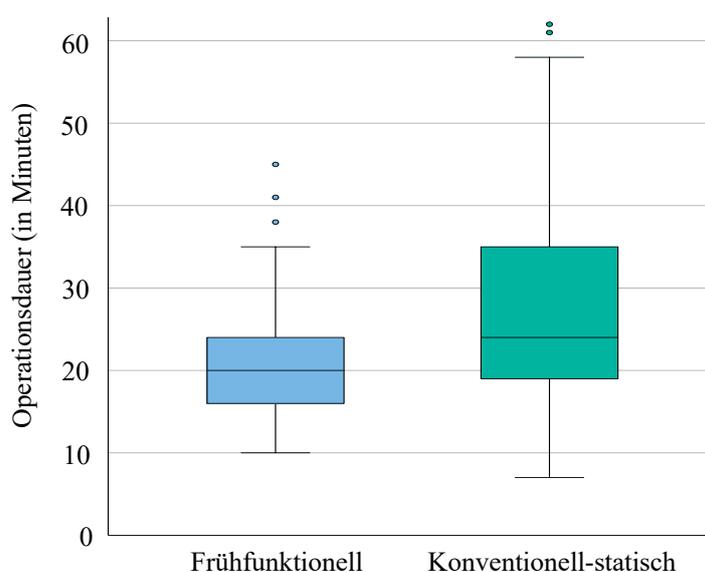


Abbildung 13: Operationsdauer in Minuten in Abhängigkeit von der Nachbehandlungsgruppe.

### 3.4.3 K-Draht-Konfigurationen

Für die Osteosynthese wurden ein ( $n = 10$ ), zwei ( $n = 79$ ) oder drei ( $n = 1$ ) K-Drähte verwendet (Tabelle 8). Informationen über die Stärke der verwendeten K-Drähte fanden sich in den Operationsberichten von 80 der 90 Patienten. In 95,0 % dieser 80 Fälle wurden 1,0 oder 1,2 mm Drähte eingebracht, zudem kamen Drähte von 0,8, 1,4 und 1,6 mm Stärke zum Einsatz. In 13 Fällen war es intraoperativ nicht möglich, nach Insertion des ersten K-Drahtes einen zweiten K-Draht in der intendierten Weise von der kontralateralen Seite des Grundgliedes einzubringen. Bei bestehender intraoperativer Übungsstabilität wurde es in zehn Fällen bei einem einliegenden Draht belassen, in drei Fällen wurde für eine stabile Frakturversorgung ein zweiter Draht von der gleichen Grundgliedbassiseite aus eingebracht und parallel zum ersten Draht in das distale Knochenfragment vorgebohrt. Von den zehn mit singulärer Drahtfixation versorgten Patienten wurden vier frühfunktionell nachbehandelt. Sechs erhielten das konventionell-statische Nachbehandlungsschema. Bei einem Patienten wurde zur Schaffung von Übungsstabilität ein dritter K-Draht eingebracht. Die Anzahl verwendeter K-Drähte unterschied sich zwischen den Nachbehandlungsgruppen nicht signifikant (Fisher-Test:  $p = 0,999$ ).

Tabelle 8  
Anzahl eingebrachter K-Drähte

Gruppe	<i>n</i>	1 K-Draht	2 K-Drähte	3 K-Drähte
EG	41	4 (9,8 %)	37 (90,2 %)	-
KG	49	6 (12,2 %)	42 (85,7 %)	1 (2,0 %)
Gesamt	90	10 (11,1 %)	79 (87,8 %)	1 (1,1 %)

Anmerkung: Anzahl der K-Drähte, die zur Osteosynthese eingebracht wurden. *n* = Anzahl Patienten. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe.

### 3.4.4 Nachbehandlung

*Frühfunktionelles Nachbehandlungsschema (Experimentalgruppe):*

Bei 28 (68,3 %) der Patienten der EG wurden die betroffenen Finger unmittelbar nach der Operation zu lastfreien Bewegungsübungen freigegeben. Die restlichen 13 Patienten (31,7 %) erhielten für den frakturierten Finger für im Median 5,0 Tage (Q1–Q3 = 1,5–7,0 Tage) eine Ruhigstellung aller Fingergelenke in einer Gipsschiene. Bei zehn (24,4 %)

Patienten erfolgte postoperativ eine funktionelle Kopplung an ihren Nachbarfinger mittels 8er-Schleufe oder Buddy-Tape, 31 (75,6 %) blieben ungekoppelt.

*Konventionell-statisches Nachbehandlungsschema (Kontrollgruppe):*

Aus der KG erhielten 43 Patienten (87,8 %), und damit ein signifikant höherer Anteil als in der EG, eine postoperative Gipsschienenruhigstellung aller Gelenke des frakturierten Fingers (Chi-Quadrat-Test:  $\chi^2(1) = 29,83, p < 0,01$ ). Die Dauer der Ruhigstellung betrug im Median 4,0 Tage (Q1–Q3 = 1,0–7,0 Tage). Danach wurde den Patienten eine individuell angepasste Kunststoffschiene angelegt. Die anderen sechs Patienten (12,2 %) erhielten noch am Operationstag die Kunststoffschiene ohne vorausgehende Gipsschienenruhigstellung. In 32 Fällen (65,3 %) wurde eine Doppelflintenschiene angewendet, 17 Patienten (34,7 %) erhielten eine Mittelhandspange. Abbildung 14 fasst die angewendeten Nachbehandlungsschemata zusammen.

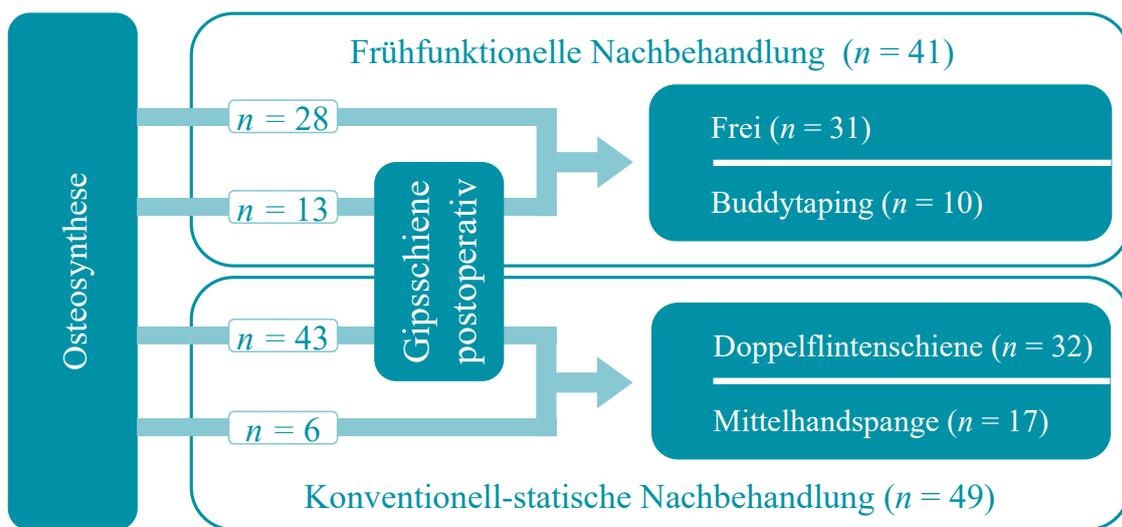


Abbildung 14: Anzahl der Patienten mit postoperativer Gipsschienenruhigstellung und Verteilung auf die unterschiedlichen Nachbehandlungsschemata.

**3.4.5 Komplikationen**

Die auf die operative Versorgung folgenden Kontrolluntersuchungen sowie die Entfernung des Osteosynthesematerials und damit den gesamten Behandlungsverlauf ließen 67 Patienten (74,4 %) in der BG Unfallklinik Tübingen durchführen. Die restlichen 23 Patienten (25,6 %) suchten für Weiterbehandlung und Metallentfernung andere Kliniken oder Ärzte in Niederlassung auf. Zwölf der 23 Patienten konnten jedoch für die

klinische Nachuntersuchung oder die postalische Studienteilnahme gewonnen und nach dem Auftreten postoperativer Komplikationen, die einen sekundären Eingriff erforderten, befragt werden. Die Komplikationshäufigkeit wird entsprechend über ein reduziertes Patientenkollektiv  $n = 79$  ausgewertet, in dem 37 Patienten frühfunktionell und 42 Patienten konventionell-statisch nachbehandelt wurden (Abbildung 15).

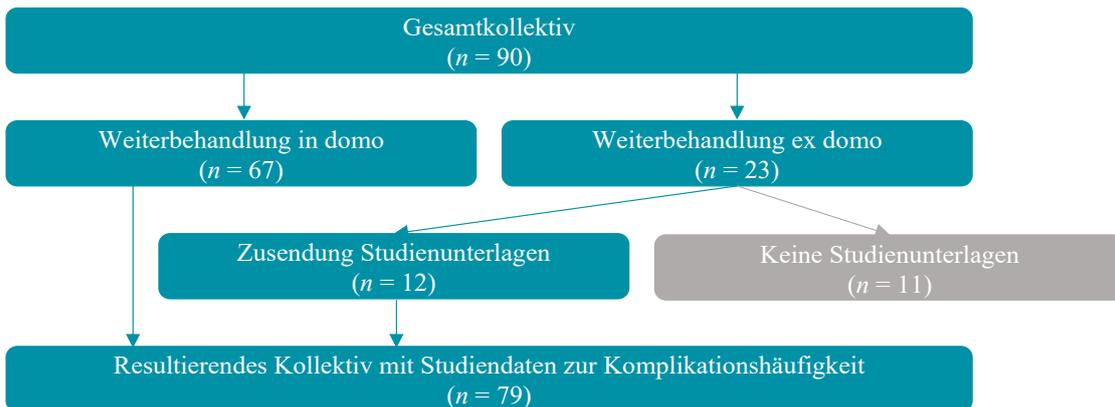


Abbildung 15: Patientenkollektiv zur Auswertung der Komplikationshäufigkeit.

Bei vier Patienten (5,1 %) traten im Laufe der Behandlung Komplikationen auf, die einer operativen Therapie bedurften. Alle vier Patienten waren Teil der KG ( $n = 42$ ), bei keinem der Patienten der EG ( $n = 37$ ) wurde eine sekundäre Operation aufgrund von Komplikationen durchgeführt. Demnach traten bei 9,5 % der konventionell-statisch nachbehandelten Patienten im Verlauf Komplikationen auf. In zwei Fällen trat eine Frakturdislokation auf, sodass eine operative Korrektur und die rigide Versorgung mittels Schraubenosteosynthese notwendig wurden. Ein Patient entwickelte nach erfolgreicher Metallentfernung eine schmerzhafte Pseudarthrose, bei der im Verlauf eine Reosteosynthese mithilfe einer Metallplatte angezeigt war. Bei einem Patienten lag durch Vernarbungen im Bereich der Sehne des M. extensor digitorum eine signifikante Bewegungseinschränkung im Strahl des frakturierten Fingergrundgliedes (DV) vor, auf die eine operative Tenolyse folgte. In keiner der beiden Gruppen traten operativ revisionsbedürftige postoperative Nachblutungen, Drahtmigration, Sehnenrupturen oder Infektionen auf. Obgleich ausschließlich in der KG Komplikationen mit der Notwendigkeit zur Revisionsoperation auftraten, zeigte sich der Unterschied zwischen den Gruppen nicht signifikant (Fisher-Test:  $p = 0,074$ ). Abbildung 16 gibt die Komplikationshäufigkeit in der KG wieder.

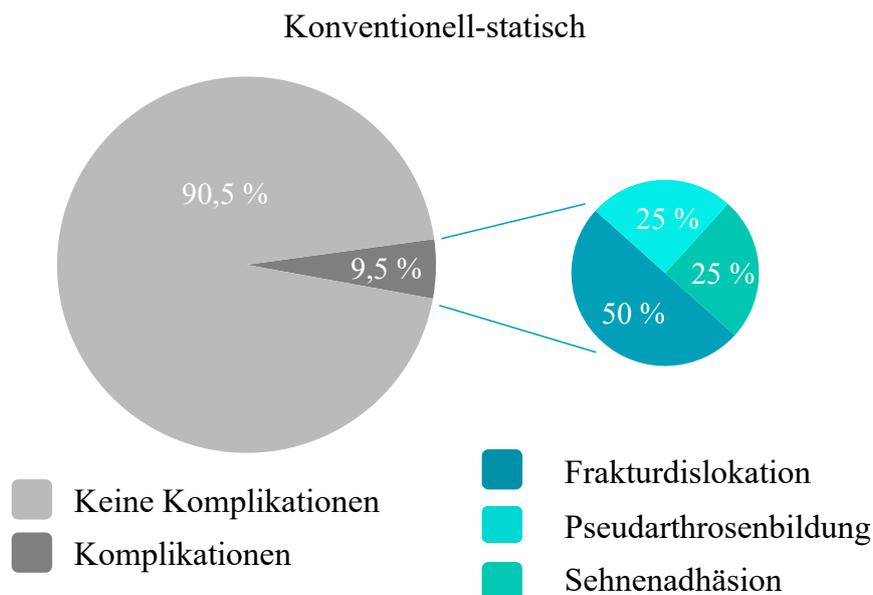


Abbildung 16: Häufigkeit von Behandlungskomplikationen in der Gruppe der konventionell-statischen Nachbehandlung.

### 3.4.6 Frakturkonsolidierung und Metallentfernung

Kontrolluntersuchungen und -röntgenaufnahmen (Abbildung 17) sowie die Metallentfernung ließen 67 Patienten in der BG Unfallklinik Tübingen durchführen. Zwei von ihnen wurden von der Datenauswertung ausgeschlossen: Ein Patient verpasste alle Kontrolluntersuchungstermine und stellte sich erst zweieinhalb Monate nach Frakturversorgung mit bereits vollständig konsolidierter Fraktur wieder vor. Da somit keine Verlaufsröntgenkontrollen vorlagen, konnte der Zeitpunkt der Konsolidierung nicht bestimmt werden. Bei einem zweiten Patienten wurden postoperativ keine regelmäßigen Röntgenbilder in der BG Unfallklinik Tübingen angefertigt, sodass auch hier keine Aussage über den Zeitpunkt der Frakturkonsolidierung möglich war.

Zwischen operativer Versorgung und Zeitpunkt der radiologischen Durchbauung vergingen im Median 41,0 Tage (Range: 21–70 Tage, Q1–Q3 = 35,0–43,5 Tage). In der Gruppe der frühfunktionell nachbehandelten Patienten vergingen bis zur Durchbauung im Median 41,0 Tage (Q1–Q3 = 37,0–42,0 Tage), bei den konventionell-statisch Nachbehandelten 42,0 Tage (Q1–Q3 = 35,0–44,0 Tage). Zwischen den Gruppen zeigte sich hinsichtlich der Dauer bis zur radiologischen Durchbauung kein signifikanter Unterschied (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 505,0$ ,  $z = -0,226$ ,  $p = 0,821$ ).



Abbildung 17: (1) Überkreuzende Drähte (von links): Präoperative AP-Röntgenaufnahme, CT-Schnittbildgebung (sagittale Ebene), AP-Aufnahme 7. postop. Tag, laterale Röntgenaufnahme 7. postop. Tag, Röntgenaufnahme intraoperativ bei Metallentfernung am 49. postop. Tag. (2) V-förmige Drähte (von links): Präoperative AP-Röntgenaufnahme, AP-Aufnahme 1. postop. Tag, laterale Röntgenaufnahme 1. postop. Tag, Röntgenaufnahme intraoperativ nach Metallentfernung am 44. postop. Tag.

Bei  $n = 71$  Patienten konnte die Dauer bis zur operativen Metallentfernung analysiert werden. Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich  $49,4 \pm 10,0$  Tage nach der K-Draht-Osteosynthese. Bei den frühfunktionell nachbehandelten Patienten vergingen bis zur Metallentfernung durchschnittlich  $49,9 \pm 9,2$  Tage, bei den konventionell-statisch Nachbehandelten waren es  $48,9 \pm 10,7$  Tage. Für die Zeitdauer vom Operationstag bis zur Metallentfernung war zwischen den beiden zu vergleichenden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied nachzuweisen (T-Test:  $t(69) = 0,44$   $p = 0,663$ ). Abbildung 18 stellt die Zeitspannen von Operation bis Frakturkonsolidierung bzw. Metallentfernung in Abhängigkeit von der Nachbehandlung graphisch dar.

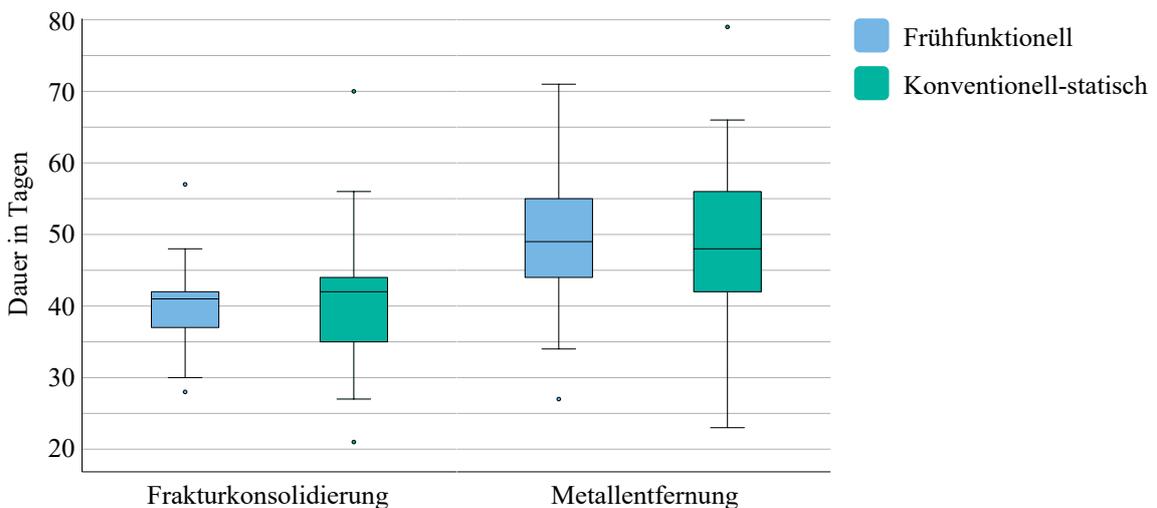


Abbildung 18: Zeitdauer zwischen Operation und Frakturkonsolidierung bzw. Operation und Metallentfernung nach Nachbehandlungsgruppe.

### 3.4.7 Dauer der Arbeitsunfähigkeit

Zum Zeitpunkt des Frakturgeschehens waren 38 der 51 Patienten (74,5 %) erwerbstätig. Die übrigen 13 Patienten (25,5 %) waren berentet ( $n = 8$ ) oder aus anderen Gründen (Schüler, Studenten, Arbeitssuchende;  $n = 5$ ) nicht erwerbstätig. Von den Berufstätigen waren 18 (47,4 %) mit „manuellen Tätigkeiten“ betraut, weitere 18 Patienten übten „Bürotätigkeiten“ aus. Die restlichen zwei (5,3 %) gaben bei „Berufstätigkeit vor OP“ „Andere“ an. Alle zum Zeitpunkt der Behandlung berufstätigen Patienten konnten nach der Rehabilitationsphase wieder in ihren ursprünglich ausgeübten Beruf zurückkehren. Bei 33 Patienten (86,8 %) bestand eine vorübergehende Arbeitsunfähigkeit von mindestens einer Woche, fünf Patienten konnten unmittelbar nach der Behandlung wieder ihren Beruf ausüben. Über alle Berufstätigen ( $n = 38$ ) hinweg betrug die Dauer der Arbeitsunfähigkeit zwischen null und 19 Wochen ( $Mdn = 3,5$  Wochen,  $Q1-Q3 = 1,8-8,5$  Wochen). Patienten der KG waren nach der Frakturversorgung im Median 9,0 Wochen (Range: 0–19 Wochen) lang nicht in der Lage, ihrer Arbeit nachzugehen. Für Patienten der EG betrug die mediane Arbeitsunfähigkeitsdauer 2,5 Wochen (Range: 0–10 Wochen). Die Dauer der Arbeitsunfähigkeit war in der KG signifikant höher als in der EG (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 105,0$ ,  $z = -2,11$ ,  $p = 0,035$ ). Mit  $r = 0,34$  lag ein mittelstarker Effekt vor. Abbildung 19 stellt die Arbeitsunfähigkeitsdauer in Abhängigkeit vom Nachbehandlungsschema graphisch dar.

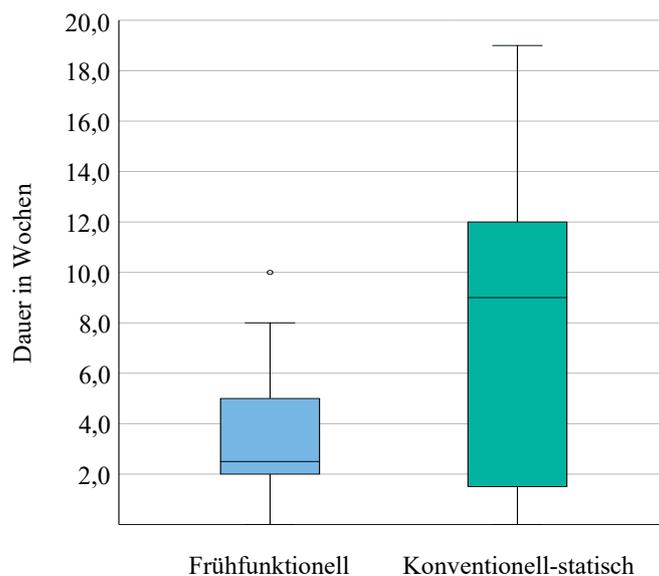


Abbildung 19: Mediane Dauer der Arbeitsunfähigkeit in Abhängigkeit von der Nachbehandlungsgruppe.

