

**Chirurgische Klinik und Poliklinik  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Abteilung für Handchirurgie, Plastische Chirurgie und  
Ästhetische Chirurgie  
-Leiter: Univ. Prof. Dr. R. E. Giunta-  
Klinikum Innenstadt und Großhadern**

**Beugesehnenverletzungen der Hand in Zone II:  
Implementation eines Behandlungs-Algorithmus und  
deutschlandweite Online-Umfrage**

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

vorgelegt von:

**Johannes Strolla**

aus

Koblenz

2022

# Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Elias Volkmer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Andreas Ficklscherer  
Prof. Dr. med. Matthias Graw  
apl. Prof. Dr. Ulrich H. Brunner

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Priv.-Doz. Dr. med. Elias Volkmer

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 20.10.2022

# Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die dem Fachbereich Humanmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

**“ Beugesehnenverletzungen der Hand in Zone II: Implementation eines Behandlungs-Algorithmus und deutschlandweite Online-Umfrage“**

in der „Chirurgische Klinik und Poliklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München, Abteilung für Handchirurgie, Plastische Chirurgie und Ästhetische Chirurgie“ unter der Leitung von Univ. Prof. Dr. med. Ricardo E. Giunta, mit Unterstützung von Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Elias Volkmer, ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen, als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keinem in- und ausländischen medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Vorliegende Arbeit wurde in Teilen in folgenden Publikationsorganen veröffentlicht:

Heft zur 45. Jahrestagung d. Deutschen Gesellschaft der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen (2014). J.S., R.G., C.H., E.V., Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2014. Doc93

Heft zum 55. Kongress d. Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie (2014). J.S., R.G., C.H., E.V., Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2014. Doc14dgh64

Heft zum 133. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie (2015). J.S., R.G., C.H., E.V., Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2015. Doc15dgch114

Hamburg, den 20. Oktober 2022

Johannes Strolla

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Anatomie des Unterarms und der Hand	3
1.1.1 Extrinsisches System: Musculus flexor digitorum profundus (FDP) und Musculus flexor digitorum superficialis (FDS)	3
1.1.2 Intrinsisches System Mm. lumbricales, Mm. interossei palmares und Mm. interossei dorsales	5
1.1.3 Ringband- und Kreuzbandsystem Langfinger	5
1.2 Aufbau von Sehnen	7
1.3 Sehnenheilung	8
1.4 Zoneneinteilung	10
1.5 Auszüge aus der Geschichte der Sehnenchirurgie	11
1.5.1 Nahttechniken	11
1.5.2 Nahtmaterial	16
1.5.3 Postoperative Nachbehandlung	17
1.6 Diagnostik	18
1.6.1 Prüfung einzelner Handmuskeln	19
1.6.2 Anerkannte Evaluationskriterien nach Beugesehnenverletzung	20
1.7 Komplikationen nach Beugesehnennaht	26
1.8 Kontraindikation der primären Sehnennaht	26
1.9 Problematik	27
1.10 Fragestellung	28
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>29</b>
2.1 Klinisches Follow Up	29
2.1.1 Operative Versorgung	30
2.1.2 Aktive Nachbehandlung	33
2.1.3 Passiv dynamische Nachbehandlung	35
2.1.4 Statistische Auswertung	38
2.2 Material und Methoden Online Umfrage	38

<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>40</b>
3.1	Klinisches Follow-Up	40
3.1.1	Bewertungssystem nach TAM und TAM-Score	41
3.1.2	Bewertungssystem nach Strickland	46
3.1.3	Korrelation der Bewertungsscores	49
3.1.4	Jamar und Pinch-Gauger	50
3.1.5	DASH	51
3.1.6	Komplikationen	52
3.2	Ergebnisse Onlineumfrage	54
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>62</b>
4.1	Nahttechnik und Nahtmaterial	63
4.2	Behandlungsverlauf	65
4.3	Nachbehandlungsschema	65
4.4	Bewertungsscores	66
4.5	Dehiszenz	67
4.6	Zukunftsmodelle	67
4.7	Limitation	68
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>70</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>72</b>
<b>7.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>79</b>
<b>8.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>82</b>
<b>9.</b>	<b>Anhang</b>	<b>84</b>
<b>10.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>97</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
D I	Digitus 1, Daumen
D II	Digitus 2, Zeigefinger
D III	Digitus 3, Mittelfinger
D IV	Digitus 4, Ringfinger
D V	Digitus 5, Kleiner Finger
DASH	Disabilities of Arm, Shoulder and Hand
DGH	Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie
DIP	Distales Interphalangealgelenk
FDP	Musculus flexor digitorum profundus
FDS	Musculus flexor digitorum superficialis
Flex.	Flexion
Ext.	Extension
GNB	Gefäß-Nerven-Bündel
HG	Handgelenk
KK	Kirchmayr-Kessler
LMU	Ludwig-Maximilian-Universität
MCP	Metacarpophalangealgelenk
NML	No man's land
N.	Nervus
M.	Musculus
Pat.	Patient
PIP	Proximales Interphalangealgelenk
Tab.	Tabelle
Tn.	Teilnehmer
UA	Unterarm

## 1. Einleitung

Handverletzungen machen etwa 35-40% aller Notfälle in chirurgischen Notaufnahmen aus. Die mit Abstand häufigste Verletzungsart ist die Schnittverletzung an der Hand durch scharfe Gegenstände wie Messer, Glasscherben, Sägen und Metallgegenstände in ca. 24% der Fälle. Obwohl Verletzungen der Beugesehne der Hand nur ca. 1% aller Verletzungen ausmachen, können sie, wenn übersehen oder falsch behandelt, schwerwiegende Folgen bis hin zur Berufsunfähigkeit haben [1,2]. Waren es früher gehäuft Patienten mit berufsbedingten Verletzungen, steigen heutzutage die Patientenzahlen durch Unfälle im Hobby- und Freizeitbereich [3]. Verletzungen der Hand mit Sehnenbeteiligung gehören aufgrund der sich auf engstem Raum befindlichen Strukturen wie Knochen, Muskulatur, Gefäße und Nerven zu den komplexeren. Eine frühe Naht (primär oder früh sekundär) der Sehne, sowie die Versorgung der Begleitverletzungen hat sich dabei im letzten Jahrzehnt durchgesetzt [4], um gute postoperative Ergebnisse zu erlangen. Das weitgehend anerkannte Operationsziel bei allen Patienten ist dabei die stabile Wiederherstellung der Beugesehnenkontinuität, die Versorgung von Begleitverletzungen und eine sich anschließende frühe Nachbehandlung [5]. Es konnte sich trotz der Implementierung zahlreicher Nahttechniken und Therapiemöglichkeiten bis heute kein komplett einheitliches Operations- sowie Nachbehandlungsschema etablieren [5-10]. Um diese Arbeit zu ermöglichen, haben wir ein möglichst universell umsetzbares Operations- und Nachbehandlungsschema entwickelt.