### 3.4.8 Dauer bis Beschwerdefreiheit

Unter den 51 untersuchten Patienten gaben 45 (88,2 %) an, zum Zeitpunkt der klinischen Nachuntersuchung subjektiv beschwerdefrei gewesen zu sein. Diese Patienten waren eigenen Angaben zufolge im Median 10,0 Wochen (Q1–Q3 = 7,0–13,5 Wochen) nach der Operation wieder vollständig beschwerdefrei. Bei Patienten der EG vergingen im Median 10,0 Wochen (Q1–Q3 = 6,0–15,8 Wochen) nach der Operation bis zur Beschwerdefreiheit. Ein Patient gab an, sofort nach der Operation wieder vollständige Beschwerdefreiheit erlangt zu haben. Bei Patienten der KG lag die Beschwerdefreiheit ebenso nach im Median 10,0 Wochen (Q1–Q3 = 8,0–14,0 Wochen) vor. Zwischen den Nachbehandlungsgruppen war demnach kein signifikanter Unterschied nachweisbar (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 232,5$ ,  $z = -0,335$ ,  $p = 0,737$ ). Sechs Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nicht beschwerdefrei.

### 3.4.9 Patientenzufriedenheit

Die Zufriedenheit der Patienten mit der Behandlung betrug auf einer numerischen Analogskala von 0 = „sehr zufrieden“ bis 10 = „sehr unzufrieden“ im Median 1,5 Punkte (Q1–Q3 = 0,0–3,0). Ein Patient gab keinen Wert an. Von den verbliebenen 50 Patienten waren 28,0 % mit der Behandlung sehr zufrieden („0“ auf numerischer Analogskala), am zweithäufigsten wurde „1“ angegeben (22,0 %). In der EG war die Patientenzufriedenheit im Median höher ( $Mdn = 1,0$ , Q1–Q3 = 0,0–3,0) als in der KG ( $Mdn = 2,0$ , Q1–Q3 = 0,3–4,5). Abbildung 20 stellt die Ergebnisse der beiden Nachbehandlungsgruppen graphisch dar. Zwischen den Gruppen zeigte sich hinsichtlich der Patientenzufriedenheit kein signifikanter Unterschied (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 274,5$ ,  $z = -0,515$ ,  $p = 0,607$ ).

Von den nachuntersuchten Patienten gaben 45 (88,2 %) an, dass sie, stünden sie erneut vor der Wahl zwischen verschiedenen Therapieoptionen (konventionell-statisch oder frühfunktionell), die Behandlung erneut wie gehabt würden durchführen lassen. Die restlichen sechs Patienten (11,8 %), von denen je drei jeder der beiden Nachbehandlungsgruppen angehörten, hätten retrospektiv betrachtet eine andere Behandlungsmethode gewählt. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Fisher-Test:  $p = 0,481$ ).

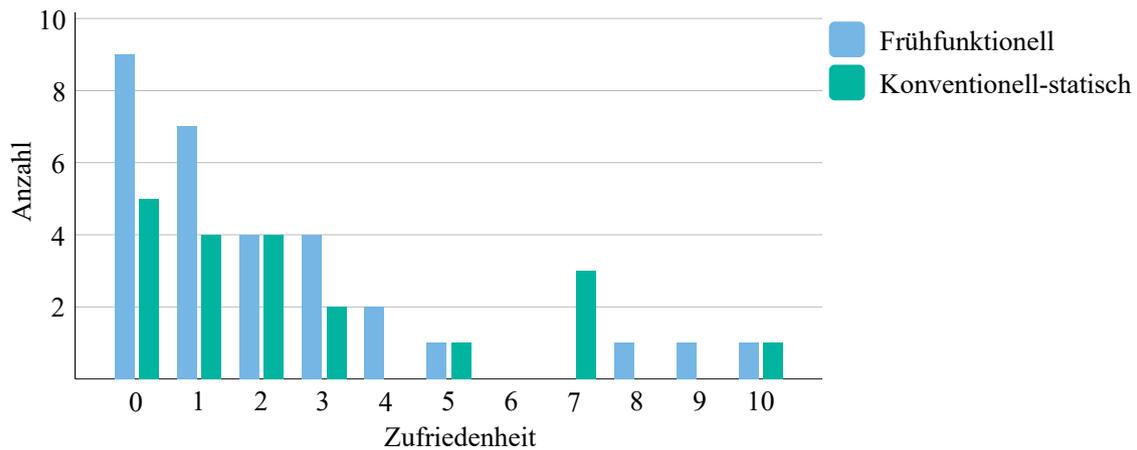


Abbildung 20: Anzahl an Patienten in Abhängigkeit der Behandlungszufriedenheit von 0 = „sehr zufrieden“ bis 10 = „sehr unzufrieden“ nach Nachbehandlungsgruppen.

### 3.4.10 DASH-Arbeitsmodul

Die berufstätigen Patienten ( $n = 38$ ) bearbeiteten zusätzlich zum DASH-Grundmodul das DASH-Arbeitsmodul. Der Range des DASH-Arbeitsmodul-Scores reichte von 0,0 bis 93,8 mit einem Median von 0,0 ( $Q1-Q3 = 0,0-7,9$ ). In der EG betrug der mediane DASH-Arbeitsmodul-Score 0,0 (Range: 0,0–62,5), in der KG 6,3 (Range: 0,0–93,8). Zwischen den Gruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 118,00, z = -1,883, p = 0,107$ ).

### 3.4.11 PRWE-Fragebogen

Der Range des PRWE-Scores reichte im untersuchten Kollektiv  $n = 51$  von 0,0 bis 53,5 mit einem Median von 2,0 ( $Q1-Q3 = 0,0-8,5$ ). In der EG betrug der mediane Score 1,5 (Range: 0,0–49,5), in der KG 3,0 (Range: 0,0–53,5). Zwischen den Gruppen zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 257,5, z = -1,141, p = 0,254$ ). Das Ergebnis des PRWE-Scores wies eine hohe positive Korrelation zu den Ergebnissen von DASH-Score ( $r = 0,946$ ) und DASH-Arbeitsmodul ( $r = 0,937$ ) auf.

### 3.4.12 Klinische Handuntersuchung

#### Parästhesien

Im nachuntersuchten Kollektiv ( $n = 46$ ) zeigten sich in keiner der beiden Nachbehandlungsgruppen Einschränkungen der epikritischen Sensibilität oder der

Durchblutungssituation des betroffenen Fingers. Über eine im Vergleich zum gesunden Finger gesteigerte Empfindlichkeit gegenüber Kälte berichteten acht Patienten (17,4 %). Außerdem litten insgesamt sechs Patienten (13,0 %) unter dem Auftreten von Parästhesien („Spannungsgefühl“, „Taubheit“) am ehemals frakturierten Finger. Zwischen den Gruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit, mit der Parästhesien auftraten (Fisher-Test:  $p = 0,564$ ).

### Fehlstellungen

Fünf Patienten (10,9 %) wiesen am ehemals frakturierten Grundglied eine Fehlstellung mit einer Abweichung von der anatomischen Stellung um mindestens  $10^\circ$  auf. In der EG war dies bei zwei Patienten (7,1 %) der Fall, in der KG bei drei Patienten (16,7 %). Bei sämtlichen Fehlstellungen handelte es sich um Rotationsfehlstellungen, Achsfehlstellungen traten nicht auf. Das Ausmaß der Fehlstellung betrug in zwei Fällen  $10^\circ$ , in weiteren zwei Fällen  $15^\circ$  sowie in einem Fall  $25^\circ$ . Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Häufigkeit, mit der in Fehlstellung verheilte Frakturen auftraten (Fisher-Test:  $p = 0,294$ ). Abbildung 21 gibt die Häufigkeit von Fehlstellungen in Abhängigkeit von der Nachbehandlung wieder.

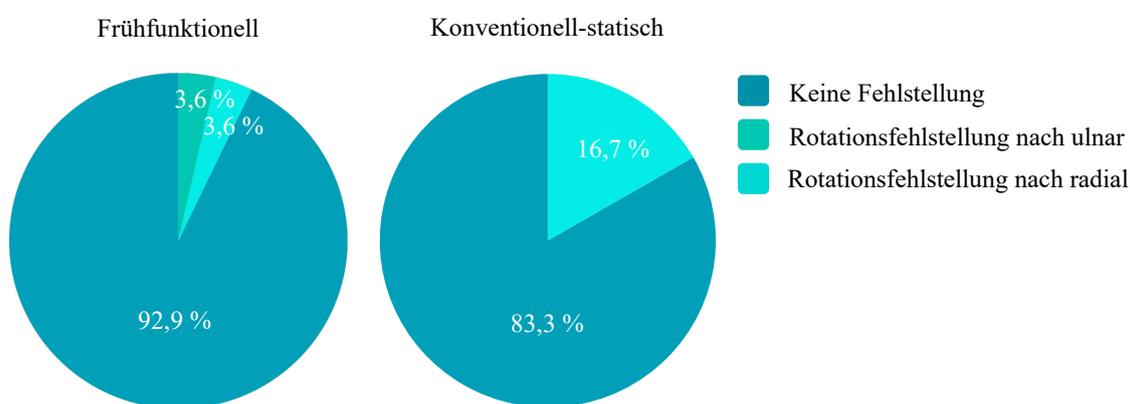


Abbildung 21: Häufigkeit in Fehlstellung verheilte Frakturen nach Nachbehandlungsgruppe.

Unter den prospektiv analysierten Patienten, deren Frakturen mit nur einem K-Draht versorgt wurden ( $n = 5$ ), zeigten sich keine Rotationsfehlstellungen. Sämtliche Patienten, deren Finger in Rotationsfehlstellung verheilten, wurden initial mit zwei (vier Patienten) oder drei K-Drähten (ein Patient) versorgt. Die Unterschiede in der Häufigkeit klinisch relevanter Fehlstellungen in Abhängigkeit von der Anzahl eingebrachter K-Drähte (ein

K-Draht vs. zwei/drei K-Drähte) zeigten jedoch keine statistische Signifikanz (Fisher-Tests:  $p = 0,547$ ). Ein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit klinisch relevanter Fehlstellungen in der Experimentalgruppe in Abhängigkeit davon, ob eine 8er-Schleife/ein Buddy-Tape postoperativ angelegt wurde oder der Finger frei blieb, zeigte sich ebenso nicht (Chi-Quadrat-Test:  $\chi^2(2) = 2,94$ ,  $p = 0,231$ ).

Abbildung 22 zeigt exemplarisch die orientierende Beurteilung von Fingerstellung und -beweglichkeit anhand von drei Patienten mit sehr guter anatomischer Reposition und sehr guten funktionellen Ergebnissen. Zur Evaluation von Rotationsfehlstellungen ist vor allen Dingen die palmare Ansicht auf die flektierten Finger relevant.



Abbildung 22: Orientierende visuelle Beurteilung von Fingerstellung und -beweglichkeit dreier verschiedener Patienten (frakturiert war jeweils D5 links).

### 3.4.13 Hand- und Fingerkraftmessung

#### *Kraftgriff*

Die nachuntersuchten Patienten ( $n = 46$ ) erzielten beim Kraftgriff mit der ehemals frakturierten Hand eine mittlere Kraft von  $39,2 \pm 10,6$  kg (Range: 19,0–64,7 kg). Mit der gesunden Hand wurden Werte von im Durchschnitt  $42,4 \pm 12,2$  kg (Range: 20,5–66,3 kg) erreicht. Als Quotient aus frakturierter und nicht-frakturierter Hand ergab sich für das

Kollektiv ein Mittelwert von  $93,7 \pm 11,4$  % (Range: 66,1–119,0 %). In der EG lag dieser Wert bei  $91,8 \pm 11,5$  % (Range: 66,1–113,7 %), in der KG bei  $96,7 \pm 11,0$  % (Range: 76,9–119,0 %). Für die relative Kraftgriffkraft zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Nachbehandlungsgruppen (T-Test:  $t(44) = -1,45, p = 0,154$ ). Abbildung 23 stellt die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Nachbehandlung graphisch dar.

War die dominante auch die frakturierte Hand, betrug die mittlere relative Kraftgriffkraft  $101,8 \pm 9,2$  %, war die nicht-dominante Hand betroffen, betrug die mittlere relative Kraftgriffkraft  $90,2 \pm 10,6$  %. Es zeigte sich für die relative Kraftgriffkraft ein signifikanter Unterschied in Abhängigkeit davon, ob die dominante oder die nicht-dominante Hand von der Fraktur betroffen war (T-Test:  $t(44) = 3,56, p = 0,001$ ).

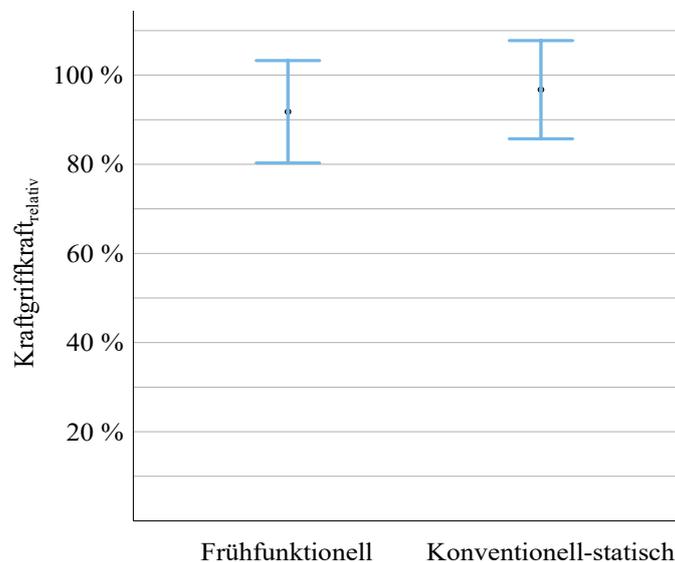


Abbildung 23: Mittelwerte der relativen Kraftgriffkraft in Abhängigkeit von der Nachbehandlungsgruppe.

### Daumenopposition und Präzisionsgriffe

Die relative Griffkraft des frakturierten Fingers in der Daumenopposition (im Vergleich zur gesunden Gegenseite) betrug im Gesamtkollektiv im Median 95,6 % (Q1–Q3 = 76,1–110,1 %). Die mittleren relativen Kraftwerte der übrigen Präzisionsgriffe betragen für das Gesamtkollektiv im Schlüsselgriff 96,9 %, im Dreipunktgriff 96,2 % und im Pinzettengriff 98,7 %. Tabelle 9 stellt die Ergebnisse nach Gruppen aufgeteilt zusammenfassend dar. Zwischen den beiden Gruppen zeigten sich hinsichtlich der untersuchten Griffpositionen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Tabelle 9  
Handkraftmessungen in Daumenopposition und Präzisionsgriffen

	EG (n = 28)	KG (n = 18)	p-Wert
Daumenopposition <sub>rel</sub> (%) Mdn (Q1–Q3)	95,0 (73,6–123,1)	97,7 (81,7–107,4)	0,644*
Schlüsselgriff <sub>rel</sub> (%) MW (SD)	95,6 (11,8)	98,9 (18,2)	0,457**
Dreipunktgriff <sub>rel</sub> (%) MW (SD)	96,4 (14,4)	95,8 (12,5)	0,876**
Pinzettengriff <sub>rel</sub> (%) MW (SD)	99,6 (16,6)	97,4 (18,2)	0,681**

Anmerkung: Ergebnisse der Handkraftmessung verschiedener Griffpositionen im Vergleich zur gesunden Gegenseite. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe. n = Anzahl Patienten. rel = relativ. Mdn = Median. Q1–Q3 = 1. und 3. Quartil. MW = Mittelwert. SD = Standardabweichung. Angewendete statistische Tests: \* Mann-Whitney-U-Test. \*\* T-Test für unabhängige Stichproben.

### 3.4.14 Fingerkuppen-Hohlhand- und Fingernagel-Tisch-Abstand

Mit der Erhebung von „Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand“ (FKHA) und „Fingernagel-Tisch-Abstand“ (FNTA) wurden neben der Messung der „Total Active Motion“ weitere Beweglichkeitsprüfungen durchgeführt. Abbildung 24 zeigt exemplarisch die Entwicklung des FKHA im postoperativen Verlauf nach K-Draht-Osteosynthese.

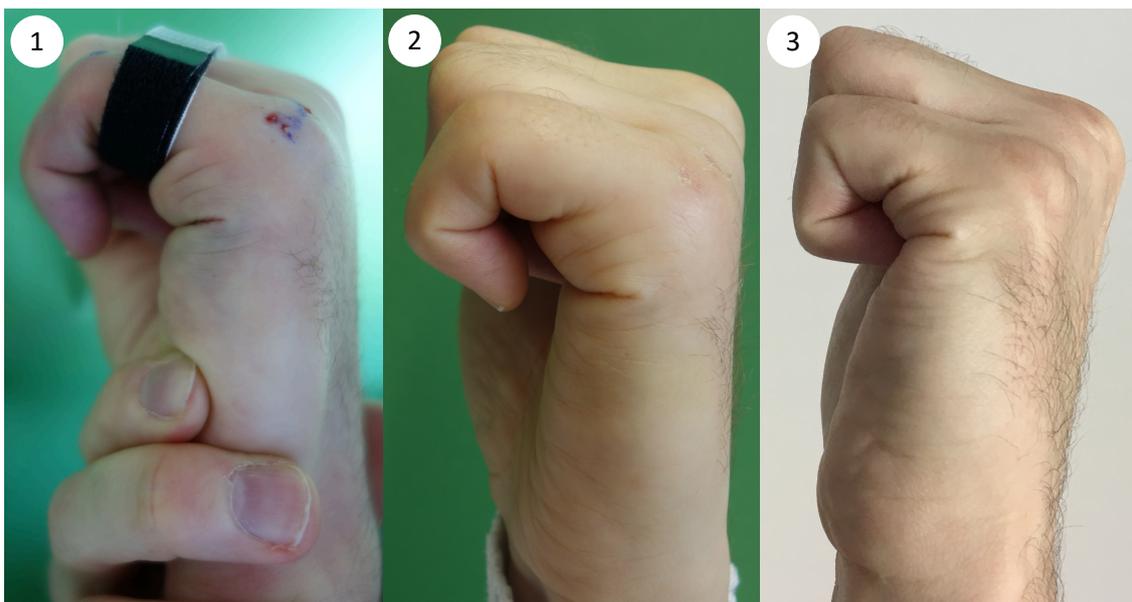


Abbildung 24: Zunehmende aktive Beugungsfähigkeit und entsprechende Abnahme des Fingerkuppen-Hohlhand-Abstands im Heilungsverlauf nach Kleinfingergrundgliedfraktur links: (1) 1. postoperativer Tag. (2) Zwei Wochen postoperativ. (3) 15 Monate postoperativ im Rahmen der Nachuntersuchung.

Der FKHA betrug bei 19 Patienten der EG (67,9 %) sowie bei elf Patienten der KG (61,1 %) 0,0 cm. Eine höhergradige Einschränkung (> 1,0 cm) lag bei vier Patienten der EG (14,3 %) und fünf Patienten der KG (27,8 %) vor. Einen FNTA von 0,0 cm hatten 21 Patienten der EG (75,0 %), in der KG war dies bei 14 Patienten (77,8 %) der Fall. Höhergradige Einschränkungen (> 1,0 cm) traten bei vier Patienten der EG (14,3 %), sowie bei drei Patienten der KG (16,7 %) auf. Zwischen den Nachbehandlungsgruppen zeigten sich hinsichtlich der Häufigkeit eingeschränkter FKHA und FNTA keine signifikanten Unterschiede (Chi-Quadrat-Test<sub>FKHA</sub>:  $\chi^2(2) = 1,42, p = 0,491$ ; Chi-Quadrat-Test<sub>FNTA</sub>:  $\chi^2(2) = 0,39, p = 0,824$ ). Tabelle 10 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 10

*Ergebnisse Fingerkuppen-Hohlhand- und Fingernagel-Tisch-Abstand*

Gruppe	<i>n</i>	0,0 cm Anzahl (Prozent)	0,1 – 1,0 cm Anzahl (Prozent)	> 1,0 cm Anzahl (Prozent)
Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand				
EG	28	19 (67,9 %)	5 (17,9 %)	4 (14,3 %)
KG	18	11 (61,1 %)	2 (11,1 %)	5 (27,8 %)
Gesamt	46	30 (65,2 %)	7 (15,2 %)	9 (19,6 %)
Fingernagel-Tisch-Abstand				
EG	28	21 (75,0 %)	3 (10,7 %)	4 (14,3 %)
KG	18	14 (77,8 %)	1 (5,6 %)	3 (16,7 %)
Gesamt	46	35 (76,1 %)	4 (8,7 %)	7 (15,2 %)

*Anmerkung:* Anzahl an Patienten mit eingeschränktem Fingerkuppen-Hohlhand-/Fingernagel-Tisch-Abstand. *n* = Anzahl Patienten. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe.