Diese Arbeit stellt die Ergebnisse des von uns neu implementierten Behandlungsalgorithmus zusammen, welcher aus einer Kombination einer einfach umsetzbaren, aber stabilen Nahttechnik und einem sich anschließenden Nachbehandlungsschemata zusammensetzt.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Auswertung einer Online-Umfrage, welche speziell für Handchirurgen entwickelt wurde, um einen Überblick über die

in Deutschland verwendeten Nahttechniken, Nahtmaterialien und Methoden der Nachbehandlung zu erhalten.

Zum besseren Verständnis werden zu Beginn die Anatomie und Physiologie, die Diagnostik und Auszüge aus der Geschichte der Beugesehnenbehandlung ausführlich dargestellt.

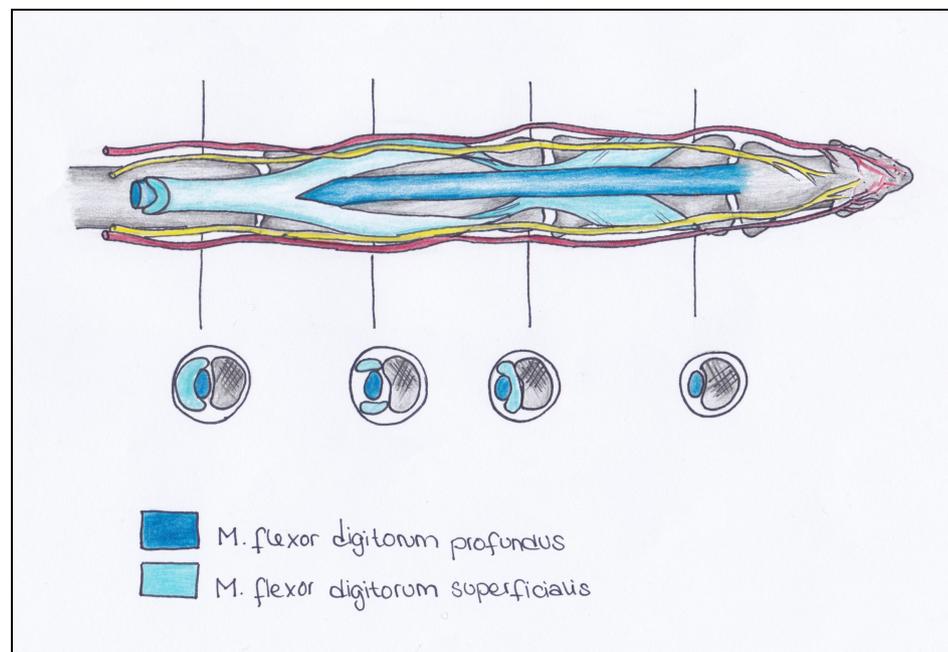
## **1.1 Anatomie des Unterarms und der Hand**

Die Hand gliedert sich entsprechend des Skeletts in 4 Gruppen. Dazu gehören die *Digitus manus* (Fingerglieder mit Grund-, Mittel-, und Endphalanx), die *Ossa metacarpalia I-V* (Mittelhandknochen), die *Ossa carpalia* (Handwurzelknochen proximal mit *Os scaphoideum*, *Os lunatum*, *Os triquetrum*, *Os pisiforme* und Handwurzelknochen distal mit *Os trapezium*, *Os trapezoideum*, *Os capitatum* und *Os hamatum*) und das Handgelenk (gebildet aus *Os carpi ulnare*, *Os carpi radiale* und proximale Handwurzelknochen). Die Greiffunktion der Hand beruht auf einer Interaktion der Muskeln, Gelenke, Nerven, Blutgefäße und anderer anatomischen Strukturen wie Sehnen, die allesamt auf unterschiedliche Weise zur Fingerbewegung beitragen. Die Beugung der Langfinger (DII - DV) der Hand wird dabei wesentlich von den tiefen (*Musculus flexor digitorum profundus*, FDP) und oberflächlichen Beugern (*Musculus flexor digitorum superficialis*, FDS) als Teil des extrinsischen Systems gesteuert. Unterstützend wirkt dabei das intrinsische Beugersystem der Hand. Die Gefäßversorgung der Hand erfolgt durch die *A. radialis* und *A. ulnaris*, welche sich im Bereich der Handfläche zu einem tiefen und oberflächlichen Hohlhandbogen zusammenschließen. Von beiden Hohlhandbögen gehen die jeweiligen paarweisen Fingerarterien (A 1-10) ab, welche durch sogenannte *Vincula* die Beugesehnen versorgen. [11]

### **1.1.1 Extrinsisches System: *Musculus flexor digitorum profundus* (FDP) und *Musculus flexor digitorum superficialis* (FDS)**

Der M. FDP entspringt am Unterarm an den proximalen zwei Dritteln der Ulna und der *Membrana interossea*. Der M. FDS hat den Ursprung seines *Caput humerale* am *Epicondylus medialis humeri*, des *Caput ulnare* am *Processus coronoideus ulnae* und seines *Caput radiale* am *Radius*. Sowohl aus dem M. FDP als auch dem M. FDS entspringen jeweils vier Beugesehnen. Sie verlaufen gemeinsam mit dem *Nervus medianus* durch den Karpalkanal und verzweigen sich von der *Palma manus* aus in die einzelnen Finger. Die Sehnen der oberflächlichen Muskeln (FDS) teilen sich auf der Höhe der proximalen Phalangen II-V auf und haben ihren Ansatz an der ulnaren und radialen Seite der Basis der *Phalanx intermedialis II-V*

[Abb. 1]. Die FDP-Sehnen verlaufen bis zur Aufteilung der oberflächlichen Beugesehnen in der Tiefe und durchstechen diese an Ihrer Bifurkation. Ihren Ansatz besitzen die tiefen Beugesehnen an der Basis der Phalanx distalis [Abb. 1]. Durch Ihre unterschiedlichen Ansätze am Finger ist eine erste klinische Beurteilung einer Ruptur auch bei schweren Verletzungen noch vor dem operativen Eingriff möglich. Dabei führen die oberflächlichen Beuger zu einer Beugung im Grund- und Mittelgelenk und die tiefen Beugesehnen zu einer Beugung im Grund-, Mittel- und Endgelenk [11, Tab. 1]. Als Gleitlager der Sehnen dienen die Sehnenscheiden, welche sie vor Reibungen an Gelenken und osteofibrösen Kanälen schützen. Sie sind ein Teil des osteofibrösen Kanals und beginnen an den Köpfchen der Ossa metacarpalia und führen bis zur Basis der Endphalanx II-V. Im Vergleich zur Sehnenscheide des V. Strahls, welche sich über die gesamte Strecke erstreckt, gibt es eine Unterbrechung der II-IV Sehnenscheide im Bereich der Mittelhandknochen von wenigen Zentimetern. [11]



**Abbildung 1:** Anatomie Digitus II-V der Hand: Ansatzstellen des M. flexor digitorum profundus und superficialis mit begleitendem Gefäß-Nervenbündel.

### 1.1.2 Intrinsisches System Mm. lumbricales, Mm. interossei palmares und Mm. interossei dorsales

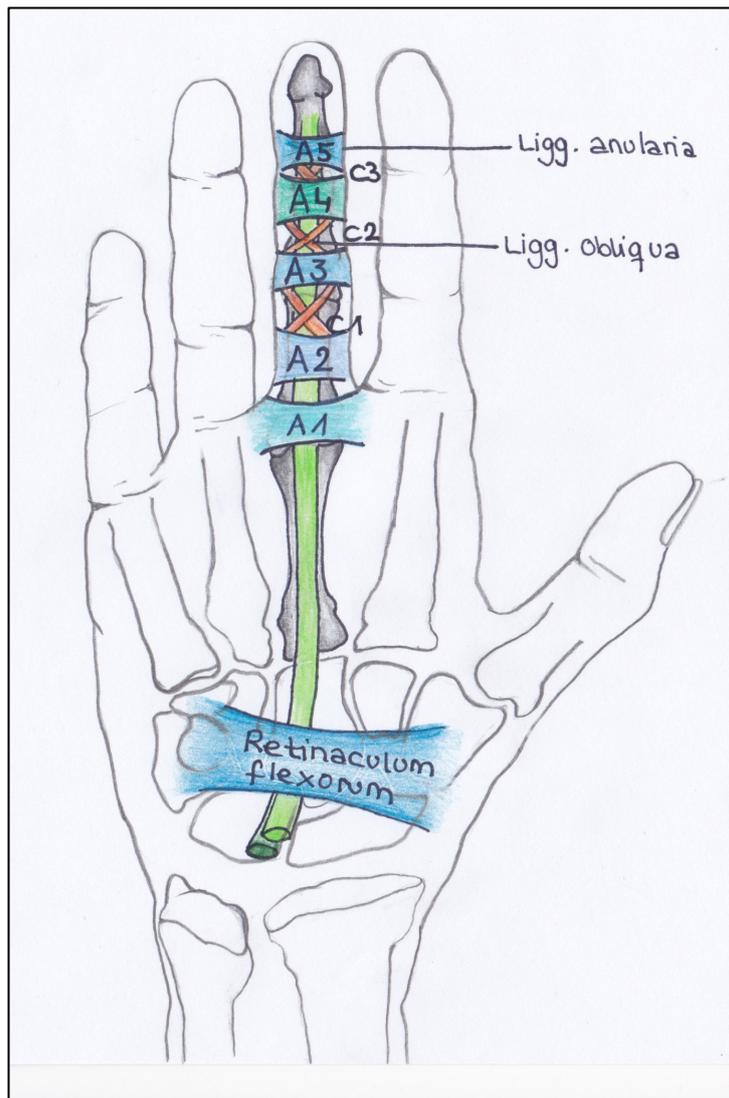
Unterstützend zu den Muskeln des extrinsischen Systems wirken die Musculi lumbricales und Musculi interossei manūs als Bestandteil des intrinsischen Systems. Alle haben als Funktion eine Beugung im Grundgelenk und Extension im Mittel- und Endgelenk [11, Tab.1]

Muskel	Ursprung	Ansatz	Funktion	Besonderheit
Mm. interossei Palmares I-III (Innervation Ramus profundus N. ulnaris)	ulnar Os metacarpale II und radial Os metacarpale IV u. V	Dorsalaponeurose der Digiti I, IV und V	Beugung im Grundgelenk und Extension im Mittel- und Endgelenk	Einköpfige Muskeln
Mm. interossei dorsales I-IV (Innervation Ramus profundus N. ulnaris)	Os metacarpale I-V	Dorsalaponeurose der Digiti II-IV	Beugung im Grundgelenk und Streckung im Mittel- und Endgelenk	Zweiköpfige Muskeln
Mm. lumbricales I-IV (Innervation I. und II. durch N. medianus, III. und IV. Ramus profundus N. ulnaris)	Radial Sehne des M. flexor digitorum profundus	Dorsalaponeurose der Digiti II-IV	Beugung im Grundgelenk und Streckung im Mittel- und Endgelenk	Kein ossärer Ursprung, erster und zweiter Strahl einköpfig, dritter und vierter Strahl zweiköpfig