Da in beiden Gruppen in der Mehrzahl der Fälle (>50 %) ein FKHA sowie ein FNTA von 0,0 cm vorlag, betrug der Medianwert in beiden Gruppen 0,0 cm. Geringe quantitative Unterschiede zeigten sich zwischen den Gruppen hingegen im arithmetischen Mittelwert. Dieser Betrag für den FKHA in der EG 0,4 cm (Range: 0,0–2,5 cm) und war damit geringer ausgeprägt als in der KG mit 0,6 cm (Range: 0,0–3,0 cm). Beim FNTA ergab sich in der EG mit im Mittel 0,3 cm (Range: 0,0–2,0 cm) ein geringerer Verlust an Fingerstreckfähigkeit als in der KG mit einem durchschnittlich FNTA von 0,4 cm (Range: 0,0–3,0 cm). Abbildung 25 stellt die Ergebnisse der FKHA- und FNTA-Messungen in Abhängigkeit von der Nachbehandlung graphisch dar.

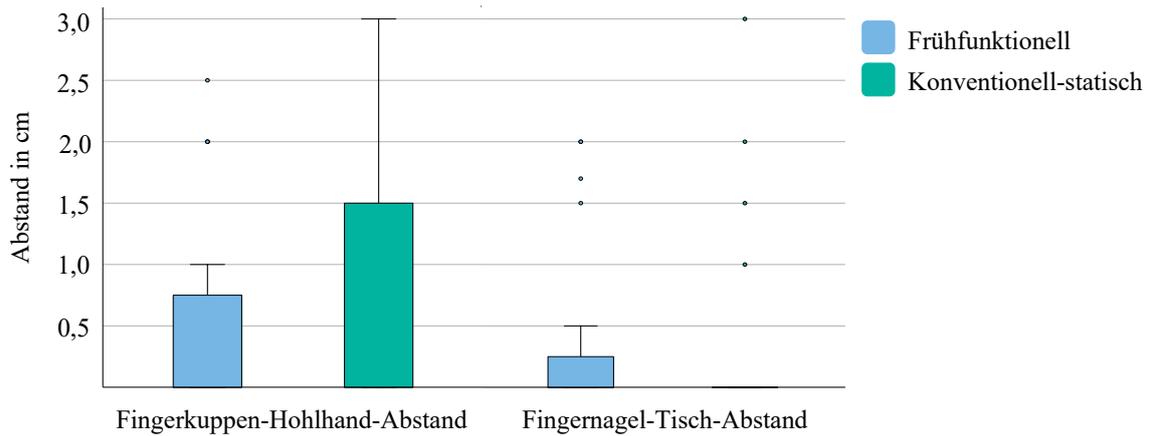


Abbildung 25: Medianer Fingerkuppen-Hohlhand-Abstand und Fingernagel-Tisch-Abstand nach Nachbehandlungsgruppe.

### 3.4.15 Total Passive Motion (TPM)

Die absolute Total Passive Motion ( $TPM_{abs}$ ) lag in der EG im Median bei  $266,0^\circ$  (Range:  $171-309^\circ$ ), in der KG bei  $259,5^\circ$  (Range:  $144-319^\circ$ ). Verglichen mit der gesunden Gegenseite ergab sich für die EG eine  $TPM_{rel}$  von im Median  $90,8\%$  ( $Q1-Q3 = 85,2-94,5\%$ ), für die KG von im Median  $90,1\%$  ( $Q1-Q3 = 82,1-95,4\%$ ) (Abbildung 26). Für die  $TPM_{rel}$  zeigte sich zwischen den beiden Nachbehandlungsgruppen kein statistisch signifikanter Unterschied (Mann-Whitney-U-Test:  $U = 241,0$ ,  $z = -0,248$ ,  $p = 0,804$ ). Tabelle 11 fasst die Hauptergebnisse der Messungen von TPM und TAM für das gesamte prospektive Kollektiv und die beiden Nachbehandlungsgruppen zusammen.

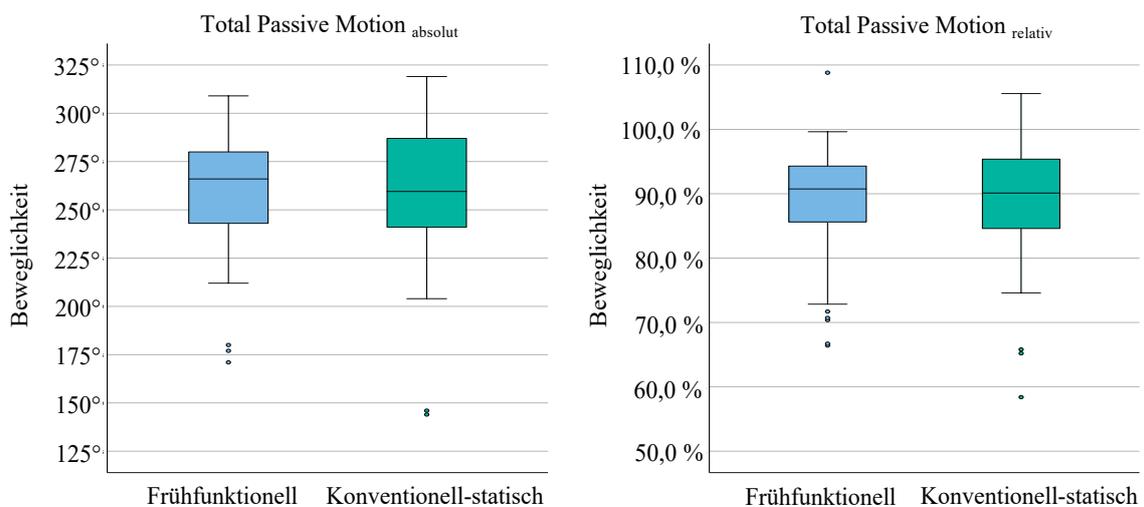


Abbildung 26: Total Passive Motion absolut (links) und relativ (rechts) nach Nachbehandlungsgruppe.

Tabelle 11  
*Zusammenfassung der Ergebnisse der Fingerbeweglichkeitsmessungen*

Gruppe	n	TPM <sub>abs</sub> (°)	TAM <sub>abs</sub> (°)	TAM <sub>rel</sub> (%)
		<i>Mdn</i> (Q1–Q3)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)
EG	28	266,0 (243,0–281,5)	234,0 (201,5–251,8)	90,3 (80,1–97,2)
KG	18	259,5 (241,0–287,5)	228,5 (198,0–263,3)	90,5 (68,8–99,9)
Gesamt	46	264,5 (241,8–284,3)	232,0 (200,8–253,3)	90,3 (78,8–97,4)

*Anmerkung:* TPM<sub>abs</sub> = absolute Total Passive Motion. TAM<sub>abs</sub> = absolute Total Active Motion. TAM<sub>rel</sub> = relative Total Active Motion. n = Anzahl Patienten. *Mdn* = Median. Q1–Q3 = 1. und 3. Quartil. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe.

### 3.4.16 Streck- und Beugedefizite einzelner Fingergelenke

#### *Einschränkungen der Extensionsfähigkeit und Häufigkeit relevanter Streckdefizite der Fingergelenke*

Die Fähigkeit zur aktiven Extension der einzelnen Fingergelenke war im klinisch nachuntersuchten Kollektiv (n = 46) am ehemals frakturierten Finger im Vergleich zur gesunden Gegenseite im Median eingeschränkt. Der mit im Median 8,0° quantitativ höchste Verlust an Extensionsfähigkeit war im PIP-Gelenk nachweisbar. Das DIP-Gelenk wies über beide Gruppen hinweg einen Extensionsverlust von im Median 4,5° auf. Im MCP-Gelenk konnte im Gesamtkollektiv hingegen im Median kein Extensionsverlust beobachtet werden (*Mdn* = -0,5°). Der mediane Extensionsverlust im DIP-Gelenk fiel in beiden Gruppen gleich groß aus (*Mdn*<sub>EG</sub> = 4,5°, *Mdn*<sub>KG</sub> = 4,5°), im PIP-Gelenk zeigte sich zwischen den Gruppen ein Unterschied in der Extensionsfähigkeit von einem Grad (*Mdn*<sub>EG</sub> = 7,5°, *Mdn*<sub>KG</sub> = 8,5°). Im MCP-Gelenk war in der KG mit 6,0° ein höherer medianer Extensionsverlust als in der EG mit im Median -1,0° zu beobachten (Abbildung 27). In keinem der drei Gelenke erreichte die Höhe des Unterschiedes des Extensionsverlustes zwischen den Gruppen statistische Signifikanz (Mann-Whitney-U-Tests: DIP-Gelenk *U* = 239,0, *z* = -0,293, *p* = 0,769; PIP-Gelenk *U* = 249,5, *z* = -0,056, *p* = 0,955; MCP-Gelenk *U* = 234,5, *z* = -0,394, *p* = 0,693).

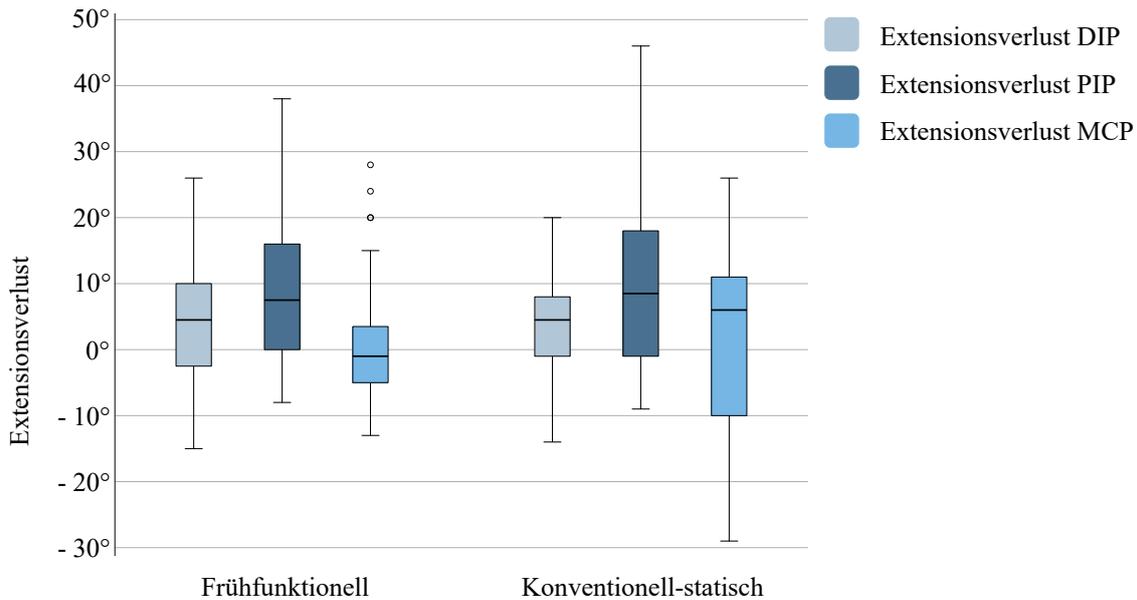


Abbildung 27: Residuale Extensionsverluste von DIP-, PIP- und MCP-Gelenk im Vergleich zur gesunden Gegenseite für das frühfunktionelle (links) und konventionell-statische (rechts) Nachbehandlungsschema.

An einer relevanten Einschränkung der Extensionsfähigkeit (= Streckdefizit) an einem oder mehreren Fingergelenken litten insgesamt 15 der 46 klinisch nachuntersuchten Patienten (32,6 %). Bei elf der 15 Patienten bestand eine isolierte Einschränkung eines Gelenks, die restlichen vier Patienten hatten Streckdefizite an zwei Gelenken. Zwischen den Nachbehandlungsgruppen war die Anzahl der Patienten mit Streckdefiziten nicht signifikant unterschiedlich verteilt (Fisher-Test:  $p = 0,591$ ). Auch die Verteilung der Anzahl streckdefizitärer Gelenke zeigte zwischen den beiden Nachbehandlungsgruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede (Fisher-Tests: DIP-Gelenk  $p = 0,341$ , PIP-Gelenk  $p = 0,387$ , MCP-Gelenk  $p = 0,391$ ). Tabelle 12 gibt die Anzahl streckdefizitärer Gelenke und deren quantitativen Extensionsverlust in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit wieder. Abbildung 28 zeigt das funktionelle Ergebnis eines Patienten mit geringgradigem Extensionsverlust im PIP-Gelenk und leichter kompensatorischer Hyperextension im MCP-Gelenk.

Tabelle 12

*Häufigkeit von Streckdefiziten und quantitativer Extensionsverlust defizitärer Gelenke*

Gruppe	DIP-Gelenk		PIP-Gelenk		MCP-Gelenk	
	<i>n</i> (%)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)	<i>n</i> (%)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)	<i>n</i> (%)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)
EG	4 (14,3 %)	23,0° (17,3–25,8°)	7 (25,0 %)	26,0° (24,0–34,0°)	0 (0,0 %)	- (-)
KG	1 (5,6 %)	20,0° (-)	6 (33,3 %)	19,0° (17,8–44,5°)	1 (5,6 %)	26,0° (-)
Gesamt	5 (10,9 %)	21,0° (18,0–25,5°)	13 (28,3 %)	24,0° (18,0–36,0°)	1 (2,2 %)	26,0° (-)

*Anmerkung:* DIP-Gelenk = distales Interphalangealgelenk. PIP-Gelenk = proximales Interphalangealgelenk. MCP-Gelenk = Metacarpophalangealgelenk. *n* = Anzahl Patienten. *Mdn* = Median. Q1–Q3 = 1. und 3. Quartil. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe.



Abbildung 28: Patient mit geringgradigem Extensionsverlust im PIP-Gelenk (17°) und leichter kompensatorischer Hyperextension des MCP-Gelenks, jedoch funktionell uneingeschränktem Ergebnis.

*Einschränkungen der Flexionsfähigkeit und Häufigkeit relevanter Beugedefizite der Fingergelenke*

Ähnlich der Fähigkeit zur aktiven Extension zeigte sich auch die Flexionsfähigkeit der Fingergelenke der klinisch nachuntersuchten Patienten im Vergleich zur gesunden Gegenseite im Median eingeschränkt. Die höchsten Einschränkungen wurden mit einem

medianen Verlust an Flexionsfähigkeit von 8,5° im MCP-Gelenk gemessen. Der Flexionsverlust in DIP- ( $Mdn = 5,0^\circ$ ) und PIP-Gelenk ( $Mdn = 5,5^\circ$ ) fiel geringer aus.

Während die Verluste an Flexionsfähigkeit in der EG vom distalsten ( $Mdn_{DIP\_EG} = 2,5^\circ$ ) zum proximalsten Gelenk ( $Mdn_{MCP\_EG} = 9,5^\circ$ ) zunahmen, waren sie in der KG in einem Wertebereich von im Median 6,5°–8,0° über alle drei Fingergelenke relativ konstant (Abbildung 29). In PIP- und MCP-Gelenken erreichte die Höhe des Unterschiedes des Flexionsverlustes zwischen den Nachbehandlungsgruppen keine statistische Signifikanz (Mann-Whitney-U-Tests: PIP-Gelenk:  $U = 217,0, z = -0,788, p = 0,430$ ; MCP-Gelenk:  $U = 235,0, z = -0,383, p = 0,702$ ). Die Flexionsverluste im DIP-Gelenk unterschieden sich hingegen zwischen den Nachbehandlungsgruppen signifikant (Mann-Whitney-U-Test: DIP-Gelenk:  $U = 162,5, z = -2,018, p = 0,044$ ). Mit  $r = 0,30$  lag ein mittelstarker Effekt vor.

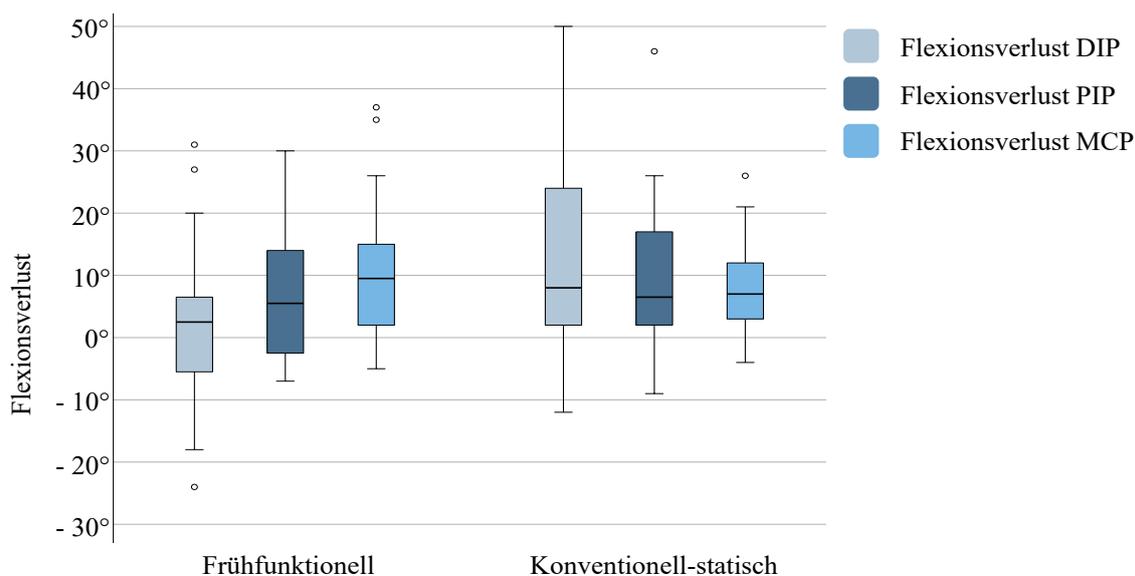


Abbildung 29: Residuale Flexionsverluste von DIP-, PIP- und MCP-Gelenk im Vergleich zur gesunden Gegenseite für das frühfunktionelle (links) und konventionell-statische (rechts) Nachbehandlungsschema.

Von den 46 klinisch nachuntersuchten Patienten zeigten 18 (39,1 %) eine relevante Einschränkung der aktiven Flexionsfähigkeit an einem oder mehreren Fingergelenken. Zehn Patienten litten unter einer Einschränkung eines Gelenks. Bei sechs Patienten waren zwei, bei zwei Patienten drei Gelenke betroffen. Zwischen den Gruppen zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede (Fisher-Tests: DIP-Gelenk  $p = 0,138$ , PIP-Gelenk  $p = 0,198$ , MCP-Gelenk  $p = 0,501$ ). Tabelle 13 stellt die Höhe relevanter Flexionseinschränkungen im Gesamtkollektiv und in den beiden Gruppen dar.

Tabelle 13

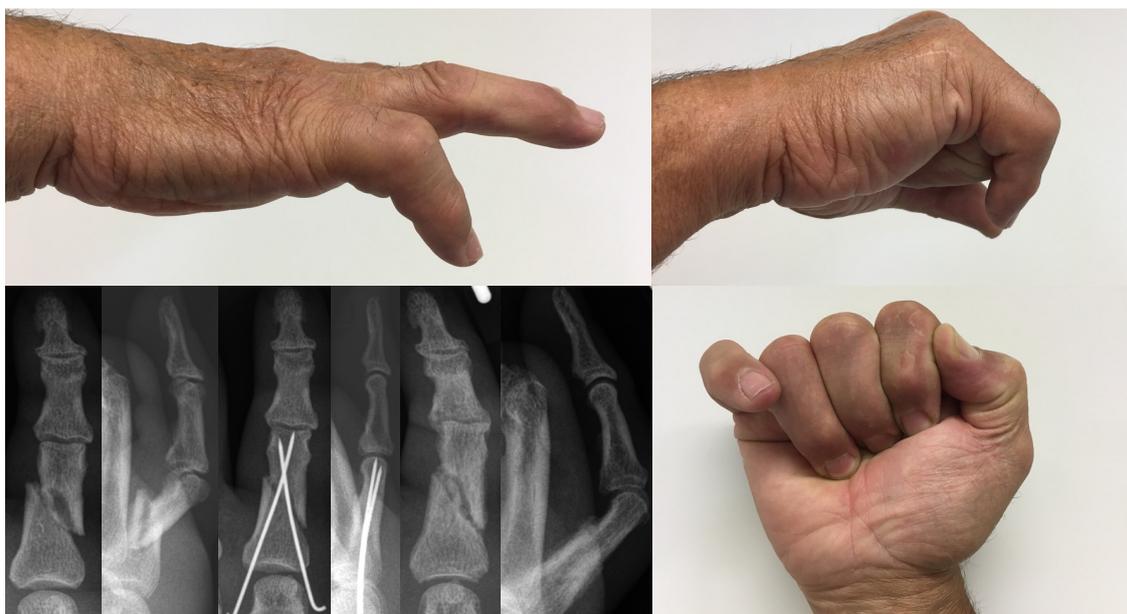
*Häufigkeit von Beugedefiziten und quantitativer Flexionsverlust defizitärer Gelenke*

Gruppe	DIP-Gelenk		PIP-Gelenk		MCP-Gelenk	
	<i>n</i> (%)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)	<i>n</i> (%)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)	<i>n</i> (%)	<i>Mdn</i> (Q1–Q3)
EG	3 (10,7 %)	27,0° (20,0– -°)	5 (17,9 %)	20,0° (16,5–26,5°)	6 (21,4 %)	22,0° (16,8–35,5°)
KG	5 (27,8 %)	31,0° (26,5–48,0°)	6 (33,3 %)	23,5° (17,0–31,0°)	3 (16,7 %)	21,0° (19,0– -°)
Gesamt	8 (17,4 %)	30,0° (24,8–42,3°)	11 (23,9 %)	22,0° (17,0–26,0°)	9 (19,6 %)	21,0° (17,5–30,5°)

*Anmerkung:* DIP-Gelenk = distales Interphalangealgelenk. PIP-Gelenk = proximales Interphalangealgelenk. MCP-Gelenk = Metacarpophalangealgelenk. *n* = Anzahl Patienten. *Mdn* = Median. Q1–Q3 = 1. und 3. Quartil. EG = Experimentalgruppe. KG = Kontrollgruppe.

*Kombinierte Streck- und Beugedefizite*

Elf Patienten wiesen sowohl Beuge- als auch Streckdefizite der Fingergelenke auf. Bei sieben Patienten war ein einzelnes Gelenk im Sinne eines kombinierten Beuge- und Streckdefizites betroffen, vier Patienten wiesen Defizite in unterschiedlichen Gelenken auf. Zwischen den Gruppen war kein signifikanter Unterschied nachweisbar (Fisher-Test:  $p = 0,560$ ). Abbildung 30 zeigt das Ergebnis eines Patienten mit kombiniertem Beuge- und Streckdefizit im PIP-Gelenk sowie Rotationsfehlstellung des rechten Kleinfingers.



*Abbildung 30:* Ergebnis mit kombiniertem Beuge- und Streckdefizit sowie Rotationsfehlstellung des rechten Kleinfingers.

### 3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten hinsichtlich der prospektiv untersuchten Hauptzielkriterien  $TAM_{rel}$  und DASH-Score keine signifikanten Unterschiede zwischen konventionell-statisch und frühfunktionell nachbehandelten Patienten. Die TAM der ehemals frakturierten Finger lag über beide Nachbehandlungsgruppen hinweg bei im Median  $232,0^\circ$  ( $TAM_{abs}$ ) bzw.  $90,3\%$  ( $TAM_{rel}$  = Verhältnis zur gesunden Gegenseite). Der mediane DASH-Score lag bei 1,7. Somit zeigten sich sowohl anhand objektiver Messparameter als auch aus subjektiver Patientensicht in beiden Nachbehandlungsgruppen gute funktionelle Ergebnisse. Die zusätzliche retrospektive Auswertung zeigte komplikationslose Behandlungsverläufe in  $94,9\%$  der Fälle. In vier Fällen waren aufgrund von Pseudarthrosenbildung, Sehnenadhäsionen oder Frakturdislokation Revisionsoperationen notwendig, wobei keine signifikanten Gruppenunterschiede bestanden. In der klinischen Nachuntersuchung zeigten sich Fehlstellungen der ehemals frakturierten Finger bei fünf Patienten ( $10,9\%$ ), signifikante Gruppenunterschiede bestanden nicht. Signifikante Unterschiede lagen hingegen in der Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit vor. Während konventionell-statisch nachbehandelte Patienten im Median 9,0 Wochen lang nicht arbeitsfähig waren, war dies bei frühfunktionell nachbehandelten Patienten im Median nur 2,5 Wochen und damit signifikant kürzer der Fall.

## 4. Diskussion<sup>2</sup>

### 4.1 Interpretation und Eingliederung der Hauptstudienresultate

#### 4.1.1 Total Active Motion und globale Bewegungsfähigkeit

Die medianen TAM-Werte der Patienten der KG und der EG waren ähnlich hoch ( $TAM_{KG\_abs}/TAM_{KG\_rel} = 228,5^\circ/90,5\%$  vs.  $TAM_{EG\_abs}/TAM_{EG\_rel} = 234,0^\circ/90,3\%$ ) und unterschieden sich unter Kontrolle möglicher Kovariablen nicht signifikant. Somit zeigte sich trotz früherer postoperativer Bewegungsübungen in der frühfunktionellen

---

<sup>2</sup> Teile der im folgenden diskutierten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden in der Fachzeitschrift „Handchirurgie – Mikrochirurgie – Plastische Chirurgie“ zur Veröffentlichung eingereicht, 08.01.2020

Nachbehandlungsgruppe keine bessere Bewegungsfähigkeit der ehemals frakturierten Finger. Eine mögliche Ursache liegt darin, dass nicht bei sämtlichen Patienten der frühfunktionellen Nachbehandlungsgruppe die frakturierten Finger unmittelbar postoperativ für Bewegungsübungen freigegeben wurden. Stattdessen fand bei neun der 28 Patienten eine temporäre Ruhigstellung der Finger für im Median 3,0 Tage (Range: 1–14 Tage) statt. In der durchgeführten Kovarianzanalyse zeigte sich dies nicht als relevanter negativer Einflussfaktor auf die Bewegungsfähigkeit. Trotzdem ist denkbar, dass bei konsequenter direkt postoperativer Freigabe der frakturierten Finger aller frühfunktionell nachbehandelter Patienten das mediane Bewegungsausmaß größer gewesen wäre und dies zu einem signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen geführt hätte. Weiterhin könnten die früh initiierten Bewegungsübungen in der frühfunktionellen Nachbehandlung von den Patienten möglicherweise insuffizient ausgeführt worden sein, beispielsweise aus Angst vor Schmerzen oder der Sorge, das Operationsergebnis zu gefährden. Ebenso könnte auch eine mangelhafte Anleitung durch in der Handtherapie unerfahrene Physiotherapeuten ursächlich gewesen sein.

Insgesamt fällt eine hohe Streubreite der TAM<sub>rel</sub>-Werte innerhalb der beiden Gruppen auf (EG: 57,4–102,2 %, KG: 38,0–102,9 %). Über die Hälfte der Patienten beider Gruppen erreichten wieder eine annähernd ihrem ursprünglichen Niveau entsprechende Beweglichkeit am frakturierten Finger (TAM<sub>rel</sub> ≥ 90 %). Ebenso existierten in beiden Gruppen Patienten mit stark eingeschränkter Beweglichkeit (TAM<sub>rel</sub> < 70 %). Es zeigte sich, dass ein höheres Patientenalter mit im Median niedrigeren und stärker gestreuten TAM<sub>rel</sub>-Werten einherging. Eine Abhängigkeit der Beweglichkeit vom Patientenalter zeigte sich auch in einer Studie von Saied und Sabet Jahromi (2018), die die Fingerbeweglichkeit nach Fingergrundgliedfrakturversorgung mittels CRIF-Verfahren untersuchten. Dieser Zusammenhang erscheint erklärbar durch das gehäufte Vorliegen chronisch-degenerativer Gelenkveränderungen bei älteren Patienten (Strickland et al. 1982 zitiert nach Day und Stern 2011). So könnte die hohe Altersspannweite innerhalb der Gruppen (Altersspannweite EG: 59 Jahre, KG: 58 Jahre) einen Teil der Streuung der TAM<sub>rel</sub>-Werte erklären. Ein Unterschied in der Bewegungsfähigkeit zeigte sich zudem in Abhängigkeit von der Operationsdauer. Dies könnte unter der Annahme, dass komplexere, mehrfragmentäre Frakturen mit begleitendem Weichteilschaden längere Operationen erforderten, entsprechend der

Schwere der Verletzung geschuldet sein. Ein signifikanter Unterschied der Bewegungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Frakturart oder dem initialen Vorhandensein einer Hautwunde wurde statistisch jedoch nicht nachgewiesen. Die Bewegungsfähigkeit scheint in der vorliegenden Studie von der präoperativ diagnostizierten Verletzungsart unbeeinflusst. Es gilt jedoch zu beachten, dass die intraoperative Situation von den präoperativen Erwartungen abweichen kann. So könnten interindividuell unterschiedliche anatomische und frakturmorphologische Verhältnisse den Repositions- und Fixationsvorgang unerwartet erschwert haben. Frakturen, zu deren Reposition mehrere Versuche notwendig wurden, könnten durch die zusätzliche Manipulation für den Patienten zu einer erhöhten Schmerzsymptomatik geführt und postoperative Bewegungsübungen erschwert haben. Trotz der steten Bestrebung zur ausreichenden postoperativen Analgesie, könnte die so verursachte Verzögerung postoperativer Mobilisationsübungen die Unterschiede in der Bewegungsfähigkeit erklären. Mehrmalige Repositions- und Fixationsversuche, die zum Erreichen der übungsstabilen Frakturversorgung notwendig wurden, könnten zudem vermehrte Indurationen des Weichteilgewebes nach sich gezogen haben, die zu einer Minderung der Bewegungsfähigkeit geführt haben könnten. Auch hierdurch lassen sich Unterschiede in der Bewegungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Operationsdauer erklären.

Die Studienlage hinsichtlich der Fingerbeweglichkeit nach K-Draht-Osteosynthese ist heterogen und zeigt eine hohe Variabilität der Beweglichkeitswerte. So beschreiben Eberlin et al. (2014) und Saied und Sabet Jahromi (2018) nach periartikulärer K-Draht-Osteosynthese und konventionell-statischer Nachbehandlung in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle exzellente Beweglichkeitswerte (Eberlin et al.: 80 % der Fälle TAM  $\geq 250^\circ$ , Saied und Sabet Jahromi: 75 % der Fälle TAM  $> 240^\circ$ ). Nach transartikulärer K-Draht-Osteosynthese und konventionell-statischer Nachbehandlung erzielten bei Saied und Sabet Jahromi (2018) sogar 79 % der Patienten eine TAM  $> 240^\circ$ , wohingegen dies in der Studie von Al-Qattan (2008) mit der gleichen Behandlungsmethode nur von 13 % der Patienten erreicht wurde. In der vorliegenden Studie besaßen Patienten klassifiziert nach Page und Stern (1998) in 42,9 % der Fälle eine exzellente (TAM  $> 240^\circ$ ) und in 21,4 % der Fälle eine gute (TAM = 220–240°) postoperative Bewegungsfähigkeit. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit den Ergebnissen der Studie von Al-Qattan (2011: 43 % exzellente, 29 % gute Ergebnisse), in der erstmals ein frühfunktionelles

Nachbehandlungsschema nach perkutaner antegrader K-Draht-Osteosynthese bei einem größeren Patientenkollektiv ( $N = 35$ ) Anwendung fand. Im Unterschied zu Al-Qattan (2011) wurden in der vorliegenden Studie jedoch neben Querfrakturen des Grundgliedschafts auch Schräg-, Spiral- und Mehrfragmentfrakturen eingeschlossen. Dies spricht dafür, dass das frühfunktionelle Nachbehandlungsschema grundsätzlich auch bei weiteren Frakturentitäten eingesetzt werden sollte. Die Altersverteilung unterscheidet sich zwischen den aufgeführten Studien. Während in den Studien von Al-Qattan (2008; 2011) und Saied und Sabet Jahromi (2018) Patienten ausschließlich bis zum 50. Lebensjahr eingeschlossen wurden, wies insbesondere die durch sehr gute Beweglichkeitswerte herausstechende Studie von Eberlin et al. (2014) mit einem mittleren Patientenalter von 44 Jahren (Range: 18-78 Jahre) eine zur vorliegenden Studie vergleichbare Altersverteilung auf. Somit erklären Unterschiede in der Altersverteilung der Patienten die abweichenden Studienergebnisse nicht.

Insgesamt erschweren Unterschiede in den untersuchten Frakturarten, den operativen Verfahren, der Nachbehandlung sowie fehlende Konventionen bei der Darstellung der Ergebnisse die Vergleichbarkeit zwischen den Studien. Selbst bei ähnlich beschaffenen Studienkollektiven und der Anwendung gleicher Behandlungsmethoden zeigen sich teilweise abweichende Studienergebnisse. Ein Überblick über aktuell Studien, deren Behandlungsmethoden und Beweglichkeitsergebnisse findet sich in Anhang H wieder.

#### **4.1.2 DASH-Score und Funktionsniveau**

Die niedrigen Werte im DASH-Score ( $Mdn_{gesamt} = 1,7$ ) deuten darauf hin, dass nach abgeschlossener Therapie insgesamt ein hohes Funktionsniveau der oberen Extremität wiedererlangt wurde. Obgleich Patienten der EG im Median etwas geringere Werte im DASH-Score aufwiesen ( $Mdn_{EG} = 1,7$  vs.  $Mdn_{KG} = 2,5$ ), zeigten sich die Unterschiede zwischen den Nachbehandlungsgruppen nicht signifikant und, da erst einer 10-Punkte-Differenz ein messbarer Unterschied beigemessen wird, in ihrer Größenordnung nicht klinisch relevant (Gummesson et al. 2003). In beiden Gruppen gab etwa ein Drittel der Patienten (EG: 30,0 %, KG: 33,3 %) einen Wert von 0,0 Punkten an, was als subjektive Beschwerdefreiheit gilt. Die Ergebnisse zeigen, dass die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese ein operatives Verfahren ist, das aus subjektiver Patientensicht zu guten bis sehr guten funktionellen Ergebnissen nach Fingergrundgliedfraktur führt.

Der DASH-Score gilt als eines der am weitesten verbreiteten Testinstrumente bei Handverletzungen (Hoang-Kim et al. 2011). Neben der Standardversion findet auch eine verkürzte Version (Quick-DASH) Anwendung, die in ihrer „Responsiveness“ als Äquivalent betrachtet werden kann (Gummesson et al. 2006). Der DASH-Score betrug im nachuntersuchten Kollektiv im Mittel 7,8 (*Mdn* = 1,7) und liegt damit in einem Wertebereich mit anderen Studien, in denen das Outcome nach operativ versorgter Fingergrundgliedfraktur anhand des DASH- oder Quick-DASH analysiert wurde (Aita et al. 2016; Ataker et al. 2017; Basar et al. 2015; Kose et al. 2019; Kootstra et al. 2019).

#### **4.1.3 Fazit aus den Hauptergebnissen**

DASH-Score und Total Active Motion unterschieden sich entgegen der Erwartungen zwischen den Nachbehandlungsgruppen nicht. Dennoch zeigte sich im Gesamtkollektiv, dass mit einer Wiederherstellung der Bewegungsfähigkeit von im Median über 90 % eine gute finale Bewegungsfähigkeit des ehemals frakturierten Fingers bestand. Der mediane DASH-Score von 1,7 belegt einen nur geringen Grad an Beeinträchtigung bei Funktionen und Aktivitäten des Alltags bzw. eine geringe Schwere an Symptomen bei Tätigkeiten, für die die obere Extremität genutzt wird. Damit wird deutlich, dass die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese ein sehr gutes Verfahren zur Therapie von Fingergrundgliedfrakturen ist und in der überwiegenden Mehrheit der Fälle zu guten funktionellen Ergebnissen führt. Zudem ist bei gleich guten funktionellen Ergebnissen die frühfunktionelle der konventionell-statischen Nachbehandlung vorzuziehen, da im Gegensatz zur konventionell-statischen Nachbehandlung auf die zusätzliche Anlage einer Kunststoffschiene verzichtet werden kann. Dadurch werden die Produktionskosten der Schienen eingespart und Einschränkungen im Alltag der Patienten, die durch die Schiene zum Beispiel beim Duschen oder An- und Auskleiden entstehen, vermieden. Dies zeigte sich auch darin, dass in der Gruppe der frühfunktionellen Nachbehandlung eine in der Tendenz etwas höhere Patientenzufriedenheit vorlag. Weiterhin erscheint der frühzeitige Beginn der Bewegungsübungen bzw. das Weglassen der Schiene als Grundvoraussetzung für eine frühe berufliche Wiedereingliederung, wodurch nicht zuletzt auch indirekte Krankheitskosten, die der Gesellschaft durch den Ausfall an Arbeitskraft und Produktivität entstehen, reduziert werden können.

## 4.2 Interpretation und Eingliederung der Nebenstudienresultate

### 4.2.1 Komplikationen und Frakturkonsolidierung

Im Kollektiv von  $n = 79$  traten bei insgesamt vier Patienten operativ revisionsbedürftige Komplikationen auf. Die vier betroffenen Patienten wurden konventionell-statisch nachbehandelt. In zwei dieser Fälle traten Frakturdislokationen auf, wobei jeweils geschlossene Frakturen ohne Gelenkbeteiligung vorlagen. Als möglicher Risikofaktor für die Dislokation kommt in einem Fall die Verwendung von nur einem K-Draht zur Fixation der Grundgliedschaftschrägfraktur infrage. Im zweiten Fall erhöhte sich das Dislokationsrisiko wahrscheinlich dadurch, dass bereits bei initialer Vorstellung ein starker Drehfehler infolge einer Spiralfaktur vorlag. Beide Patienten wurden erneut mittels Schraubenosteosynthese operiert. Ein weiterer Patient entwickelte nach erfolgter Metallentfernung im Verlauf eine Pseudarthrose, die plattenosteosynthetisch versorgt werden musste. Bei der Fraktur dieses Patienten handelte es sich um ein schweres Verletzungsmuster mit mehrfragmentärer Fraktur von Grundgliedbasis und -schaft, Beteiligung des MCP-Gelenks und Riss-Quetschwunde über dem Grundglied. Auch dieser Patient wurde konventionell-statisch nachbehandelt, es muss jedoch kritisch hinterfragt werden, ob aufgrund der Verletzungsschwere eine frühfunktionelle Nachbehandlung möglich gewesen wäre. Der vierte Patient wies Vernarbungen der Strecksehnen im Bereich der Grundgliedbasis und des MCP-Gelenks auf und musste infolgedessen etwa fünf Monate nach der perkutanen K-Draht-Osteosynthese erneut operiert werden. Ein Zusammenhang mit der Schienenruhigstellung in IP-Stellung im konventionell-statischen Nachbehandlungsschema ist denkbar.

Der Vergleich der Komplikationshäufigkeiten verschiedener Studien gestaltet sich aufgrund eines fehlenden Konsenses hinsichtlich des Komplikationsbegriffes schwierig. In der vorliegenden Studie wurden ausschließlich Komplikationen analysiert, die eine operative Therapie nach sich zogen. Weder in der Studie von Al-Qattan (2011) (frühfunktionelle Nachbehandlung) noch in der von Shewring et al. (2018) (konventionell-statische Nachbehandlung) zeigten sich Frakturdislokationen oder Pseudarthrosenbildungen. Eine höhere Anzahl an Komplikationen trat in der Studie von Faruqui et al. (2012) auf. In dieser Fallserie wurden insgesamt acht Folgeoperationen (sieben Tenolysen und eine Kapsulotomie) nach peri- oder transartikulärer K-Draht-Osteosynthese und konventionell-statischer Nachbehandlung von 50

Fingergrundgliedfrakturen notwendig. Signifikante Unterschiede zwischen peri- bzw. transartikulärer Behandlung zeigten sich in der Studie von Faruqui et al. (2012) nicht, die Autoren postulieren jedoch eine tendenziell höhere Komplikationsrate nach transartikulärer K-Draht-Osteosynthese (sechs Folgeoperationen) im Vergleich zur auch in der vorliegenden Studie angewendeten periartikulären K-Draht-Osteosynthese (zwei Folgeoperationen). Festzuhalten bleibt, dass mit insgesamt vier operationsbedürftigen Komplikationen keine im Vergleich zu anderen Publikationen erhöhte Komplikationsrate vorlag. Vor allem nach frühfunktioneller Nachbehandlung trat keine operativ revisionsbedürftige Komplikation, insbesondere keine Frakturdislokation oder Pseudarthrosenbildung, auf. Daraus lässt sich schließen, dass die perkutane periartikuläre antegrade K-Draht-Osteosynthese Übungsstabilität erzeugt und ein frühfunktionelles Nachbehandlungsschema ohne erhöhtes Komplikationsrisiko angewendet werden kann.

Alle Frakturen der retrospektiv analysierten Patienten ( $n = 90$ ) konsolidierten, bei einem Patienten jedoch erst nach plattenosteosynthetischer Versorgung einer ausgebildeten Pseudarthrose. Die ausreichende knöcherne Konsolidierung der verbliebenen 89 Patienten lag im Gesamtkollektiv nach im Median 41,0 Tagen vor, signifikante Unterschiede zwischen den Nachbehandlungsgruppen existierten nicht. Der Range von 21–70 Tagen erscheint groß, deckt sich aber mit den Erfahrungen aus anderen Studien (Eberlin et al. 2014: 19–71 Tage, Kose et al. 2019: 21–42 Tage).

#### **4.2.2 Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit**

Fünf Patienten (KG 3, EG 2) konnten direkt nach der operativen Therapie wieder ihren Beruf ausüben. Vier der fünf Patienten übten beruflich „Bürotätigkeiten“ aus, nur einer „manuelle Tätigkeiten“. Die Arbeitsunfähigkeit im nachuntersuchten Kollektiv betrug im Median 3,5 Wochen und unterschied sich zwischen den Nachbehandlungsgruppen signifikant (KG 9,0 Wochen, EG 2,5 Wochen). Als Erklärung für die Gruppenunterschiede erscheint ein Zusammenhang mit dem Tragen der einschränkenden Kunststoffschienen im Rahmen des konventionell-statischen Nachbehandlungsschemas möglich. Dies könnte die Arbeitsunfähigkeit während der Schienenruhigstellung (4–6 Wochen nach der Operation) erklären. Weiterhin könnte die Funktionalität der betroffenen Hand, die zur Bewältigung der Arbeitsanforderungen erforderlich ist, durch die früher initiierten Bewegungsübungen im frühfunktionellen Nachbehandlungsschema

---

schneller wieder hergestellt gewesen sein. Weiterhin könnte die ungleiche Gruppenverteilung der ausgeübten Berufe (EG 36 % manuelle Tätigkeiten, KG 63 % manuelle Tätigkeiten) einen Einfluss auf die Arbeitsunfähigkeitsdauer gehabt haben. Die zusätzlich durchgeführte Kovarianzanalyse unter Kontrolle der Variablen „ausgeübter Beruf“ zeigte, dass die Gruppenunterschiede in der Art der Berufstätigkeit die Unterschiede der Arbeitsunfähigkeitsdauer zwischen frühfunktioneller und konventionell-statischer Nachbehandlung jedoch nicht hinreichend erklären können.