**Tabelle 1:** Intrinsisches System der Handmuskulatur mit Ursprung, Ansatz, Funktion und Besonderheit

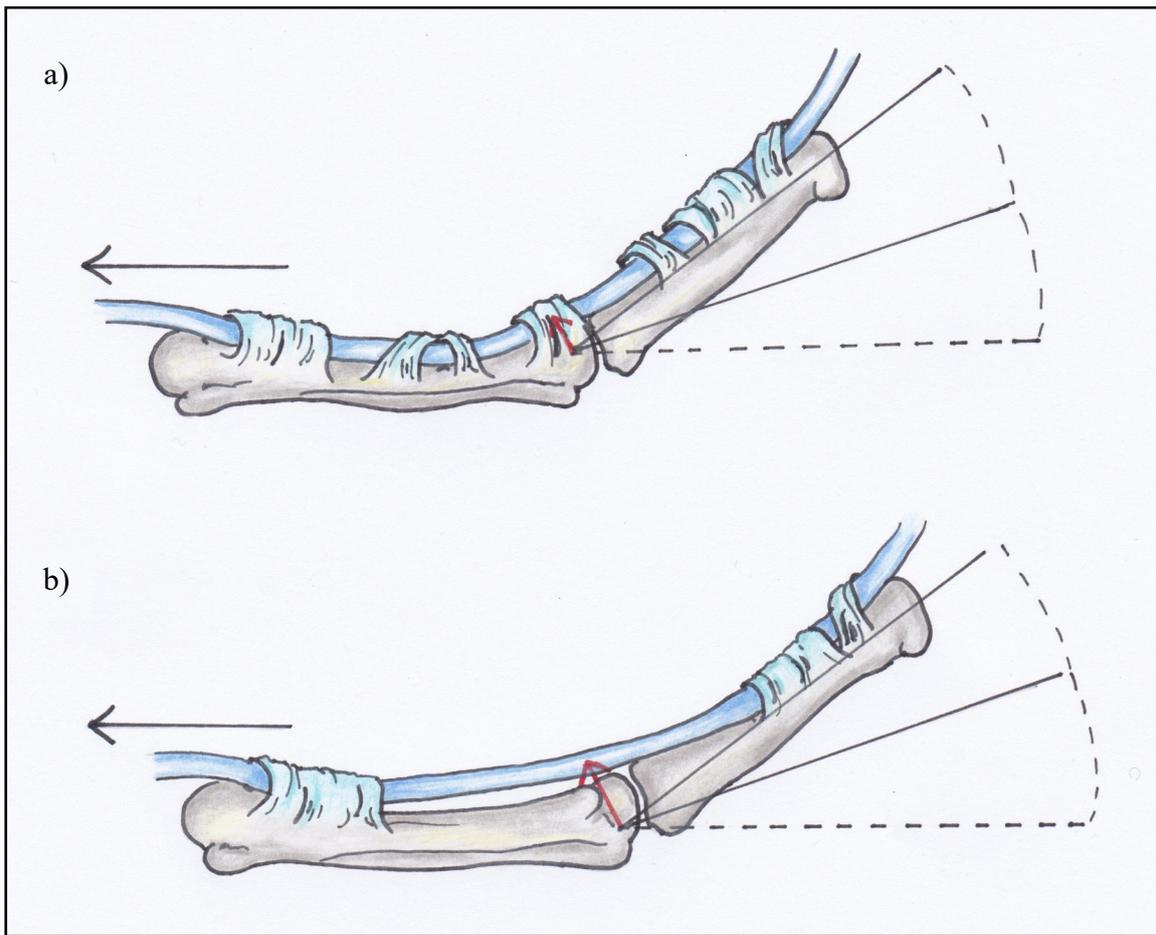
### 1.1.3 Ringband- und Kreuzbandsystem Langfinger

An den Fingern befinden sich zudem ringförmige Verstärkungen der Sehnenscheiden (Pars anularis vaginae fibrosae), die sogenannten Ringbänder (Ligamenta anularia). Pro Fingerstrahl (D II-V) bilden die Sehnenscheiden jeweils 5 dieser beugeseitigen Verstärkungsbänder (A<sub>1</sub>-A<sub>5</sub>). Zwischen den transversal verlaufenden Ringbändern liegen die Kreuzbänder (C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub>) [11, Abb.2].



**Abbildung 2:** Die Verstärkungsbänder des Fingers mit 5 Ringbändern (A1–A5; Ligg. anularia) und 3 kreuzförmigen Bändern (C1–C3; Ligg. obliqua). Die breiten, verstärkten A2- und A4-Ringbänder über der Grund- und Mittelphalanx sind für eine optimale Sehnenfunktion besonders wichtig.

Ohne die unterstützende Wirkung der Ring- und Kreuzbänder würde die Sehne während der aktiven Beugung wie eine Bogensehne verlaufen und die Funktion der Hand deutlich einschränken. Um das allgemein als „Bogensehnenphänomen“ oder auch „bowstring effect“ bezeichnete Phänomen zu verhindern, ist die Wiederherstellung oder das Erweitern/Lösen einzelner Ringbänder (vor allem des 2. und 4. Ringbandes) bei Verletzungen durchaus angeraten. [12-18] [Abb. 3]



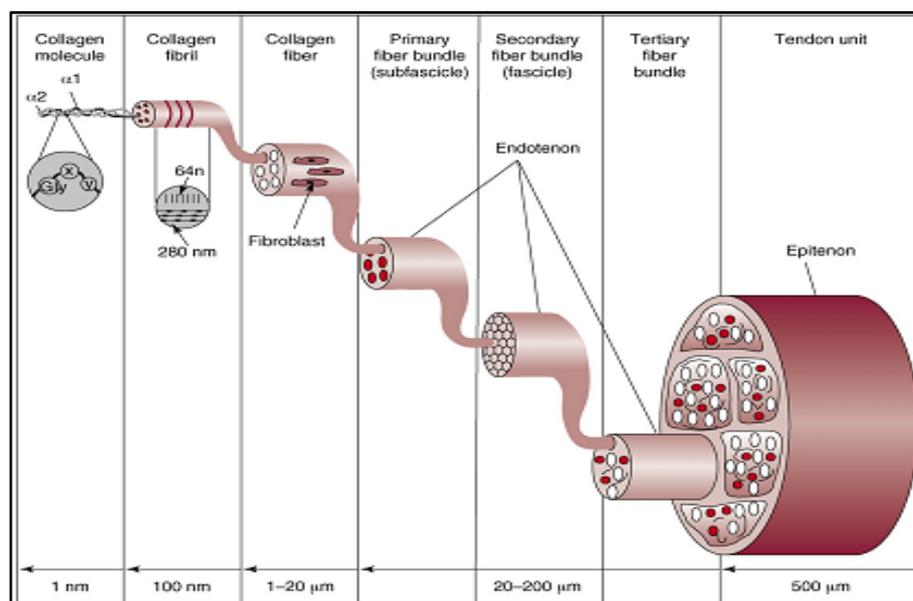
**Abbildung 3:** a) Normalbefund; b) Bogensehnenphänomen bei Verlust der Ringbänder A2 und A3. Hier sieht man den Spalt (roter Pfeil) zwischen Phalanx und Beugesehne bei gleicher Beugung des Fingers

## 1.2 Aufbau von Sehnen

Sehnen sind bindegewebige Faserzüge, welche die Verbindung zwischen Muskel und Knochen bilden und eine hohe Widerstandsfähigkeit aufweisen. Die hohe Zugkraft und Widerstandsfähigkeit erhalten sie durch die parallel gebündelten und in Zugrichtung angeordneten Kollagenfasern [19-21]. Prinzipiell teilt man die Sehnen in zwei Arten, rundliche, strangförmige Sehnen und dünne, flache, breite Sehnenhäute, sogenannte Aponeurosen [21]. Die Beugesehnen der Hand zählen zu den strangförmigen Sehnen und verlaufen teilweise in Sehnenscheiden. Die Sehnenscheiden bilden eine doppelwandige Hülle um die Beugesehnen. Sie dienen dem Schutz, reduzieren die Reibung und sind mit Synovialflüssigkeit (Synovia) gefüllt, welche die Beugesehnen mit Nährstoffen versorgt. Die weitere Versorgung der Beugesehnen erfolgt meist über zwei kurze

und zwei lange Vincula im Bereich der Finger, welche jedoch in Ihrer Anzahl sehr variabel sind [21].