Bei Saied und Sabet Jahromi (2018) lag die Arbeitsunfähigkeitsdauer nach K-Draht-Osteosynthese bei 1–8 Wochen. Die mittlere Arbeitsunfähigkeitsdauer der vorliegenden Studie lag mit 5,4 Wochen im beschriebenen Zeitintervall. Wesentlich länger arbeitsunfähig waren Patienten nach K-Draht-Osteosynthese und frühfunktioneller Nachbehandlung mit durchschnittlich 14 Wochen (11–24 Wochen) bei Al-Qattan (2011) bzw. nach konventionell-statischer Nachbehandlung mit 126 Tagen (ca. 18 Wochen) in der Studie von Reformat et al. (2018). Bei Basar et al. (2015) betrug die Arbeitsunfähigkeit nach ORIF im Mittel zwischen 4,5 und 6,5 Wochen.

Die Arbeitsunfähigkeitsdauer nach Frakturversorgung ist in der vorliegenden Studie – im Vergleich zu den Befunden bisheriger Studien – eher gering und erscheint insbesondere bei frühfunktionell nachbehandelten Patienten kurz. Dies spricht zum einen für die hinreichend gute Operationsmethode mittels K-Draht-Osteosynthese, zum anderen für die Vorteile der frühfunktionellen Nachbehandlungsmethode mit früh initiierten Bewegungsübungen ohne Kunststoffschiene. Dennoch scheint die Arbeitsunfähigkeitsdauer individuell zu variieren und neben der Qualität der Frakturversorgung von persönlichen Faktoren des Patienten, wie der Knochenheilungsgeschwindigkeit oder dem ausgeübten Beruf, abzuhängen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen jedoch, dass Patienten nach Anwendung eines frühfunktionellen Nachbehandlungsschemas früher wieder in ihren Beruf einsteigen konnten, was neben der Förderung sozialer Teilhabe auch eine Reduktion indirekter Krankheitskosten bewirkt. Hinsichtlich der Arbeitsunfähigkeitsdauer scheint die frühfunktionelle Nachbehandlung der konventionell-statischen folglich überlegen.

### 4.2.3 Patientenzufriedenheit und Beschwerdefreiheit

Die überwiegende Mehrzahl der Patienten war mit der Behandlung zufrieden (78 % mit 0–3 auf 10-stufiger numerischer Analogskala von 0 = sehr zufrieden bis 10 = sehr unzufrieden) und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung beschwerdefrei (88,2 %). Sechs Patienten hatten residuale Beschwerden. Bei vier von ihnen fand die Nachuntersuchung im Rahmen der vorliegenden Studie weniger als ein Jahr nach der K-Draht-Osteosynthese statt. Durch die nur kurze Rehabilitationszeit dieser Patienten erklären sich wahrscheinlich die residualen Beschwerden. Die weiteren elf Patienten, die weniger als ein Jahr nach K-Draht-Osteosynthese nachuntersucht wurden, hatten allesamt Beschwerdefreiheit erlangt. Obgleich zwischen den Nachbehandlungsgruppen keine signifikanten Unterschiede bestanden, war die Patientenzufriedenheit in der Gruppe der frühfunktionellen Nachbehandlung in der Tendenz etwas höher. Das insgesamt hohe Maß an Zufriedenheit der Patienten spricht für eine hohe Qualität der Frakturversorgung und untermauert die Hauptergebnisse der Studie, die ein insgesamt gutes funktionelles Niveau des ehemals frakturierten Fingers zeigten.

### 4.2.4 Frakturheilung in Fehlstellung

Knapp 90 % der Frakturen verheilten in anatomisch korrekter Lage. Etwa jeder zehnte Patient (10,9 %) wies am ehemals frakturierten Grundglied jedoch eine Fehlstellung um mindestens 10° auf. Die sich daraus ergebenden funktionellen Einschränkungen zeigten sich auch an den im Median schlechteren Bewegungsumfängen ( $TAM_{abs}/TAM_{rel} = 189,6^\circ/73,0\%$ ) und erhöhten DASH-Scores ( $Mdn = 16,4$ ) dieser Patienten. Obwohl in der frühfunktionellen Nachbehandlung auf die Stabilisation mittels Kunststoffschiene verzichtet wurde, bestanden keine signifikanten Gruppenunterschiede. Auch eine signifikante Abhängigkeit der Fehlstellungshäufigkeit von der Anzahl verwendeter K-Drähte zeigte sich nicht. Im prospektiv nachuntersuchten Kollektiv trat bei keinem Patienten, der mit nur einem K-Draht versorgt wurde, eine Fehlstellung auf. Keinen Einfluss auf die Häufigkeit von Fehlstellungen hatte außerdem, ob frühfunktionell nachbehandelte Patienten postoperativ eine 8er-Schleife bzw. ein Buddy-Tape angelegt bekommen hatten oder nicht. Auffällig war hingegen eine Häufung von Mehrfragment- bzw. Trümmerfrakturen, die bei drei der fünf Patienten mit in Fehlstellung verheilten

Frakturen vorgelegen hatten. Ein bereits präoperativ vorliegender, deutlicher Drehfehler lag bei einem weiteren Fall als Risikofaktor für eine persistierende Fehlstellung vor.

In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle verheilen operativ versorgte Fingergrundgliedfrakturen anatomisch korrekt. Trotzdem müssen Patienten explizit über Fehlstellungen, die eine funktionelle Einschränkungen nach sich ziehen können, im Rahmen der präoperativen Besprechung aufgeklärt werden. Besonders komplexe Frakturmuster (Mehrfragment- bzw. Trümmerfrakturen) und bereits initial bestehende deutliche Dislokationen scheinen einen Einfluss auf die Auftretenshäufigkeit von postoperativen Fehlstellungen zu nehmen. Entsprechende Patienten sollten besonders engmaschig nachkontrolliert werden, um gegebenenfalls frühzeitig Korrekturmaßnahmen ergreifen zu können. Den Ergebnissen dieser Studie nach erscheint für den Fall, dass die Einbringung eines zweiten K-Drahtes aus operationstechnischen Gründen nicht möglich ist, sowie unter der Voraussetzung, dass intraoperativ auch bei nur einem einliegenden K-Draht Übungsstabilität bestätigt werden kann, die Verwendung von einem K-Draht zur suffizienten Frakturfixation ausreichend. Trotzdem sollte im Regelfall, wie auch in 88 % der Fälle dieser Studie, die Anwendung von zwei K-Drähten erfolgen, um eine höhere Rotationsstabilität der Frakturversorgung zu generieren (Hornbach und Cohen 2001).

#### **4.2.5 Hand- und Fingerkraft**

Die untersuchten Patienten erreichten im Mittel über 93 % der Kraft der Gegenseite. Damit entsprechen die Ergebnisse denen vergleichbarer Studien (Basar et al. 2015; Hornbach und Cohen 2001; Horton et al. 2003; Kose et al. 2019). Signifikante Unterschiede zwischen den Nachbehandlungsgruppen zeigten sich nicht. Somit scheint die frühere Initiation von Bewegungsübungen keinen Einfluss auf die finale Handkraft zu haben. In der Regel bestehen zwischen dominanter und nicht-dominanter Hand Kraftunterschiede (Incel et al. 2002). Im nachuntersuchten Kollektiv zeigte sich, dass Patienten, deren frakturierte Hand auch die dominante Hand war, eine signifikant höhere relative Kraftgriffkraft im Vergleich zur gesunden Gegenseite erzielten als Patienten, deren nicht-dominante Hand frakturiert war. Das zeigt, dass der in der Regel bestehende Kraftunterschied zwischen dominanter und nicht-dominanter Hand auch nach stattgehabter Fingergrundgliedfraktur und K-Draht-Osteosynthese erhalten bleibt.

#### 4.2.6 Streck- und Beugedefizite

Die Bewegungsfähigkeitsverluste im DIP-Gelenk waren insgesamt gering und, aufgrund der für das Funktionsniveau der Hand untergeordneten Rolle des DIP-Gelenks, nur bedingt klinisch relevant. Im MCP-Gelenk wies nur ein Patient (KG) einen Extensionsfähigkeitsverlust  $> 15^\circ$  im Vergleich zum gesunden Finger der Gegenseite auf, im Median wurde das ursprüngliche Extensionsniveau im Gesamtkollektiv wieder erreicht. Signifikante Gruppenunterschiede durch die mehrwöchige Ruhigstellung des MCP-Gelenks in IP-Stellung in der KG existierten somit nicht. Trotzdem zeigte sich in der Tendenz, dass aus dem frühfunktionellen Nachbehandlungsschema eine bessere finale Beweglichkeit des MCP-Gelenks resultierte (Extensionsverluste: KG  $6,0^\circ$ , EG  $-1,0^\circ$ ). Im PIP-Gelenk wurden Extensionsfähigkeitsverluste  $> 15^\circ$  bei 13 Patienten beobachtet, wobei keine signifikanten Gruppenunterschiede bestanden. Bei auch physiologisch begrenzter Extensionsfähigkeit des PIP-Gelenks ist ein Verlust an Extensionsfähigkeit dieser Größenordnung gleichbedeutend mit einer Flexionskontraktur des DIP-Gelenks. Diese gelten als häufiges Problem nach Handverletzungen und können zu funktionellen Einschränkungen der gesamten Hand führen (Callahan und McEntee 1986; Prosser 1996). Gerade durch die Behinderung bei alltäglichen Handgriffen (Handschlag zur Begrüßung, Hand in die Hosentasche stecken, Tasse greifen) können erhebliche Einschränkungen im privaten und beruflichen Umfeld resultieren. Zudem ist der sich nicht synchron zu den anderen Fingern bewegende defizitäre Finger einer besonderen Verletzungsgefahr durch Anschlagen oder Einklemmen ausgesetzt. Flexionsfähigkeitsverluste  $> 15^\circ$  in MCP- und/oder PIP-Gelenk wiesen 16 Patienten auf. Bei elf Patienten konnten die Verluste nicht durch ein anderes Fingergelenk kompensiert werden, was zu einem insuffizienten Faustschluss führte ( $\text{Range}_{\text{FKHA}} = 0,5\text{--}3,0\text{ cm}$ ). Dadurch ist zum einen das feste und sichere Greifen von Gegenständen erschwert. Zum anderen ist, da der flexionsdefizitäre Finger bei Beugung der übrigen Finger nicht mit diesen in einer Reihe steht und eingeklemmt oder an Gegenständen hängen bleiben kann, das Risiko für eine erneute Verletzung des Fingers erhöht.

Insgesamt zeigt sich ein relevanter Anteil an Patienten mit defizitärer Fingergelenkbeweglichkeit, was sich mit dem Ergebnis anderer Studien deckt (Faruqui et al. 2012; Al-Qattan 2011; Shewring et al. 2018; Elmaraghy et al. 1998). Insbesondere die Einschränkung von MCP-Flexion und PIP-Extension, aber auch die PIP-

---

Flexionseinschränkung stellen bekannte Probleme nach Fingergrundgliedfrakturversorgung dar (Faruqui et al. 2012; Shewring et al. 2018).

### **4.3 Vergleich mit alternativen Behandlungsverfahren**

#### **4.3.1 Konservative Therapie**

Instabile Fingergrundgliedfrakturen gelten als Domäne operativer Frakturversorgung. Es werden jedoch auch konservative Therapieformen mit „dynamischer Schienung“ angewendet, deren Vorteil in fehlenden Operationsrisiken und niedrigeren Behandlungskosten liegen (Ebinger et al. 1999; Figl et al. 2011; Fok et al. 2013; Franz et al. 2012; Held et al. 2013). Dabei soll unter Ausnutzung der „inneren Schienung“ durch den zirkulären metacarpophalangealen Halteapparat eine stabile Frakturversorgung ermöglicht werden. Grundsätzlich besteht jedoch die Gefahr von Frakturdislokationen und Streckdefiziten durch Verkürzungen der frakturierten Phalanx (Held et al. 2013). Auch Rotationsfehlstellungen und Frakturen mit Gelenkbeteiligung bleiben konservativ schwierig zu behandeln (Fok et al. 2013). Bei älteren Patienten treten zudem häufiger Bewegungseinschränkungen auf. Aufgrund der höheren Stabilität der Frakturversorgung mit der Möglichkeit der frühfunktionellen Beübung aller Fingergelenke sowie der einfachen Durchführbarkeit ist in der BG Unfallklinik Tübingen die perkutane K-Draht-Osteosynthese mit frühfunktionellem Nachbehandlungsschema der Standard der Frakturversorgung. Die konservative Behandlung instabiler Fingergrundgliedfrakturen kann bei entsprechender Selektion des Patientenkollektivs jedoch eine Alternative darstellen. Besonders bei basisnahen Frakturen ohne Rotationsfehlstellung oder Gelenkbeteiligung bei jungen Patienten sind gute Ergebnisse möglich. Dabei sollten regelmäßige Kontrolluntersuchungen durchgeführt werden, um Frakturdislokationen frühzeitig zu erkennen und ggf. ein operatives Vorgehen zu erwägen.

#### **4.3.2 Offene Reposition und interne Fixation**

Bei offener Reposition und interner Fixation (ORIF) finden Platten- und/oder Schraubenosteosyntheseverfahren Anwendung (Ataker et al. 2017; Basar et al. 2015; Unglaub et al. 2019; Page und Stern 1998; Parsons et al. 1992; Puckett et al. 1993; Pun et al. 1989; Shimizu et al. 2012). Die publizierten Ergebnisse nach Plattenosteosynthese

---

sind äußerst heterogen. Neben Studien, die über hohe Komplikationsraten berichten (Brei-Thoma et al. 2015; Kurzen et al. 2006; Page und Stern 1998; Pun et al. 1991), zeigen andere Studien gute Ergebnisse (Ataker et al. 2017; Basar et al. 2015; El-Saeed et al. 2019). Horton et al. (2003) verglichen die funktionellen Ergebnisse nach K-Draht- und Schraubenosteosynthese an Spiral- und langen Schrägfrakturen und konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Griffkraft, Beweglichkeit, Frakturheilung, Funktionalität des Fingers oder Dauer der Arbeitsunfähigkeit zeigen. Einschränkungen in der Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der vorliegenden Studie ergeben sich daraus, dass die Finger der Patienten der K-Draht-Gruppe bei Horton et al. (2003) drei bis vier Wochen in IP-Stellung immobilisiert, also entsprechend dem konventionell-statischen Schema nachbehandelt wurden. Patienten mit Schraubenosteosynthese wurden hingegen frühfunktionell nachbehandelt. In der BG Unfallklinik Tübingen ist die Plattenosteosynthese wegen der Tendenz zu postoperativen Bewegungseinschränkungen der Finger und dem höheren operativen Aufwand ein Verfahren zweiter Wahl, das vor allem bei komplexen Rekonstruktionen, pathologischen Frakturen oder Revisionseingriffen angewendet wird. Die Schraubenosteosynthese findet in der BG Unfallklinik Tübingen bei bestimmten Frakturentitäten (lange Schrägfrakturen, Spiralfrakturen) Anwendung. Dabei wird eine „minimalinvasive“ Einbringung der Schrauben durch kleine, laterale Inzisionen angewendet, um die Schäden am Weichteilmantel gering zu halten. Die K-Draht-Osteosynthese bleibt aufgrund einfacher Anwendbarkeit, geringem Ressourcenverbrauch sowie guten funktionellen Ergebnissen jedoch der Standard der Frakturversorgung instabiler Fingergrundgliedfrakturen.

#### **4.4 Stärken und Limitationen der Studie**

##### *Stichprobenumfang und Rücklaufquote*

Mit 90 Patienten wurde ein großes Kollektiv retrospektiv analysiert. Zusätzlich wurden im Rahmen von Nachuntersuchungsterminen prospektive Daten erhoben, um weiterführende Aussagen über die funktionellen Ergebnisse (TAM, DASH) nach Abschluss der Behandlung treffen zu können. Die Termine wurden individuell vereinbart und fanden größtenteils außerhalb der Geschäftszeiten (abends und am Wochenende) statt, sodass auch berufstätige Patienten an der Studie teilnehmen konnten. Eine Rücklaufquote für die prospektive Datenerhebung von 56,7 % ist als positiv

---

einzuschätzen, trotzdem lassen die Ergebnisse aufgrund der mit 51 nachuntersuchten Patienten geringen Fallzahl der prospektiven Erhebung nur mit Vorsicht Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit zu. Ein Grund, warum nicht noch mehr Patienten rekrutiert werden konnten, liegt vermutlich auch darin, dass die BG Unfallklinik Tübingen als überregionales Traumazentrum ein großes Einzugsgebiet besitzt und die finanzielle Aufwandsentschädigung für die Studienteilnahme von 50 Euro für Patienten mit langem Anfahrtsweg nicht ausreichte, um die zeitlichen und finanziellen Aufwendungen zu kompensieren.

### *Repräsentativität*

Die Altersspannweite von 16–75 Jahren deckt ein realistisches Spektrum an Patienten ab, das in einer chirurgischen Notaufnahme vorstellig wird. Das mittlere Alter von 41,26 Jahren entspricht dabei in etwa dem bundesdeutschen Altersdurchschnitt von 44,4 Jahren (Statistisches Bundesamt 2019). Das männliche Geschlecht zeigt sich mit einem Anteil von 70 % überrepräsentiert, was der Geschlechterverteilung in der Frakturinzidenz phalangealer und metacarpaler Frakturen von 64,2–74,4 % entspricht (De Jonge et al. 1994; Stanton et al. 2007). Eine ähnliche Geschlechterverteilung zeigt sich auch in anderen Studien, die Fingergrundgliedfrakturen untersuchten (Saied und Sabet Jahromi 2018; Shewring et al. 2018). Das Einzugsgebiet der BG Unfallklinik Tübingen als überregionales Traumazentrum umfasst städtische Gebiete (Tübingen, Reutlingen) sowie die ländliche Region Südwürttembergs und kann als für die deutsche Allgemeinbevölkerung repräsentativ angesehen werden. In der vorliegenden Studie lagen Frakturen der linken Hand insgesamt etwas häufiger vor (58,9 %) vor. Die Patienten waren nur zu 9,8 % Linkshänder, somit waren Frakturen der nicht-dominanten Hand häufiger als Frakturen der dominanten Hand (66,7 % vs. 33,3 %). Stanton et al. (2007) beschrieben hingegen, dass Frakturen der rechten und dominanten Seite mit einem Anteil von 60 % aller Frakturen häufiger vorkamen. Da jedoch in beiden Nachbehandlungsgruppen Frakturen der linken Hand vorherrschten, war dies für den Vergleich der Nachbehandlungsschemata nicht relevant.

### *Gruppenhomogenität*

Frakturen mit Gelenkbeteiligung (KG 9 vs. EG 2) und Frakturen mit begleitender offener Hautwunde (KG 5 vs. EG 2) wurden insgesamt häufiger konventionell-statisch nachbehandelt, signifikante Gruppenunterschiede bestanden diesbezüglich jedoch nicht. Im prospektiv nachuntersuchten Kollektiv ( $n = 51$ ) waren die Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit von Gelenkbeteiligung und offenen Hautwunden zwischen den Gruppen noch geringer ausgeprägt (KG 4/3 vs. EG 2/2), sodass Einflüsse auf die prospektiv erhobenen Hauptstudienresultate (DASH, TAM<sub>rel</sub>) unwahrscheinlich sind. Zudem bestanden hinsichtlich der Art der beruflichen Tätigkeit Unterschiede zwischen den Patienten der beiden Nachbehandlungsgruppen („manuelle Tätigkeiten“ vs. „Bürotätigkeiten“). Diese erwiesen sich jedoch als für die Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit nicht ausschlaggebend. Die klinische Nachuntersuchung fand 6–80 Monate nach Fingergrundgliedfrakturversorgung statt. Es zeigte sich, dass Patienten, die weniger als ein Jahr nach der Frakturversorgung nachuntersucht wurden, signifikant schlechtere Werte in den Hauptergebnissen (DASH, TAM<sub>rel</sub>) hatten als Patienten, bei denen mehr als ein Jahr zwischen Frakturversorgung und Nachuntersuchung lag. Daraus lässt sich ableiten, dass manche Patienten zu früh nachuntersucht wurden und noch nicht ihr finales Funktionsniveau erreicht hatten. Die konsequente Untersuchung der Patienten frühestens ein Jahr nach der Frakturversorgung hätte womöglich zu noch besseren Studienergebnissen geführt. Im Zeitraum von 2010 bis 2017, in dem die Studienpatienten behandelt wurden, beschrieb die frühfunktionelle Nachbehandlung einen Wandel. Je nach Schwere der Fraktur wurde zunächst noch eine Gipsschienenruhigstellung durchgeführt. Erst im Laufe der Jahre wurde das Schema so konsequent angewendet, dass bereits ab dem Operationstag Bewegungsübungen durchgeführt wurden. Wie sich zeigte, hatte die Gipsschienenruhigstellung jedoch keinen Einfluss auf die Hauptergebnisse der vorliegenden Studie. Insgesamt können die zu vergleichenden Nachbehandlungsgruppen als ausreichend homogen angesehen werden.