Abbildung 4 zeigt den schematischen Aufbau einer Sehne, bei der sich mehrere Kollagenfasern zu primär-, sekundär- und tertiär- Bündeln (Endotenon) zusammenfügen und mit dem Epitenon eine Sehneneinheit bilden. Umschlossen werden die Bündel der Sehneneinheiten von einer Sehnenhaut, auch Peritendineum genannt [22].



**Abbildung 4:** Schematischer Aufbau einer Sehne. Liu et al.2008 [9]

### 1.3 Sehnenheilung

Um die einzelnen Aspekte und Ansatzpunkte der Sehnenchirurgie zu verstehen, setzt dies Grundkenntnisse über Pathomechanismen der Sehnenheilung voraus. Die Verletzung einer Sehne, ob traumatisch oder spontan, setzt eine Vielzahl von Kaskaden, sowohl auf molekularer, als auch auf zellulärer Ebene in Gang. Physiologisch besitzt die Sehne eine intrinsische und extrinsische Heilungstendenz [Tab. 2], welche in 3 Phasen unterteilt werden kann: die Initialphase (inflammatorische Phase, Tag 0-7), Proliferationsphase (Reparaturphase, Tag 7-21) und Remodelingphase (Umbauphase, 4. Woche - 1 Jahr) [1, Tab. 2]. Entscheidend für ein gutes postoperatives Ergebnis ist dabei vor allem die Unterstützung der intrinsischen- und Vermeidung einer überschießenden

extrinsischen Sehnenheilung (Tab. 3). Der stärkste Mechanismus zur Unterdrückung des extrinsischen Reparatursystems, stellt die frühzeitige Mobilisation der Sehne dar. [Geldmacher und Köckerling 1991, Towfigh 2011, Gelbmacher et al. 1999].

Reperatursystem	Zellart	Funktion	Voraussetzung an Sehnennaht	Eigenschaft
extrinsisch	Fibroblasten	Schnelle Kollagensynthese	-großer Sehnenspalt - beschädigte Sehnenscheiden - hohe Reibungskraft - lange Immobilisation - großer Spalt „Gap“ zwischen den Sehnenstümpfen - strangulierende Nähte	-Verwachsungen mit umliegendem Gewebe (Sehnenscheide) - erschwelter Gleitmechanismus -schlechtes Outcome (Beuge-/ Streckdefizit / Reruptur)
intrinsisch	Tenozyten (Endotenon)	Proliferation, Migration und langsame Kollagensynthese	- gute Vaskularisierung - erhaltene Sehnenscheide/ Synovia - kleiner Sehnenspalt - kleiner „Gap“ bis zu 3mm, - geringe Reibungskraft - frühe Mobilisation - atraumatische Operationstechnik	- verminderte Narbenbildung - weniger Verwachsungen mit umliegenden Gewebe - gutes Outcome (geringes Beuge-/ Streckdefizit) - geringere Rerupturrate

**Tabelle 2:** Überblick der Reparatursysteme der Sehnenheilung [Geldmacher und Köckerling 1991, Towfigh 2011, Gelbmacher et al. 1999]

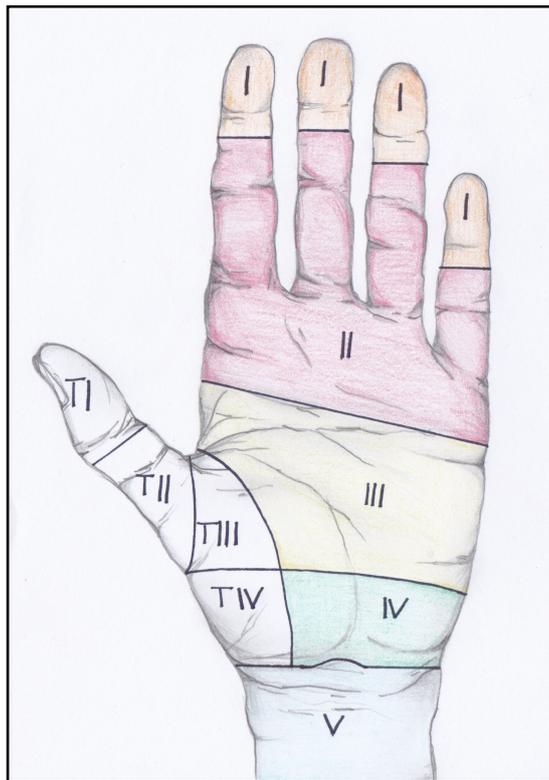
Phase	Zeitraum	Zellvermittelte Antwort	Stabilität
Initialphase (inflammatorische Phase, exsudative Phase)	0-7 Tage	Initial Ausbildung eines Wundhämatoms, Einwanderung von Zytokinen und Entzündungszellen, dadurch Bildung eines Fibrinblocks und Abbau des nekrotischen Gewebes	Stabilität ist abhängig von Nahttechnik und Nahtmaterial
Proliferationsphase (fibroplastische Phase)	7-21 Tage	Proliferation von Fibroblasten, Myofibroblasten und Endotheliumzellen, Umwandlung Fibrinblock in extrazelluläre Matrix wie Kollagen III und Nichtkollagenproteine, Umwandlung Kollagen III in Kollagen I	Erhöhte Gefahr der Durchblutungsstörung abhängig von Nahttechnik, Bei Minderperfusion Bildung von nekrotischem Gewebe, dadurch resultierende Instabilität und vermehrtes Ausreißen des Nahtmaterials, höchste Instabilität nach ca. 12 -14 Tagen
Umbauphase (Reifungsphase, Remodeling –Phase)	4. Woche – 1. Jahr	Umbau der Kollagenfasern und Ausrichtung in Längsachse der Sehne.	Remodeling, dadurch steigende Stabilität. Maximum nach ca. 1. Jahr erreicht

**Tabelle 3:** Heilungsphasen einer Sehne [Geldmacher und Köckerling 1991, Towfigh 2011, Gelbmacher et al. 1999]

## 1.4 Zoneneinteilung

Beugesehnenrupturen stellen eine komplizierte Handverletzung dar. Um Verletzungen entlang der Beugesehnenscheiden besser einzugliedern, wurde die palmare Handfläche von Henry Nigst (1976) [23] und Verdan [5] in 5 Zonen unterteilt (Abb. 5). Dabei gliedern sich die Langfinger in die Zonen I-V und der Daumen in die Zonen TI-III. Die Zonen I-III der Langfinger korrespondieren hierbei mit den Zonen TI-III des Daumens.

Ausschlaggebend für die Einteilung der Beugesehnen ist hierbei die Lage der Sehnenscheiden im Bereich der palmaren Handfläche. Aufgrund der anatomischen Gegebenheit, dass die Beugesehnen in der Zone 2 (Abb. 2) in einem engen osteofibrösen Tunnel verlaufen, gehören Operationen von Beugesehnenverletzungen in dieser Zone zu denen mit den größten postoperativen Komplikationsraten in der Beugesehnenchirurgie [24,25]. Hier kam es häufig zu Verwachsungen, Rerupturen und zum Verlust der Range of Motion (ROM) nach Beugesehnenrekonstruktion [26]. Bunnell bezeichnete diese Zone 1922 daher als „no man's land“ (Abb. 5). Durch die Entwicklung von verschiedensten Nahttechniken und Nachbehandlungsschemata wurde dieser Bereich im weiteren Verlauf in „not-everyone's -land“ umbenannt.[27].



**Abbildung 5:** Zoneneinteilung der Finger DII-V nach Nigst 1976, orange= Zone I, rot= Zone II „no man’s land“, gelb= Zone III, grün= Zone IV, blau = Zone V

## 1.5 Auszüge aus der Geschichte der Sehnenchirurgie

### 1.5.1 Nahttechniken

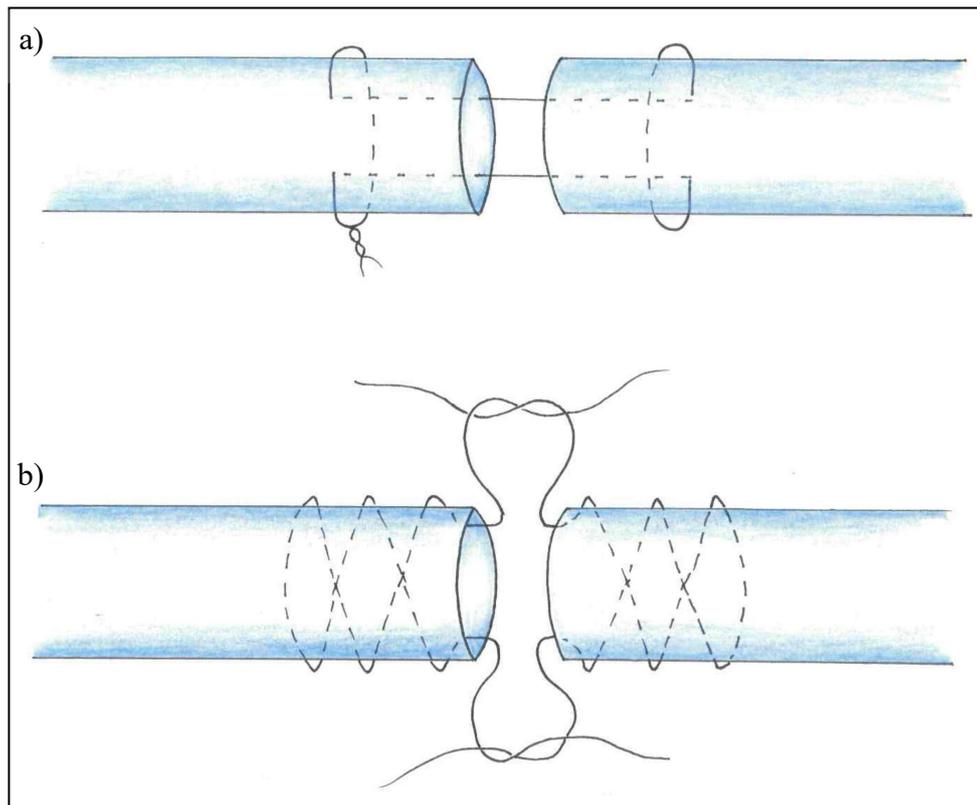
Die erste Sehnennaht wurde von *Avicenna (980-1037)* beschrieben, indem er die Sehne mit dem begleitenden Gewebe vernäht. Immer wieder wurden Berichte über verschiedene Techniken von Sehnennähten publik. Um 1700 zeigte Pierre E. Dionis eine erste Nahttechnik, bei der die Sehnenenden mit einer einfachen oder doppelten Knopfnahnt wieder verbunden wurden. Lorenz Heister („Chirurgie“ 1743) berichtete jedoch wenig später, dass die Wiederherstellung der Sehnenkontinuität mittels Einzelknopfnahnt nicht ausreichend hielt und es zu vermehrten Rerupturen kam. Heister entwickelte wiederum eine eigene Nahttechnik, indem er unter den proximalen Knoten ein Stück Leinwand legte und das distale Ende über einem Stück Leder als Schlinge verknüpfte. 1770 führte Missa die ersten Sehnentransplantationen durch. Bereits im 19. Jahrhundert wies

Velpeau [1853] auf Probleme in verschiedenen Verletzungszonen hin. Aufgrund der Gefahr von Infektionen und Verwachsungen, hielt er Beugeschnennähte im Bereich der Finger für streng kontraindiziert.