### *Aufbau der Studie*

Es bestehen die für ein retrospektives Studiendesign üblichen Einschränkungen. Diese umfassen fehlende Patienten- und Studiendaten, die sich durch Unterschiede hinsichtlich der Ausführlichkeit, mit der die Behandlungsdokumentation in der klinischen

---

Routine der behandelnden Ärzte durchgeführt wurde, ergeben. Weiterhin fehlt bei retrospektiver Betrachtung die Möglichkeit zur randomisierten Gruppenzuteilung der Patienten, sodass ein Selektionsbias durch die Operateure, die die Entscheidung zur entweder frühfunktionellen oder konventionell-statischen Nachbehandlung auf Grundlage persönlicher Präferenzen trafen, nicht auszuschließen ist. Wie die Subgruppenanalysen zeigten, waren die Nachbehandlungsgruppen jedoch insgesamt ähnlich beschaffen, sodass die nicht randomisierte Gruppenzuteilung vermutlich keinen Einfluss auf die Studienergebnisse hatte. Vorteile retrospektiver Datenerhebungen liegen in der zuverlässigen Verfügbarkeit der Daten sowie der Kosteneffizienz. Die retrospektive Auswertung von Röntgenbildern, die während des Behandlungsverlaufs entstanden, ersparte den Studienpatienten Strahlenexposition.

Sämtliche Messungen der prospektiven Datenerhebung wurden von einem Untersucher vorgenommen, wodurch gewährleistet wurde, dass die Untersuchungen stets auf die gleiche Art durchgeführt wurden. In der prospektiven Erhebung wurden objektive (Handkraft, Beweglichkeit) wie auch subjektive, die individuelle Patientensicht auf ihre Gesundheit betreffende (DASH-, PRWE-Fragebogen) Daten erhoben. Die Fingerbeweglichkeit ist eine wichtige Determinante der Handfunktion und wird in vielen Studien als Zielgröße zur Evaluation des Behandlungserfolgs definiert (Bain et al. 2015; Bland et al. 2008). Zudem findet die Fingerbeweglichkeitsmessung auch in der klinischen Routine Anwendung (Green 2011). Da sich die Absolutwerte der Fingerbeweglichkeit jedoch interindividuell, je nach Geschlecht und zwischen den einzelnen Fingern unterscheiden, wurden in der vorliegenden Studie die Relativwerte im Vergleich zur jeweils gesunden Gegenseite berechnet (Mallon et al. 1991). Zudem spielt auch das Selbstverständnis der Patienten über Fähigkeiten und Einschränkungen in Bezug auf ihre ehemals verletzte Extremität (DASH-Fragebogen) eine Rolle in der Beurteilung des funktionellen Ergebnisses nach der Fingergrundgliedfrakturversorgung (Germann et al. 2003). Die vorliegenden Ergebnisse besitzen somit durch die Auswertung prospektiver und retrospektiver Daten eine hohe Aussagekraft.

#### 4.5 Schlussfolgerung und Implikation für die medizinische Praxis

Die perkutane antegrade und periartikuläre K-Draht-Osteosynthese ist ein sicheres und ressourcenschonendes Verfahren zur Therapie von Fingergrundgliedfrakturen, die eine häufige Folge von Handtraumata sind. Durch die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese wird entsprechend den vorliegenden Ergebnissen eine zur frühfunktionellen Nachbehandlung ausreichende Übungsstabilität geschaffen. Dadurch wird die Anwendung unmittelbar postoperativer Bewegungsübungen im Rahmen des frühfunktionellen Nachbehandlungsschemas ermöglicht, ohne im Vergleich zur konventionell-statischen Nachbehandlung das Risiko für postoperative Komplikationen (insbesondere von Frakturdislokationen) zu erhöhen. Hinsichtlich der funktionellen Ergebnisse zeigten sich zwischen den beiden Nachbehandlungsschemata „konventionell-statisch“ und „frühfunktionell“ keine Unterschiede. Da das frühfunktionelle Nachbehandlungsschema keine Ruhigstellung des MCP-Gelenks durch Anlage einer Kunststoffschiene vorsieht, ist es als für den Patienten angenehmer und im Alltag weniger einschränkend anzusehen. Dies zeigte sich auch durch in der Tendenz etwas höhere Werte in der subjektiven Patientenzufriedenheit. Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit durch den Einsatz des frühfunktionellen Nachbehandlungsschemas bedeutend verkürzt werden konnte. In der Zusammenschau ist das frühfunktionelle Nachbehandlungsschema dem konventionell-statischen etwas überlegen und somit insgesamt zu bevorzugen.

Die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese mit frühfunktioneller Nachbehandlung lässt sich bei einem breiten Spektrum von instabilen Fingergrundgliedfrakturen einsetzen. Auch eine Gelenkbeteiligung der Fraktur oder einfache offene Hautwunden stellen, sofern intraoperativ eine ausreichende Stabilität der Frakturversorgung bestätigt werden kann, keine grundsätzliche Kontraindikation dar. Dennoch sollten bei schweren Verletzungsausmaßen mit rekonstruktionsbedürftigen Weichteilverhältnissen alternative rigide Osteosyntheseverfahren in Betracht gezogen werden. Besonders engmaschige Nachkontrollen sollten bei Patienten durchgeführt werden, deren Frakturmuster für persistierende Fehlstellungen prädisponieren (höhergradige Dislokation, Mehrfragment- bzw. Trümmerfrakturen), um gegebenenfalls frühzeitig Korrekturmaßnahmen ergreifen zu können. Besonderes Augenmerk sollte auch auf eine ausreichende physiotherapeutische Anschlussbehandlung nach der Operation

---

gelegt werden, sodass die freie Beweglichkeit in den postoperativ häufiger eingeschränkten PIP- und MCP-Gelenken wiederhergestellt werden kann.

Zudem ergeben sich aus der Studie weitere Forschungsfragen für zukünftige Studien. Trotz der insgesamt guten funktionellen Ergebnisse und geringen Komplikationshäufigkeit sollten die Ergebnisse anhand größerer Fallzahlen überprüft werden. Um auch bei geringen Inzidenzen hohe Fallzahlen zu generieren, böten sich multizentrische Studien an. Zudem könnte die finale Fingerbeweglichkeit nach Frakturversorgung noch weiter verbessert werden. Künftige Studien könnten sich zum Ziel setzen, prospektiv, randomisiert kontrolliert und unter engeren Einschlusskriterien definierte Frakturentitäten hinsichtlich ihrer Eignung für die perkutane antegrade und periartikuläre K-Draht-Osteosynthese zu eruieren, um im Vergleich zu alternativen Verfahren profitierende Patientengruppen noch besser zu selektieren. So wäre denkbar, dass besonders Patienten mit Quer- und kurzen Schräg- sowie mehrfragmentären Frakturen von der Behandlung mittels K-Draht-Osteosynthese profitieren, wohingegen lange Schräg- oder Spiralfrakturen auch durch orthogonal zum Frakturspalt stehende, minimalinvasiv eingebrachte Osteosyntheseschrauben stabil versorgt werden könnten. Eine weitere Fragestellung ergäbe sich daraus, detaillierte ergo- und physiotherapeutische Handlungsanweisungen und -protokolle zu entwerfen und zu analysieren, um das frühfunktionelle Nachbehandlungsschema möglichst standardisiert und wissenschaftlich evaluiert durchführen zu können. Dadurch ergäbe sich unter Umständen die Möglichkeit, beginnenden Bewegungseinschränkungen in einzelnen Fingergelenken durch physiotherapeutische Maßnahmen noch frühzeitiger gegenzusteuern.

Mit der perkutanen antegraden K-Draht-Osteosynthese mit frühfunktioneller Nachbehandlung existiert ein Verfahren, das über ein heterogenes Muster an Fingergrundgliedfrakturen hinweg zu guten funktionellen Ergebnissen führt. Die Erkenntnisse dieser Studie lassen hoffen, dass sich die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese mit frühfunktioneller Nachbehandlung als Verfahren zur Therapie von Fingergrundgliedfrakturen weiter durchsetzt und auch in anderen Traumazentren Deutschlands und darüber hinaus zunehmend Anwendung findet.

## 5. Zusammenfassung

### *Fragestellung*

Zur operativen Therapie von Fingergrundgliedfrakturen sind geschlossene-(Kirschner-Draht-Osteosynthese) und offene-Verfahren (Schrauben- und/oder Plattenosteosynthese) gängige Behandlungsmethoden. Die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese gilt als kosteneffiziente und komplikationsarme Methode. Zu ihren Vorteilen zählt, dass im Gegensatz zu offenen Verfahren keine Notwendigkeit zur relevanten Weichteildissektion besteht, wodurch die Gefahr von Adhäsionen und Narbenbildung mit der Folge von Bewegungseinschränkungen reduziert wird. Im Vergleich zu ORIF-Verfahren gilt jedoch die als obligatorisch erachtete postoperative Frakturruhistellung als nachteilig für das funktionelle Ergebnis. Das Ziel dieser Studie lag in der Bewertung der perkutanen antegraden K-Draht-Osteosynthese als operatives Verfahren zur Versorgung von Fingergrundgliedfrakturen. Zudem wurden ein konventionell-statisches und ein frühfunktionelles Nachbehandlungsschema miteinander verglichen, von denen das frühfunktionelle keine postoperative Frakturruhistellung mehr vorsieht.

### *Methoden*

Eingeschlossen wurden  $n = 90$  Patienten, die von 2010–2017 in der BG Unfallklinik Tübingen wegen einer Fingergrundgliedfraktur mittels perkutaner antegrader K-Draht-Osteosynthese versorgt und frühfunktionell oder konventionell-statisch nachbehandelt wurden. Ausgeschlossen wurden Patienten mit multiplen Frakturen oder Verletzungen von Sehnen, Gefäßen oder Nerven. Es wurden retrospektive Daten aus der Behandlungsdokumentation und prospektive Daten, deren Erhebung im Rahmen klinischer Nachuntersuchungen in der BG Unfallklinik Tübingen stattfand, analysiert. Hauptzielkriterien zur Evaluation der funktionellen Ergebnisse beider Nachbehandlungsschemata waren die relative Total Active Motion als objektiver Parameter und der DASH-Score als subjektiver Parameter, der die Patientensicht auf den Funktionszustand der Hand berücksichtigt.

### *Ergebnisse*

In der prospektiven Datenerhebung zeigten sich hinsichtlich der Hauptzielkriterien (DASH-Score, TAM<sub>rel</sub>) entgegen der Erwartungen keine signifikanten

Gruppenunterschiede. Die Beweglichkeit ( $TAM_{rel}$ ) der ehemals frakturierten Finger (im Verhältnis zur gesunden Gegenseite) lag bei im Median 90,3 %, was objektiv gute funktionelle Ergebnisse in beiden Nachbehandlungsgruppen zeigte. Der mediane DASH-Score lag bei 1,7, somit lag auch aus subjektiver Patientensicht in beiden Nachbehandlungsgruppen ein insgesamt hohes Funktionsniveau vor. Die retrospektive Auswertung zeigte komplikationslose Behandlungsverläufe in 94,9 % der Fälle. Komplikationen, die sekundäre Operationen notwendig machten, traten in etwa 5 % der Fälle in Form von Pseudarthrosenbildung, Sehnenadhäsionen und Frakturdislokationen auf. Obgleich alle Komplikationen nach konventionell-statischer Nachbehandlung auftraten, zeigten die Gruppenunterschiede keine Signifikanz. In beiden Gruppen kamen Rotationsfehlstellungen vor, die in der Tendenz gehäuft nach Mehrfragment- bzw. Trümmerfrakturen auftraten. Hinsichtlich der postoperativen Arbeitsunfähigkeitsdauer zeigte sich ein Unterschied zwischen den Nachbehandlungsgruppen. Während frühfunktionell nachbehandelte Patienten im Median 2,5 Wochen lang nicht arbeitsfähig waren, war dies bei konventionell-statisch nachbehandelten Patienten im Median 9,0 Wochen und damit signifikant länger der Fall.

#### *Diskussion und Schlussfolgerung*

Die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese mit frühfunktioneller Nachbehandlung ist ein suffizientes und den Erkenntnissen dieser Studie nach sicheres Verfahren bei Fingergrundgliedfrakturen. Sie eignet sich zur Therapie von Patienten jeden Alters mit und ohne Vorerkrankungen sowie eines breiten Spektrums an Fingergrundgliedfrakturen, zu denen auch Frakturen mit Gelenkbeteiligung und offenen Wunden gehören. Grundlegend sollte die Verwendung von zwei K-Drähten angestrebt werden. In der Zusammenschau bestehen Vorteile für die frühfunktionelle Nachbehandlung gegenüber dem konventionell-statischen Nachbehandlungsschema. Bei gleichwertigen funktionellen Ergebnissen, geringerem materiellen Aufwand durch den Verzicht auf die Schienenanpassung, tendenziell höherer Patientenzufriedenheit und signifikant kürzerer Arbeitsunfähigkeit stimmen die Erkenntnisse dieser Studie zuversichtlich, dass sich die perkutane antegrade K-Draht-Osteosynthese mit frühfunktioneller Nachbehandlung als Verfahren zur Therapie von Fingergrundgliedfrakturen weiter etabliert und auch in anderen Traumazentren Deutschlands und darüber hinaus zunehmend Anwendung findet.

## 6. Literaturverzeichnis

- AITA, M. A., MOS, P. A., DE PAULA CARDOSO MARQUES LEITE, G., ALVES, R. S., CREDIDIO, M. V. & DA COSTA, E. F. 2016. Minimally invasive surgical treatment for unstable fractures of the proximal phalanx: intramedullary screw. *Rev Bras Ortop*, 51, 16-23.
- AL-QATTAN, M. M. 2008. Closed reduction and percutaneous K-wires versus open reduction and interosseous loop wires for displaced unstable transverse fractures of the shaft of the proximal phalanx of the fingers in industrial workers. *J Hand Surg Eur Vol*, 33, 552-6.
- AL-QATTAN, M. M. 2010. Phalangeal neck fractures of the proximal phalanx of the fingers in adults. *Injury*, 41, 1084-9.
- AL-QATTAN, M. M. 2011. Displaced unstable transverse fractures of the shaft of the proximal phalanx of the fingers in industrial workers: reduction and K-wire fixation leaving the metacarpophalangeal and proximal interphalangeal joints free. *J Hand Surg Eur Vol*, 36, 577-83.
- ALEXANDER, H., LANGRANA, N., MASSENGILL, J. B. & WEISS, A. B. 1981. Development of new methods for phalangeal fracture fixation. *J Biomech*, 14, 377-87.
- ANAKWE, R. E., AITKEN, S. A., COWIE, J. G., MIDDLETON, S. D. & COURT-BROWN, C. M. 2011. The epidemiology of fractures of the hand and the influence of social deprivation. *J Hand Surg Eur Vol*, 36, 62-5.
- ANDERHUBER, F., PERA, F. 2012. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band*, De Gruyter.
- ATAKER, Y., ULUDAG, S., ECE, S. C. & GUDEMEZ, E. 2017. Early active motion after rigid internal fixation of unstable extra-articular fractures of the proximal phalanx. *J Hand Surg Eur Vol*, 42, 803-809.
- BAIN, G. I., POLITES, N., HIGGS, B. G., HEPTINSTALL, R. J. & MCGRATH, A. M. 2015. The functional range of motion of the finger joints. *J Hand Surg Eur Vol*, 40, 406-11.
- BASAR, H., BASAR, B., BASCI, O., TOPKAR, O. M., EROL, B. & TETIK, C. 2015. Comparison of treatment of oblique and spiral metacarpal and phalangeal fractures with mini plate plus screw or screw only. *Arch Orthop Trauma Surg*, 135, 499-504.
- BASHARDOUST TAJALI, S., MACDERMID, J. C., GREWAL, R. & YOUNG, C. 2016. Reliability and Validity of Electro-Goniometric Range of Motion Measurements in Patients with Hand and Wrist Limitations. *Open Orthop J*, 10, 190-205.
- BELL, C. 1833. *The hand, its mechanism and vital endowments as evincing design*, Philadelphia,, Carey, Lea & Blanchard.
- BELSKY, M. R., EATON, R. G. & LANE, L. B. 1984. Closed reduction and internal fixation of proximal phalangeal fractures. *J Hand Surg Am*, 9, 725-9.
- BERKOWITZ, C. 2014. Charles Bell's seeing hand: Teaching anatomy to the senses in Britain, 1750-1840. *History of Science*, 52, 377-400.
- BLAND, M. D., BEEBE, J. A., HARDWICK, D. D. & LANG, C. E. 2008. Restricted active range of motion at the elbow, forearm, wrist, or fingers decreases hand function. *J Hand Ther*, 21, 268-74; quiz 275.

- BREI-THOMA, P., VOGELIN, E. & FRANZ, T. 2015. Plate fixation of extra-articular fractures of the proximal phalanx: do new implants cause less problems? *Arch Orthop Trauma Surg*, 135, 439-45.
- BUCHLER, U., GUPTA, A. & RUF, S. 1996. Corrective osteotomy for post-traumatic malunion of the phalanges in the hand. *J Hand Surg Br*, 21, 33-42.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES 2018. Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Berichtsjahr 2017. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT 2018a. Ergebnisse der GKV-Statistik KG8 - Krankheitsartenstatistik - Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage nach Diagnosen 2017. *Zahlen und Fakten zur Krankenversicherung, Geschäftsergebnisse*.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT 2018b. Gesetzliche Krankenversicherungen - Leistungsfälle und -tage 2017 (Ergebnisse der GKV-Statistik KG2/2017).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT 2018c. GKV Mitglieder, mitversicherte Angehörige und Krankenstand - Jahresdurchschnitt 2017 (Ergebnisse der GKV-Statistik KM1/13).
- BURKHALTER, W. E. 1989. Closed treatment of hand fractures. *J Hand Surg Am*, 14, 390-3.
- CALLAHAN, A. D. & MCENTEE, P. 1986. Splinting proximal interphalangeal joint flexion contractures: a new design. *Am J Occup Ther*, 40, 408-13.
- COHEN, J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences Elektronische Ressource*, Hillsdale, NJ [u.a.], Erlbaum.
- COHEN, J. 1992. Statistical Power Analysis. *Current directions in psychological science*, 1, 98 - 101.
- COURT-BROWN, C. M. & CAESAR, B. 2006. Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury*, 37, 691-7.
- DAY, C. S. & STERN, P. J. 2011. Fractures of the metacarpals and phalanges. *Green's Operative Hand Surgery*. 6 ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences.
- DE JONGE, J. J., KINGMA, J., VAN DER LEI, B. & KLASSEN, H. J. 1994. Phalangeal fractures of the hand. An analysis of gender and age-related incidence and aetiology. *J Hand Surg Br*, 19, 168-70.
- DIAS, J. J. & GARCIA-ELIAS, M. 2006. Hand injury costs. *Injury*, 37, 1071-7.
- DUNCAN, R. W., FREELAND, A. E., JABALEY, M. E. & MEYDRECH, E. F. 1993. Open hand fractures: an analysis of the recovery of active motion and of complications. *J Hand Surg Am*, 18, 387-94.
- EBERLIN, K. R., BABUSHKINA, A., NEIRA, J. R. & MUDGAL, C. S. 2014. Outcomes of closed reduction and periarticular pinning of base and shaft fractures of the proximal phalanx. *J Hand Surg Am*, 39, 1524-8.
- EBINGER, T., ERHARD, N., KINZL, L. & MENTZEL, M. 1999. Dynamic treatment of displaced proximal phalangeal fractures. *J Hand Surg Am*, 24, 1254-62.
- EL-SAEED, M., SALLAM, A., RADWAN, M. & METWALLY, A. 2019. Kirschner Wires Versus Titanium Plates and Screws in Management of Unstable Phalangeal Fractures: A Randomized, Controlled Clinical Trial. *J Hand Surg Am*.
- ELMARAGHY, M. W., ELMARAGHY, A. W., RICHARDS, R. S., CHINCHALKAR, S. J., TURNER, R. & ROTH, J. H. 1998. Transmetacarpal intramedullary K-wire fixation of proximal phalangeal fractures. *Ann Plast Surg*, 41, 125-30.

- FARUQUI, S., STERN, P. J. & KIEFHABER, T. R. 2012. Percutaneous pinning of fractures in the proximal third of the proximal phalanx: complications and outcomes. *J Hand Surg Am*, 37, 1342-8.
- FEEHAN, L. M. & SHEPS, S. B. 2006. Incidence and demographics of hand fractures in British Columbia, Canada: a population-based study. *J Hand Surg Am*, 31, 1068-74.
- FIGL, M., WENINGER, P., HOFBAUER, M., PEZZEI, C., SCHAUER, J. & LEIXNERING, M. 2011. Results of dynamic treatment of fractures of the proximal phalanx of the hand. *J Trauma*, 70, 852-6.
- FINNEY, D. J. 1948. The Fisher-Yates test of significance in 2X2 contingency tables. *Biometrika*, 35, 145-56.
- FOK, M. W., IP, W. Y., FUNG, B. K., CHAN, R. K. & CHOW, S. P. 2013. Ten-year results using a dynamic treatment for proximal phalangeal fractures of the hands. *Orthopedics*, 36, e348-52.
- FRANSSSEN, B. B., SCHUURMAN, A. H., VAN DER MOLEN, A. M. & KON, M. 2010. One century of Kirschner wires and Kirschner wire insertion techniques: a historical review. *Acta Orthop Belg*, 76, 1-6.
- FRANZ, T., VON WARTBURG, U., SCHIBLI-BEER, S., JUNG, F. J., JANDALI, A. R., CALCAGNI, M. & HUG, U. 2012. Extra-articular fractures of the proximal phalanges of the fingers: a comparison of 2 methods of functional, conservative treatment. *J Hand Surg Am*, 37, 889-98.
- 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, 13-9.
- GERMANN, G., WIND, G. & HARTH, A. 1999. [The DASH(Disability of Arm-Shoulder-Hand) Questionnaire--a new instrument for evaluating upper extremity treatment outcome]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 31, 149-52.
- GOLDIN-MEADOW, S. 1999. The role of gesture in communication and thinking. *Trends Cogn Sci*, 3, 419-429.
- GREEN, D. P. 2011. General Principles. *Green's Operative Hand Surgery*. 6 ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences.
- GREEN, D. P. & ANDERSON, J. R. 1973. Closed reduction and percutaneous pin fixation of fractured phalanges. *J Bone Joint Surg Am*, 55, 1651-4.
- GROB, M., PAPADOPULOS, N. A., ZIMMERMANN, A., BIEMER, E. & KOVACS, L. 2008. The psychological impact of severe hand injury. *J Hand Surg Eur Vol*, 33, 358-62.
- GRUNERT, B. K., DEVINE, C. A., MATLOUB, H. S., SANGER, J. R., YOUSIF, N. J., ANDERSON, R. C. & ROELL, S. M. 1992. Psychological adjustment following work-related hand injury: 18-month follow-up. *Ann Plast Surg*, 29, 537-42.
- GUMMESSON, C., ATROSHI, I. & EKDAHL, C. 2003. The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery. *BMC Musculoskelet Disord*, 4, 11.
- GUMMESSON, C., WARD, M. M. & ATROSHI, I. 2006. The shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (QuickDASH): validity and reliability based on responses within the full-length DASH. *BMC Musculoskelet Disord*, 7, 44.

- GUSTAFSSON, M. & AHLSTROM, G. 2004. Problems experienced during the first year of an acute traumatic hand injury - a prospective study. *J Clin Nurs*, 13, 986-95.
- GUSTAFSSON, M., HAGBERG, L. & HOLMEFUR, M. 2011. Ten years follow-up of health and disability in people with acute traumatic hand injury: pain and cold sensitivity are long-standing problems. *J Hand Surg Eur Vol*, 36, 590-8.
- GUSTILO, R. B. & ANDERSON, J. T. 1976. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am*, 58, 453-8.
- GUSTILO, R. B., MENDOZA, R. M. & WILLIAMS, D. N. 1984. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma*, 24, 742-6.
- HAAPANIEMI, T. A. & HERMANSSON, U. S. 1997. Cardiac arrhythmia caused by a Kirschner wire inside the heart. An unusual complication of finger osteosynthesis. *J Hand Surg Br*, 22, 402-4.
- HARGREAVES, D. G., DREW, S. J. & ECKERSLEY, R. 2004. Kirschner wire pin tract infection rates: a randomized controlled trial between percutaneous and buried wires. *J Hand Surg Br*, 29, 374-6.
- HELD, M., JORDAAN, P., LAUBSCHER, M., SINGER, M. & SOLOMONS, M. 2013. Conservative treatment of fractures of the proximal phalanx: an option even for unstable fracture patterns. *Hand Surg*, 18, 229-34.
- HOANG-KIM, A., PEGREFFI, F., MORONI, A. & LADD, A. 2011. Measuring wrist and hand function: common scales and checklists. *Injury*, 42, 253-8.
- HORNBACH, E. E. & COHEN, M. S. 2001. Closed reduction and percutaneous pinning of fractures of the proximal phalanx. *J Hand Surg Br*, 26, 45-9.
- HORTON, T. C., HATTON, M. & DAVIS, T. R. 2003. A prospective randomized controlled study of fixation of long oblique and spiral shaft fractures of the proximal phalanx: closed reduction and percutaneous Kirschner wiring versus open reduction and lag screw fixation. *J Hand Surg Br*, 28, 5-9.
- HOVE, L. M. 1993. Fractures of the hand. Distribution and relative incidence. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*, 27, 317-9.
- HSU, L. P., SCHWARTZ, E. G., KALAINOV, D. M., CHEN, F. & MAKOWIEC, R. L. 2011. Complications of K-wire fixation in procedures involving the hand and wrist. *J Hand Surg Am*, 36, 610-6.
- HUDAK, P. L., AMADIO, P. C. & BOMBARDIER, C. 1996. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med*, 29, 602-8.
- HUFFAKER, W. H., WRAY, R. C., JR. & WEEKS, P. M. 1979. Factors influencing final range of motion in the fingers after fractures of the hand. *Plast Reconstr Surg*, 63, 82-7.
- INCEL, N. A., CECELI, E., DURUKAN, P. B., ERDEM, H. R. & YORGANCIOGLU, Z. R. 2002. Grip strength: effect of hand dominance. *Singapore Med J*, 43, 234-7.
- IP, W. Y., NG, K. H. & CHOW, S. P. 1996. A prospective study of 924 digital fractures of the hand. *Injury*, 27, 279-85.
- JAMES, J. I. 1962. Fractures of the proximal and middle phalanges of the fingers. *Acta Orthop Scand*, 32, 401-12.

- JAMES, J. I. 1970. The assessment and management of the injured hand. *Hand*, 2, 97-105.
- JOHN, M., ANGST, F., AWISZUS, F., PAP, G., MACDERMID, J. & SIMMEN, B. 2008. *The Patient-Rated Wrist Evaluation (PRWE): Cross-cultural adaptation into German and evaluation of its psychometric properties.*
- JOSHI, B. B. 1976. Percutaneous internal fixation of fractures of the proximal phalanges. *Hand*, 8, 86-92.
- JUPITER, J. B., KONIUCH, M. P. & SMITH, R. J. 1985. The management of delayed union and nonunion of the metacarpals and phalanges. *J Hand Surg Am*, 10, 457-66.
- KARL, J. W., OLSON, P. R. & ROSENWASSER, M. P. 2015. The Epidemiology of Upper Extremity Fractures in the United States, 2009. *J Orthop Trauma*, 29, e242-4.
- KLEINERT, H. E. & VERDAN, C. 1983. Report of the Committee on Tendon Injuries (International Federation of Societies for Surgery of the Hand). *J Hand Surg Am*, 8, 794-8.
- KLIX, F. 2005. Am Anfang war die Hand. In: WEINMANN, M. (ed.) *Die Hand : Werkzeug des Geistes*. 1. Aufl. ed. München: Elsevier Spektrum.
- KOESTLER, A. J. 2010. Psychological perspective on hand injury and pain. *J Hand Ther*, 23, 199-210; quiz 211.
- KOOTSTRA, T. J. M., KEIZER, J., BHASHYAM, A., HOUWERT, R. M., VERLEISDONK, E. M. M., VAN HEIJL, M. & VAN DER VELDE, D. 2019. Patient-Reported Outcomes and Complications After Surgical Fixation of 143 Proximal Phalanx Fractures. *J Hand Surg Am*.
- KOSE, A., TOPAL, M., ENGIN, M. C., SENCAN, A., DINCER, R. & BARAN, T. 2019. Comparison of low-profile plate-screw and Kirschner-wire osteosynthesis outcomes in extra-articular unstable proximal phalangeal fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 29, 597-604.
- KOVACS, L., GROB, M., ZIMMERMANN, A., EDER, M., HERSCHBACH, P., HENRICH, G., ZIMMER, R., BIEMER, E. & PAPADOPULOS, N. A. 2011. Quality of life after severe hand injury. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 64, 1495-502.
- KURZEN, P., FUSETTI, C., BONACCIO, M. & NAGY, L. 2006. Complications after plate fixation of phalangeal fractures. *J Trauma*, 60, 841-3.
- LÖGTERS, T. & WINDOLF, J. 2015. Frakturen der Phalangen. In: SAUERBIER, M., EISENSCHENK, A., KRIMMER, H., PARTECKE, B.-D. & SCHALLER, H.-E. (eds.) *Die Handchirurgie*. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- LOGTERS, T. T., LEE, H. H., GEHRMANN, S., WINDOLF, J. & KAUFMANN, R. A. 2017. Proximal Phalanx Fracture Management. *Hand (N Y)*, 1558944717735947.
- MACDERMID, J. C. & TOTTENHAM, V. 2004. Responsiveness of the disability of the arm, shoulder, and hand (DASH) and patient-rated wrist/hand evaluation (PRWHE) in evaluating change after hand therapy. *J Hand Ther*, 17, 18-23.
- MACDERMID, J. C., TURGEON, T., RICHARDS, R. S., BEADLE, M. & ROTH, J. H. 1998. Patient rating of wrist pain and disability: a reliable and valid measurement tool. *J Orthop Trauma*, 12, 577-86.
- MALLON, W. J., BROWN, H. R. & NUNLEY, J. A. 1991. Digital ranges of motion: normal values in young adults. *J Hand Surg Am*, 16, 882-7.

- MCLAIN, R. F., STEYERS, C. & STODDARD, M. 1991. Infections in open fractures of the hand. *J Hand Surg Am*, 16, 108-12.
- MEALS, C. & MEALS, R. 2013. Hand fractures: a review of current treatment strategies. *J Hand Surg Am*, 38, 1021-31; quiz 1031.
- MOBERG, E. 1972. *Dringliche Handchirurgie*, Stuttgart, Thieme.
- NAPIER, J. R. & TUTTLE, R. H. 1993. *Hands*, Princeton, N.J., Princeton University Press.
- NIJHUIS, T. H., SMITS, E. S., JAQUET, J. B., VAN OOSTEROM, F. J., SELLES, R. W. & HOVIUS, S. E. 2010. Prevalence and severity of cold intolerance in patients after hand fracture. *J Hand Surg Eur Vol*, 35, 306-11.
- PAGE, S. M. & STERN, P. J. 1998. Complications and range of motion following plate fixation of metacarpal and phalangeal fractures. *J Hand Surg Am*, 23, 827-32.
- PARSONS, S. W., FITZGERALD, J. A. & SHEARER, J. R. 1992. External fixation of unstable metacarpal and phalangeal fractures. *J Hand Surg Br*, 17, 151-5.
- PRATT, D. R. 1959. Exposing fractures of the proximal phalanx of the finger longitudinally through the dorsal extensor apparatus. *Clin Orthop*, 15, 22-6.
- PROSSER, R. 1996. Splinting in the management of proximal interphalangeal joint flexion contracture. *J Hand Ther*, 9, 378-86.
- PUCKETT, C. L., WELSH, C. F., CROLL, G. H. & CONCANNON, M. J. 1993. Application of maxillofacial miniplating and microplating systems to the hand. *Plast Reconstr Surg*, 92, 699-707; discussion 708-9.
- PUN, W. K., CHOW, S. P., SO, Y. C., LUK, K. D., IP, F. K., CHAN, K. C., NGAI, W. K., CROSBY, C. & NG, C. 1989. A prospective study on 284 digital fractures of the hand. *J Hand Surg Am*, 14, 474-81.
- PUN, W. K., CHOW, S. P., SO, Y. C., LUK, K. D., NGAI, W. K., IP, F. K., PENG, W. H., NG, C. & CROSBY, C. 1991. Unstable phalangeal fractures: treatment by A.O. screw and plate fixation. *J Hand Surg Am*, 16, 113-7.
- RAJESH, G., IP, W. Y., CHOW, S. P. & FUNG, B. K. 2007. Dynamic treatment for proximal phalangeal fracture of the hand. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 15, 211-5.
- REFORMAT, D. D., NORES, G. G., LAM, G., CUZZONE, D., HILL, J. B., MURESAN, H. & THANIK, V. 2018. Outcome Analysis of Metacarpal and Phalangeal Fixation Techniques at Bellevue Hospital. *Ann Plast Surg*, 81, 407-410.
- ROSBERG, H. E., CARLSSON, K. S. & DAHLIN, L. B. 2005. Prospective study of patients with injuries to the hand and forearm: costs, function, and general health. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*, 39, 360-9.
- SAIED, A. R. & SABET JAHROMI, M. 2018. Treatment of proximal phalanx fractures: transarticular pinning the metacarpophalangeal joint or cross pinning from the base of the proximal phalanx-a prospective study. *Eur J Trauma Emerg Surg*.
- SCHONEVELD, K., WITTINK, H. & TAKKEN, T. 2009. Clinimetric evaluation of measurement tools used in hand therapy to assess activity and participation. *J Hand Ther*, 22, 221-35; quiz 236.
- SCHREUDERS, T. A. 2012. The quadriga phenomenon: a review and clinical relevance. *J Hand Surg Eur Vol*, 37, 513-22.
- SCHÜNKE, M., SCHULTE, E., SCHUMACHER, U., VOLL, M. & WESKER, K. 2018. Prometheus Lernatlas - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. *Thieme eRef* 5., vollständig überarbeitete Auflage ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme.

- SHEWRING, D. J., TRICKETT, R. W. & SMITH, A. 2018. Fractures at the junction of diaphysis and metaphysis of the proximal phalanges in adults. *J Hand Surg Eur Vol*, 43, 506-512.
- SHIMIZU, T., OMOKAWA, S., AKAHANE, M., MURATA, K., NAKANO, K., KAWAMURA, K. & TANAKA, Y. 2012. Predictors of the postoperative range of finger motion for comminuted periarticular metacarpal and phalangeal fractures treated with a titanium plate. *Injury*, 43, 940-5.
- SMITH, F. L. & RIDER, D. L. 1935. A study of the healing of one hundred consecutive phalangeal fractures. *JBJS*, 17, 91-109.
- STAHL, S. & SCHWARTZ, O. 2001. Complications of K-wire fixation of fractures and dislocations in the hand and wrist. *Arch Orthop Trauma Surg*, 121, 527-30.
- STANTON, J. S., DIAS, J. J. & BURKE, F. D. 2007. Fractures of the tubular bones of the hand. *J Hand Surg Eur Vol*, 32, 626-36.
- STATISTISCHES BUNDESAMT. 2019. *Bevölkerungsstand: Durchschnittsalter auf Grundlage des Zensus 2011 nach Geschlecht und Staatsangehörigkeit* [Online]. Available: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/durchschnittsalter-zensus.html> [Accessed 23.02.2020].
- SWANSON, T. V., SZABO, R. M. & ANDERSON, D. D. 1991. Open hand fractures: prognosis and classification. *J Hand Surg Am*, 16, 101-7.
- TERNDRUP, M., JENSEN, T., KRING, S. & LINDBERG-LARSEN, M. 2018. Should we bury K-wires after metacarpal and phalangeal fracture osteosynthesis? *Injury*, 49, 1126-1130.
- TRYBUS, M., LORKOWSKI, J., BRONGEL, L. & HLADKI, W. 2006. Causes and consequences of hand injuries. *Am J Surg*, 192, 52-7.
- UNGLAUB, F., LANGER, M. F., LOW, S., HOHENDORFF, B. & SPIES, C. K. 2019. [Open reduction and plate/screw osteosynthesis of proximal phalanx fractures]. *Oper Orthop Traumatol*.
- VAHEY, J. W., WEGNER, D. A. & HASTINGS, H., 3RD 1998. Effect of proximal phalangeal fracture deformity on extensor tendon function. *J Hand Surg Am*, 23, 673-81.
- VAN ONSELEN, E. B., KARIM, R. B., HAGE, J. J. & RITT, M. J. 2003. Prevalence and distribution of hand fractures. *J Hand Surg Br*, 28, 491-5.
- VERVER, D., TIMMERMANS, L., KLAASSEN, R. A., VAN DER VLIES, C. H., VOS, D. I. & SCHEP, N. W. L. 2017. Treatment of extra-articular proximal and middle phalangeal fractures of the hand: a systematic review. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 12, 63-76.
- VON KIESERITZKY, J., NORDSTROM, J. & ARNER, M. 2017. Reoperations and postoperative complications after osteosynthesis of phalangeal fractures: a retrospective cohort study. *J Plast Surg Hand Surg*, 51, 458-462.
- WEINMANN, M. 2005. Hand und Hirn. *Die Hand : Werkzeug des Geistes*. 1. Aufl. ed. München: Elsevier Spektrum.
- WEIS, C. 2013. Basiswissen Medizinische Statistik Elektronische Ressource. *Springer-Lehrbuch*. 6., überarbeitete Auflage ed. Berlin, Heidelberg: Springer.
- WESTPHAL, T. 2007. [Reliability and responsiveness of the German version of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire (DASH)]. *Unfallchirurg*, 110, 548-52.

- WILSON, F. R. & KOBER, H. 2000. *Die Hand - Geniestreich der Evolution ihr Einfluss auf Gehirn, Sprache und Kultur des Menschen H1 - Universitätsbibliothek H2 - 40 A 16128*, Stuttgart, Klett-Cotta.
- WINDOLF, J., SIEBERT, H., WERBER, K. D. & SCHÄDEL-HÖPFNER, M. 2008. Behandlung von Fingerfrakturen. *Der Unfallchirurg*, 111, 331-339.

## 7. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen unter Betreuung von Herrn PD Dr. med. Fabian Medved durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit den Studienärzten Frau Dr. med. univ. Ines Ederer und Herrn Dr. med. Till Fischborn. Die Einarbeitung in die Messmethoden erfolgte durch Mitarbeiter der Ergotherapie der BG-Unfallklinik. Die retrospektive Datenerhebung und sämtliche Messungen wurden von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit freundlicher Unterstützung durch Frau Lina Maria Serna Higuaita und Frau Aline Naumann durch mich.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig (nach Anleitung durch Herrn PD Dr. med. Fabian Medved und Frau Dr. med. univ. Ines Ederer) verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Teilergebnisse der vorliegenden Studie wurden zur Veröffentlichung in der Fachzeitschrift „Handchirurgie – Mikrochirurgie – Plastische Chirurgie“ am 08.01.2020 eingereicht. Zum zu publizierenden Manuskript habe ich durch Bereitstellung der Studiendaten, der statistischen Auswertung sowie im Überarbeitungsprozess beigetragen.

Tübingen, den

---

Unterschrift

## 8. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Adrien Daigeler und Herrn Prof. Dr. Andreas Nüssler bedanken, die durch ihre Unterstützung die Voraussetzungen zur Durchführung der Studie gegeben haben.

Bedanken möchte ich mich zudem bei Frau Lina Maria Serna Higuita und Frau Aline Naumann aus dem biometrischen Institut, die mir sowohl bei der Studienplanung als auch bei der statistischen Datenauswertung unterstützend zur Seite gestanden haben.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Fabian Medved und meiner Betreuerin Dr. med. univ. Ines Ederer, ohne deren Unterstützung die Durchführung und Fertigstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wären. Vielen Dank auch an Herrn Dr. med. Andreas Nusche für die Bereitstellung von Bildmaterial.

Zuletzt gilt mein Dank meinen Eltern, deren Unterstützung ich mir bisher jeden Tag meines Lebens sicher sein durfte und die mir stets wo sie nur können mit Rat und Tat zur Seite stehen.

# Anhang

## Anhang A



Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik, Schnarrenbergstr. 95, 72076 Tübingen

Klinik für Hand-, Plastische,  
Rekonstruktive und  
Verbrennungschirurgie

Hand-, Plastische, Rekonstruktive  
und Verbrennungschirurgie an der  
Eberhard Karls Universität Tübingen  
Direktor der Klinik für HPRV  
Univ.- Prof. Dr. A. Daigeler

Ihr Zeichen:  
Ihre Nachricht vom:  
Unser Zeichen:

Ansprechpartner: Johannes von Fraunberg  
Telefon: 0151 / 23079707  
E-Mail: jfraunberg@bgu-tuebingen.de

Datum: 08.06.2018

Sehr geehrter Patient/ sehr geehrte Patientin,

bei Ihnen wurde zur Behandlung eines Fingerknochenbruches eine Aufrichtung und Reposition des Bruches vorgenommen. Dabei handelte es sich um eine geschlossene Aufrichtung und Fixation durch sogenannte Kirschner-Drähte und einer anschließenden Nachbehandlung in einer ruhigstellenden Schiene einerseits, oder mit frühfunktioneller Mobilisierung andererseits.

Um die Therapie von Fingergrundgliedfrakturen künftig noch weiter zu verbessern, würden wir Sie im Rahmen der Studie „Nachuntersuchung zur Frakturversorgung von Fingergrundgliedfrakturen“ gerne erneut untersuchen. Damit soll der Einfluss der Behandlungsmethode auf den Heilungsverlauf der Hand ermittelt werden. Im Rahmen dieser Studie sollen etwa 70 Personen nachuntersucht werden, die in der BG Unfallklinik Tübingen behandelt wurden.

### Studiendurchführung:

Neben einem persönlichen Fragebogen, würden wir gerne noch Daten erheben, die uns den Vergleich mit anderen Untersuchungen ermöglichen.

Um die Funktionsfähigkeit Ihrer Finger und Ihrer Hand zu ermitteln, wäre eine klinische Untersuchung der Hand und eine Handkraftmessung durchzuführen. Außerdem würden wir die Beweglichkeit ihrer Fingergelenke mit einem Winkelmesser testen. Diese Untersuchungen sind erprobt und werden täglich in der BG Unfallklinik Tübingen eingesetzt. Weiterhin interessieren uns Ihre persönlichen Erfahrungen.

Die Untersuchungen und Tests werden an einem Tag Ihrer Wahl durchgeführt und dauern in der Regel knapp zwei Stunden. Gerne können Sie den Anamnesebogen und die beiden beigefügten Fragebögen auch in Ruhe zuhause ausfüllen und entweder zum Untersuchungstermin mitbringen oder im vorfrankierten Umschlag an die BG Unfallklinik Tübingen zurückschicken. Für Ihren zeitlichen Aufwand würden wir Sie im Falle einer Studienteilnahme mit 50 Euro entschädigen.