Mit dem Hintergrundwissen, dass Sehnen sich vor allem aus längs gerichteten Fasern zusammensetzen und es bei Einzelknopfnähten immer wieder zum Ausreißen von Nahtmaterial kam, wurden Nahttechniken entwickelt, bei denen die Verblockung des Nahtmaterials eine Rolle spielte. Zu Beginn der modernen Chirurgie war es Nicoladoni (1880) der einen Vorschlag zur Kernnaht der Sehnen darstellte, bei der die Sehnenenden durch eine Zweistrangnaht miteinander verbunden wurden. Genauer beschrieb er die Eigenschaft einer Sehnennaht wie folgt: „Die Sehnen dürfen nach meiner Ansicht nur durch sehr zartes Nahtmaterial, mit geringem Zuge und mit sorgsamster Vermeidung jeder Kompression in sanfter Berührung aneinandergehalten werden. Des Weiteren sollte für das spätere anstandslose Gleiten der glücklich zusammen gewachsenen Sehne, das intraoperative Spalten der Sehnen so viel als möglich vermieden werden“ [Nicoladoni, 1880]. Hiermit versuchte er die Probleme wie Verwachsungen, Vernarbungen und Verdickung der Sehnen nach Sehnennaht, welche in früheren Arbeiten immer wieder beschrieben wurden, zu umgehen. Zudem wies Nicoladoni [1880] daraufhin hin, dass die Sehnennähte mindestens 10mm vom Sehnenstumpf entfernt gesetzt werden sollten, um das Ausreißen der Nähte zu reduzieren. Hierbei stellte er dar, dass es im direkten Bereich der Sehnenruptur (<10mm) zum im Verlauf „aufweichen“ der Sehne und infolgedessen zu einer Instabilität im Rahmen der Sehnenheilung kommen kann. Mit Beginn des 20. Jahrhunderts kam es im Laufe der industriellen Revolution zur Weiterentwicklung der Operationsbedingungen. So waren es vor allem die Entwicklung von feineren Operationsinstrumenten, biokompatiblen Nahtmaterialien, atraumatischen Operationstechniken in Kombination mit Blutsperre/Blutleere und die Einführung aktiver und passiver Nachbehandlung, die enorme Fortschritte in der Versorgung von Sehnenverletzungen brachten [28]. 1917 stellte Kirchmayr [29] seine 2-Strang-Kernnaht [Abb. 6] vor, die noch bis heute die Grundlage zahlreicher Modifikationen darstellt. Er beschrieb seine Naht

damals wie folgt: „Etwa eine bis anderthalb Sehnenbreiten entfernt vom Stumpfende wird die Nadel so durch die Sehne gestochen, dass sie zwischen mittlerem und äußerem Drittel am Querschnitt austritt. An der entsprechenden Stelle des anderen Stumpfes wird wieder eingestochen und die Nadel so durchgeführt, dass sie symmetrisch zum Einstich im ersten Stumpf am Sehnenende austritt. Etwa 2 mm nach vorn vom Austritt wird so wieder eingestochen, dass ein Sehnenbündel umfasst wird und nun wird der Faden quer durchgeführt. In der gleichen Weise sticht man die Nadel der anderen Seite beider Sehnenstümpfe durch, um an der Einstichstelle zu knüpfen“. In den folgenden Jahrzehnten wurde diese Nahttechnik durch Kessler (1973), Kleinert (1967) und Zechner (1985) aufgenommen und weiterentwickelt [Abb. 7]. Ziel der jeweiligen Weiterentwicklung war es, das Gleiten der Sehne durch Verlegung des Knotens, die Nahtstabilität und die möglichen Verwachsungen zu minimieren. Die Kirchmayr Kernnaht oder eine Modifikation bzw. Kombination einzelner Abwandlungen, stellen auch heute noch die Operationsmethode der Wahl bei Zone II Verletzungen dar [Abb. 20].

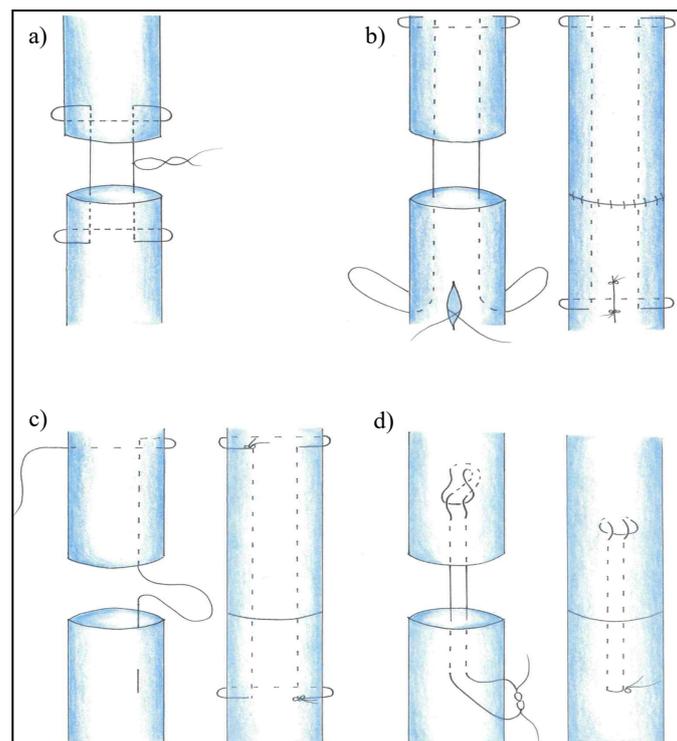
Bunnell stellte 1921 [30,31] seine „Methode von atraumatischen Nahttechniken“ vor [Abb. 6], bei der er durch zickzackförmiges Durchstechen der beiden Sehnenenden eine mehrfache Verblockung durchführte. Bei nur enttäuschenden Ergebnissen in der Zone II nach Beugesehnenverletzungen, etablierte Bunnell die Bezeichnung des sogenannten „no-man`s-land“ (Niemandland). Er war der Auffassung, dass Beugesehnen durchtrennungen in dieser Zone nur durch freie Sehnentransplantationen behandelt werden sollten [31]. Die 1975 [32] von Tsuge etablierte Kernnahttechnik stellt die einfachste Form einer Kernnaht dar, bei der er das eine Sehnenende mittels Schlinge fixierte und direkt mit dem anderen Ende verknüpfte [Abb.7].