BG Klinik Tübingen  
Schnarrenbergstr. 95  
72076 Tübingen  
Tel.: +49 7071 606-0  
Fax: +49 7071 606-1902  
www.bgu-tuebingen.de

Volksbank Tübingen  
BIC: GENODES1TUE  
IBAN: DE32 6419 0110 0001 0050 06  
Kreissparkasse Tübingen  
BIC: SOLADES1TUB  
IBAN: DE62 6415 0020 0000 0057 20

USI-IDNr. DE 143293432  
IK-Nr. 260840131

Träger:  
BG Kliniken Ludwigshafen und Tübingen gGmbH  
Registergericht – Amtsgericht Ludwigshafen am Rhein  
HRB 64627. Sitz: Ludwigshafen am Rhein  
Geschäftsführer: Fabian Ritter

**Ziel der Studie:**

Die Studie soll zeigen, ob die Art der Nachbehandlung einer Fingergrundgliedfraktur einen entscheidenden Unterschied hinsichtlich des Wiedererlangens der ursprünglichen Kraft, Bewegungsfähigkeit und allgemeinen Funktion der Hand ausmacht.

**Risiken und Nebenwirkungen:**

Es sind keine Risiken und Nebenwirkungen beschrieben worden oder zu erwarten.

**Hinweis:**

Die Teilnahme an der Studie beruht auf Freiwilligkeit. Eine Nichtteilnahme und jederzeitige Möglichkeit des Widerrufs ohne Angabe von Gründen ist möglich. Durch eine Nichtteilnahme werden sich keine Nachteile bei der weiteren Behandlung ergeben.

**Bestätigung der Vertraulichkeit:**

Die Schweigepflicht wird uneingeschränkt beachtet. Der vertrauliche Umgang mit allen Daten wird garantiert. Die Weitergabe der Daten erfolgt nur in anonymisierter Form. Jedem an der Nachuntersuchung Teilnehmenden wird eine anonymisierte, zweistellige Kennnummer zugeteilt, mit Hilfe derer die Ergebnisse der spezifischen Handtests, sowie der erhobenen Fragebögen tabellarisch aufgeführt, ausgewertet und verglichen werden können.

Wir würden uns freuen, Sie demnächst telefonisch kontaktieren zu dürfen, um ggf. aufgekommene Fragen zu beantworten und einen Untersuchungstermin zu vereinbaren.

Vielen Dank im Voraus und mit freundlichen Grüßen,

Johannes von Fraunberg

**Anhang:**

- Einwilligungserklärung zur Studienteilnahme
- Anamnesebogen
- Fragebögen (DASH-Score; PRWE-G)

Dr. med. Fabian Medved  
Oberarzt  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen

Dr. med. univ. Ines Ederer  
Ass. Ärztin  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen

Johannes von Fraunberg  
Doktorand  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen



## Anhang B



Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik, Schnarrenbergstr. 95, 72076 Tübingen

Klinik für Hand-, Plastische,  
Rekonstruktive und  
Verbrennungschirurgie

Hand-, Plastische, Rekonstruktive  
und Verbrennungschirurgie an der  
Eberhard Karls Universität Tübingen  
Direktor der Klinik für HPRV  
Univ.- Prof. Dr. A. Daigeler

Ihr Zeichen:  
Ihre Nachricht vom:  
Unser Zeichen:

Ansprechpartner: Johannes von Fraunberg  
Telefon: 0151 / 23079707  
E-Mail: jfraunberg@bgu-tuebingen.de

Datum: 07.06.2018

### Nachuntersuchung zur Frakturversorgung von Fingergrundgliedfrakturen

#### Einwilligungserklärung zur Studienteilnahme:

Untersucher: \_\_\_\_\_

ProbandIn Vorname und Name: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Adresse/PLZ/Wohnort: \_\_\_\_\_

Telefon/e-Mail: \_\_\_\_\_

BG Klinik Tübingen  
Schnarrenbergstr. 95  
72076 Tübingen  
Tel.: +49 7071 606-0  
Fax: +49 7071 606-1902  
www.bgu-tuebingen.de

Volksbank Tübingen  
BIC: GENODES1TUE  
IBAN: DE32 6419 0110 0001 0050 06  
Kreissparkasse Tübingen  
BIC: SOLADES1TUB  
IBAN: DE62 6415 0020 0000 0057 20

UST-IDNr. DE 143293432  
IK-Nr. 260840131

Träger:  
BG Kliniken Ludwigshafen und Tübingen gGmbH  
Registergericht – Amtsgericht Ludwigshafen am Rhein  
HRB 64627, Sitz: Ludwigshafen am Rhein  
Geschäftsführer: Fabian Ritter

- ⇒ Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass mir deswegen Nachteile entstehen.
- ⇒ Ich wurde mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- ⇒ Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden
- ⇒ Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.

Ort, Datum ..... Unterschrift ProbandIn .....

Ort, Datum ..... Unterschrift UntersucherIn .....

Dr. med. Fabian Medved  
Oberarzt  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen

Dr. med. univ. Ines Ederer  
Ass. Ärztin  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen

Johannes von Fraunberg  
Doktorand  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen



### Datenschutzrechtliche Einwilligungserklärung

Ich bin einverstanden, dass die zuständigen Untersuchenden meine Originaldaten einsehen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit. Die Daten Ihrer Probandenakte werden zudem für die weitere Datenanalyse elektronisch erfasst. Diese werden pseudonymisiert. Dies bedeutet, dass jedem Proband eine zweistellige Kennziffer zugeteilt wird. Ihr Name wird durch diese Zahl ersetzt. Eine Rückführung der Daten zu den Personendaten ist nur durch Einsicht der Probandenidentifikationsliste möglich. Der Zugriff auf diese Datei ist nur den direkt beteiligten Mitarbeitern der Studie möglich. Alle digitalen Daten werden nach Abschluss der Studie 10 Jahre elektronisch gespeichert.

Ort, Datum .....                      Unterschrift ProbandIn .....

Ort, Datum .....                      Unterschrift UntersucherIn .....

Dr. med. Fabian Medved  
Oberarzt  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen

Dr. med. univ. Ines Ederer  
Ass. Ärztin  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen

Johannes von Fraunberg  
Doktorand  
Klinik für HPRV  
BG Unfallklinik Tübingen



## Anhang C

### Anamnesebogen

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Anschrift: \_\_\_\_\_

Sind Sie Rechts- oder Linkshänder?	<input type="radio"/> rechts	<input type="radio"/> links
Welche Hand war von der Fingerfraktur betroffen?	<input type="radio"/> rechts	<input type="radio"/> links
Berufliche Tätigkeit vor der Operation?	<input type="radio"/> manuelle Arbeiten <input type="radio"/> Rentner <input type="radio"/> berufsunfähig	<input type="radio"/> Bürotätigkeit <input type="radio"/> nicht erwerbstätig <input type="radio"/> andere
Berufliche Tätigkeit nach der Operation?	<input type="radio"/> Ausübung derselben Tätigkeit möglich <input type="radio"/> Berufsunfähig <input type="radio"/> Ausübung einer anderen Tätigkeit / Umschulung notwendig Wenn ja, welche? _____	
Wie lange waren Sie nach der Operation nicht in der Lage ihrer Arbeit nachzugehen (in Wochen)?	_____	
Wie lange dauerte es nach der Operation wieder vollständige Beschwerdefreiheit zu erlangen (in Wochen)?	_____	
Wie zufrieden sind Sie mit der bei ihnen durchgeführten Behandlung? (auf einer Skala von 0-10)	sehr zufrieden <span style="float: right;">Unzufrieden</span> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Würden Sie die bei ihnen durchgeführte Behandlung erneut durchführen lassen?	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein
Art des Aufenthaltes	<input type="radio"/> Stationär	<input type="radio"/> Ambulant
Wann wurde die Metallentfernung (Drahtentfernung) durchgeführt?	_____ und wo? _____	
Waren Folgeoperationen am entsprechenden Finger notwendig?	<input type="radio"/> ja Welche? _____	<input type="radio"/> nein
Leiden Sie unter anderen Krankheiten (z.B. Diabetes, Rheum. Arthritis, ...)?	<input type="radio"/> ja Welche? _____	<input type="radio"/> nein
Nehmen Sie aktuell Medikamente ein?	<input type="radio"/> ja Welche? _____	<input type="radio"/> nein

Bitte nehmen Sie sich zur Beantwortung der Fragebögen genügend Zeit. Nur dann können wir die erhaltenen Antworten sinnvoll in unsere Studie aufnehmen. Vielen Dank für ihre Mithilfe!

## Anhang D

### DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

DER

# DASH-Fragebogen

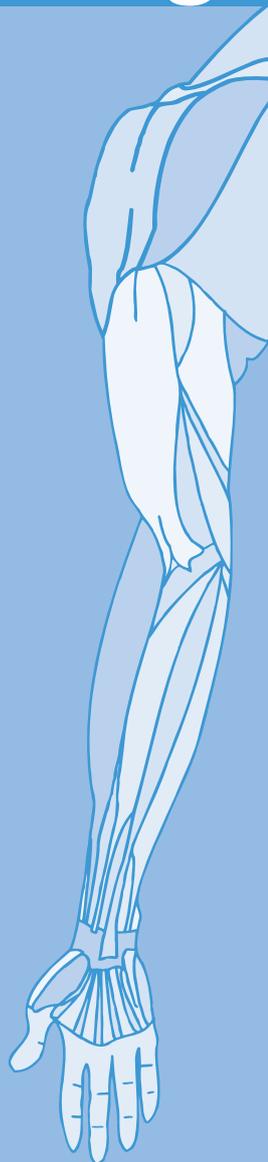
#### ANLEITUNG

Dieser Fragebogen beschäftigt sich sowohl mit Ihren Beschwerden als auch mit Ihren Fähigkeiten, bestimmte Tätigkeiten auszuführen.

Bitte beantworten Sie *alle Fragen* gemäß Ihrem Zustand in der vergangenen Woche, indem Sie einfach die entsprechende Zahl ankreuzen.

Wenn Sie in der vergangenen Woche keine Gelegenheit gehabt haben, eine der unten aufgeführten Tätigkeiten durchzuführen, so wählen Sie die Antwort aus, die Ihrer Meinung nach *am ehesten* zutreffen würde.

Es ist nicht entscheidend, mit welchem Arm oder welcher Hand Sie diese Tätigkeiten ausüben. Antworten Sie Ihrer Fähigkeit entsprechend, ungeachtet, wie Sie die Aufgaben durchführen konnten.



## DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schreiben	1	2	3	4	5
3. Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
4. Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
5. Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
6. Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
7. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
8. Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
9. Betten machen	1	2	3	4	5
10. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
11. Einen schweren Gegenstand tragen (über 5kg)	1	2	3	4	5
12. Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
13. Ihre Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
14. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
15. Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
16. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
17. Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
18. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
19. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
20. Mit Fortbewegungsmitteln zurecht kommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
21. Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

## DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

22. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5

23. Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
1	2	3	4	5

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Symptome während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
24. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
25. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
26. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
27. Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
28. Steifheit in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

29. Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1	2	3	4	5

30. Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
1	2	3	4	5

DASH Wert für Behinderung/Symptome =  $\frac{[(\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte}) - 1]}{n} \times 25$ ,

wobei n der Anzahl der beantworteten Fragen entspricht

Wurden mehr als 3 Fragen nicht beantwortet, so darf ein DASH Wert nicht berechnet werden.

## Anhang E

### ARBEITS- UND BERUFS-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihrer Schulter-, Arm- oder Handprobleme auf Ihre Arbeit (einschließlich Haushaltsführung, falls dies Ihre Hauptbeschäftigung ist).

Bitte geben Sie Ihre/n Arbeit/Beruf hier an:

-----  
 Ich bin nicht berufstätig (Sie können diesen Bereich auslassen).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt. Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. In der üblichen Art und Weise zu arbeiten?	1	2	3	4	5
2. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihre übliche Arbeit zu erledigen?	1	2	3	4	5
3. So gut zu arbeiten wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. Die bisher gewohnte Zeit mit Ihrer Arbeit zu verbringen?	1	2	3	4	5

**Auswertung der optionalen Module:** Die Antwortpunkte der Fragen werden summiert; durch 4 (Anzahl der Fragen) dividiert; 1 wird subtrahiert und danach mit 25 multipliziert.  
**Für die Auswertung eines optionalen Moduls dürfen keine Antworten fehlen.**



**Institute  
for Work &  
Health**

Research Excellence  
Advancing Employee  
Health

## Anhang F

Cross-cultural adaptation of the PRWE into German / M. John et al. / 2008

### PRWE-G

#### The German Version of the Patient-Rated Wrist Evaluation Score (PRWE)

Die unten aufgeführten Fragen sollten uns helfen, das Ausmass der Schwierigkeiten, die Sie wegen Ihres Handgelenks in der letzten Woche hatten, zu verstehen. Sie werden gebeten, auf einer Skala von 0 bis 10 anzugeben, wie stark Ihre Handgelenksbeschwerden bei den folgenden Tätigkeiten in der letzten Woche durchschnittlich waren.

Bitte beantworten Sie ALLE Fragen. Wenn Sie eine (oder mehrere) der Tätigkeiten in der letzten Woche nicht ausgeführt haben, SCHÄTZEN Sie bitte das Ausmass der Schmerzen oder Schwierigkeiten ein, die Sie erwarten würden. Wenn Sie eine Tätigkeit niemals ausgeführt haben, kreuzen Sie bitte jeweils „trifft nicht zu“ an.

#### 1. SCHMERZEN

Bitte geben Sie die durchschnittliche Stärke der Schmerzen in Ihrem Handgelenk in der letzten Woche an, indem Sie die Zahl auf der Skala von 0 bis 10 ausfüllen, die Ihre Schmerzen am besten beschreibt. Null (0) bedeutet, dass Sie keinerlei Schmerzen hatten und Zehn (10) bedeutet, dass Sie die schlimmsten Schmerzen hatten, die Sie je erlebt haben oder, dass Sie die Tätigkeit aufgrund der Schmerzen nicht ausführen konnten.

Bitte geben Sie die Stärke Ihrer Schmerzen an:

	keinerlei Schmerzen			schlimmste Schmerzen									
1. In Ruhe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2. Bei Tätigkeiten mit wiederholter Bewegung des Handgelenks	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
3. Beim Heben eines schweren Gegenstandes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
4. Wenn sie am stärksten sind	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
5. Wie häufig haben Sie Schmerzen?	Nie	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Immer

#### 2. FUNKTION

##### Funktionsfähigkeit - Bestimmte Tätigkeiten

Bitte geben Sie an, wie viele Schwierigkeiten Sie in der letzten Woche bei jeder der unten aufgeführten Tätigkeiten hatten. Bitte kreuzen Sie die Zahl von 0 bis 10 an, die das Ausmass Ihrer Schwierigkeiten am besten beschreibt.

Null (0) bedeutet, dass Sie keinerlei Schwierigkeiten hatten und Zehn (10) bedeutet, dass die Schwierigkeiten so groß waren, dass Sie die Tätigkeit nicht ausführen konnten.

Wenn Sie eine Tätigkeit niemals ausgeführt haben, kreuzen Sie bitte den Punkt „trifft nicht zu“ an.

	keinerlei Schwierigkeiten	nicht möglich		trifft nicht zu								
6. Mit der betroffenen Hand einen Türknauf drehen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>
7. Mit der betroffenen Hand Fleisch mit dem Messer schneiden	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>
8. Ein Hemd oder eine Bluse zuknöpfen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>

**Cross-cultural adaptation of the PRWE into German / M. John et al. / 2008**

keinerlei Schwierigkeiten											nicht möglich	trifft nicht zu
9. Die betroffene Hand nutzen, um von einem Stuhl aufzustehen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>
10. Mit der betroffenen Hand einen 5 kg schweren Gegenstand tragen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>
11. Mit der betroffenen Hand das Toilettenpapier benutzen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>

**Funktionsfähigkeit - Gewöhnliche Tätigkeiten**

Bitte geben Sie an, wie viele Schwierigkeiten Sie in der letzten Woche bei Ihren gewöhnlichen Tätigkeiten in jedem der unten genannten Bereiche hatten. Bitte füllen Sie die Zahl von 0 bis 10 aus, die das Ausmass Ihrer Schwierigkeiten am besten beschreibt. Unter „gewöhnliche Tätigkeiten“ verstehen wir die Aktivitäten, die Sie ausführten, bevor die Probleme mit Ihrem Handgelenk begannen. Null (0) bedeutet, dass Sie keinerlei Schwierigkeiten hatten und Zehn (10) bedeutet, dass Sie so große Schwierigkeiten hatten, dass Sie keine dieser gewöhnlichen Tätigkeit ausführen konnten. Wenn Sie eine Tätigkeit niemals ausgeführt haben, kreuzen Sie bitte den Punkt „trifft nicht zu“ an.

12. Persönliche Körperpflege (Anziehen, Waschen)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>
13. Hausarbeit (Putzen, Aufräumen, kleine Reparaturen)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>
14. Arbeit (Beruf oder Alltagstätigkeiten)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>
15. Freizeitaktivitäten	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<input type="checkbox"/>

**Reference:**

John M, Angst F, Awiszus F, Pap G, MacDermid JC, Simmen BR.  
The Patient-Rated Wrist Evaluation (PRWE): cross-cultural adaptation into German and evaluation of its psychometric properties. *Clin Exp Rheumatol*. 2008 Nov-Dec; 26(6):1047-105.

**Address for correspondence:**

Michael John, MD  
Special MD for Orthopaedics & Traumatology  
Department of Orthopaedics  
Otto-von-Guericke University, Magdeburg  
Leipziger Str. 44  
39120 Magdeburg  
Germany  
Tel.: 0049 391 67 14035  
Fax: 0049 391 67 14098  
E-Mail: [michaiohn100@web.de](mailto:michaiohn100@web.de)  
[michael.john@med.ovgu.de](mailto:michael.john@med.ovgu.de)

## Anhang G

Tabelle 14.

*Im Rahmen des Anamnesegespräches gestellte Fragen und Antwortmöglichkeiten (in Anführungsstrichen).*

Fragen	Antwortmöglichkeiten
Händigkeit	„rechts“, „links“
Berufliche Tätigkeit präoperativ	„manuelle Arbeiten“, „Bürotätigkeit“, „Rentner“, „nicht erwerbstätig“, „berufsunfähig“, „andere“
Berufliche Tätigkeit postoperativ	„Ausübung derselben Tätigkeit möglich“, „berufsunfähig“, „Ausübung einer anderen Tätigkeit / Umschulung notwendig“
Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit	*Zeitdauer in Wochen*, „aktuell noch arbeitsunfähig“
Dauer bis zum Wiedererlangen der Beschwerdefreiheit	*Zeitdauer in Wochen*, „nicht erreicht“
Zufriedenheit mit der Behandlung	„0“ (= sehr zufrieden) bis „10“ (= sehr unzufrieden)
Würde der Patient die Behandlung (trotz alternativer Möglichkeiten) genauso wieder durchführen lassen	„ja“, „nein“
Datum der Metallentfernung	*Datumsangabe*, „nicht erinnerlich“
Notwendigkeit von Folgeoperationen	„ja“, „nein“
Vorerkrankungen und Medikamente	*Freitextantwort*

*Anmerkung:* Für die „Dauer der postoperativen Arbeitsunfähigkeit“ und die „Dauer bis zum Wiedererlangen der Beschwerdefreiheit“ war eine Angabe in Wochen nötig. War bei der Angabe von Zeitdauern oder Daten keine Angabe möglich, wurde die in Anführungszeichen stehende Antwort kodiert. Für die „Zufriedenheit mit der Behandlung“ sollte ein Zahlenwert von „0“ bis „10“ eingetragen werden. Für das „Datum der Metallentfernung“ sollte das genau Datum angegeben werden. War dies nicht möglich, wurde die Anführungszeichen stehende Antwort eingetragen. Für „Vorerkrankungen und Medikamente“ konnten die Probanden einen freien Text eintragen.

## Anhang H

Tabelle 15

*Bewegungsfähigkeit (Total Active Motion) nach Fingergrundgliedfraktur und operativer Versorgung mittels perkutaner K-Draht-Osteosynthese in der aktuellen wissenschaftlichen Literatur*

Autor/en (Jahr)	n	Alter (Range)	Osteosynthese	Nachbehandlung (Dauer)	TAM
Al-Qattan (2008)	38	34 J (22-46)	Trans. KDO	konv.-stat. (4-5 w)	13 % exzellent (> 240°) 50 % gut (220-240°)
Al-Qattan (2011)	35	35 J (24-45)	Peri. KDO	frühfkt.	43 % exzellent (> 240°) 29 % gut (220-240°)
Eberlin et al. (2014)	41	44 J (18-78)	Peri. KDO	konv.-stat. (3-4 w)	63 % exzellent (260-270°) 17 % gut (250-259°)
Faruqui et al. (2012)	25 25	45 J (18-89)	Trans. KDO Peri. KDO	konv.-stat. (3-4 w)	$M_{TAM\_abs\_trans} = 198^\circ$ $M_{TAM\_abs\_peri} = 201^\circ$
Saied und Sabet Jahromi (2018)	28 32	-	Trans. KDO Peri. KDO	konv.-stat.	Trans.: 78,6 % exzellent (> 240°) Peri.: 75,0 % exzellent (> 240°)
Shewring et al. (2018)	84	42 J (17-84)	Peri. KDO	konv.-stat. (24 t)	$M_{TAM\_abs} = 230^\circ$

*Anmerkung:* n = Anzahl Studienpatienten. Alter = Mittleres Patientenalter. TAM = Total Active Motion. J = Jahre. Trans. KDO = Transartikuläre Kirschner-Draht-Osteosynthese. konv.-stat. = konventionell-statisch. w = Wochen. Peri. KDO = Periartikuläre Kirschner-Draht-Osteosynthese. frühfkt. = frühfunktionell. t = Tage.