**Abbildung 6:** Nahttechniken nach a) Kirchmayr (1917) und b) Bunnell (1918)

Erst die Einführung der passiv-dynamischen Nachbehandlung von Beugesehnenverletzungen der Hand durch Kleinert (1975) [8] brachte letztlich weltweit eine deutliche Verbesserung der Ergebnisse. Selbst das sogenannte 'no-man's-land' (Zone II) wurde im Zuge dieser Entwicklung und durch die Erfahrung der einzelnen Operateure in ein 'not-everyone's-land' umbenannt. Seither wurden immer wieder neue Aspekte der Therapie verfeinert oder verändert. Zudem führten einige Autoren in-vitro Studien durch, die eine Korrelation von Strangzahlen und Nahttechniken im Verhältnis zur Zugfestigkeit der Beugesehnen beschrieben [33-35]. Zusammengefasst berichteten alle über eine Steigerung der Zugfestigkeit proportional zur Anzahl der Nahtstränge [36]. In Studien haben Shuin et al. [37] gezeigt, dass die maximale Kraft, die für eine aktive Fingerflexion ohne Widerstand benötigt wird, 28,4 N und für eine passive Flexion 8,8 N beträgt. Wu zeigte 2010 [34] in seinen biomechanischen Versuchen, dass eine modifizierte 4-Strang Kirchmayr-Kessler Naht einer max. Belastung von bis zu 36,4N standhält. Zusätzlich stellte er fest, dass es zu keinem Nahtausreißen, sondern eher im Verlauf der Versuchsreihen zu einem Fadenriss kam. Jordan [40] verglich in einer

biomechanischen Studie die 4-Strang Kirchmayr-Kessler Naht mit der Bunnell-Technik und konnte keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Spaltbildung feststellen (beide ca. 2mm Gap bei 20 N). Zusätzlich zur propagierten Kernnaht sollte eine epitendinöse Naht (Feinadaptionsnaht) erfolgen, um die Lücke im Bereich der Sehnenenden zu verschließen und Spaltbildung, sogenannte Gaps zu minimieren [38]. Hierdurch kann es insgesamt zu einer erhöhten Gesamtstabilität von bis zu 10-50% kommen [39]. Weitestgehend hat sich hier die Feinadaptionsnaht nach Kleinert durchgesetzt, bei der es sich um eine einfach durchzuführende zirkuläre Ringnaht handelt [39, Abb. 7b]. Etwas stabiler ist die von Silfverskjöld eingeführte Adaptionsnaht, die wir in dieser Studie verwenden [53].



**Abbildung 7:** a) Mod. Kirchmayr-Naht nach Kleinert 1967, b) Modifizierte Kirchmayr-Naht nach Zechner 1985 und Ringnaht c) Die Kessler-Naht 1973, d) Die Tsuge-Naht 1975

Als wichtige Prinzipien für Beugeschnennähte stellten T. Pillukat et. all. [7] folgende Prinzipien auf [Tab. 4]

	<b>Eher günstig</b>	<b>Eher ungünstig</b>
<b>Fadenverlauf in der Sehne</b>	Blockierende Nähte Blockierende Zwischenknoten	Umgreifende Nähte
<b>Stärke des Nahtmaterials</b>	Fadenstärke 3/0 und 4/0	Fadenstärke 5/0 und 2/0
<b>Anzahl der Nahtstränge</b>	Vier und mehr Stränge	Zwei Stränge
<b>Knotenlage</b>	In der Sehne	Außerhalb der Sehne
<b>Abstand der Ankerpunkte vom Sehnenstumpf</b>	7-10mm Umlaufende Feinadaptionnaht	<7 mm

**Tabelle 4:** Wichtige Prinzipien für Beugeschnennähte (T. Pillukat 2017) [7]

### 1.5.2 Nahtmaterial

Nicht nur die Nahttechnik, sondern auch das verwendete Nahtmaterial trägt zu einer stabilen Schnennaht bei [28]. Bereits 1925 beschrieb Kleinert das Nahtmaterial wie folgt: „Das ideale Nahtmaterial sollte eine hohe Zugfestigkeit aufweisen, nicht dehnbar sein, eine leichte Handhabung, ..., einen minimalen Verlust an Festigkeit nach dem Knüpfen liefern und eine minimale Gewebereaktion aufweisen“ [Kleinert, 28]. Für Green (1982) sollte das ideale Nahtmaterial vor allem flexibel sein, eine hohe Stabilität (Reißfestigkeit und sicherer Halt des Knotens) und einen kleinen Durchmesser aufweisen. Dienten früher noch Seide, Stahl, Baumwolle oder Leinen zur Schnennaht, kann man heutzutage aus einer Vielzahl an Nahtmaterialien mit den unterschiedlichsten Nahteigenschaften wählen. Unterschieden werden dabei folgende Kriterien: die Beschaffenheit (Nicht-resorbierbar/ resorbierbar/ teilresorbierbar), die Fadenstruktur (Anzahl der Filamente, Oberflächenbeschaffenheit, Fadenstärke, Beschichtung), Reißfestigkeit, Knotenhalt, Elastizität, und Resorptionszeit [36]. Zudem sollte die Gewebeinteraktion zwischen Nahtmaterial und Sehne beachtet werden, dabei kommt es bei geflochtenen Fäden eher zu einer erhöhten Säge- und Reibwirkung mit folglich erhöhter Traumatisierung. Der Vorteil eines geflochtenen Fadens liegt vor allem beim Knüpfen des Fadens, da der resultierende Knoten einen besseren Halt im Verhältnis zu einem monofilen Faden aufweist. Seit einigen Jahren stehen auch Studien zu Fäden mit Widerhaken zur Verfügung, welche eine Naht ohne Knoten ermöglichen. Die dadurch geringere Menge an eingebrachtem Fremdmaterial, reduziert die Bildung von Adhäsionen und soll die

Stabilität zusätzlich erhöhen [40-42]. Wie oben bereits erwähnt, ist eine Fadenstärke von 3/0 und 4/0 für die Kernnaht aufgrund der Materialstärke und Interaktion mit der Umgebung am geeignetsten [7].

### **1.5.3 Postoperative Nachbehandlung**

Mobilisierung nach Beugesehnenrekonstruktion ist wichtig für die Heilung und Reparatur. Es wurde experimentell gezeigt, dass die frühe Bewegung die Sehnenheilung durch Aktivierung des intrinsischen Reperatursystems stimuliert und Adhäsion verringert [43-45].

Daher wurden im Verlauf der Zeit mehrere Behandlungsschemata erarbeitet, welche eine frühe kontrollierte Mobilisation der Finger beinhalten und zu verminderten Adhäsionskomplikationen und Re-Ruptur Raten führen sollen. Einer der Pioniere auf dem Gebiet der Beugesehnenchirurgie mit anschließender aktiver Mobilisation war Harmer (1917). Kurz darauf führte Bunnell (1918) sein postoperatives Behandlungsschema ein, bei dem die Patienten für 3 Wochen immobilisiert wurden und anschließend mit einer aktiven Bewegung beginnen sollten. Diese Methode führte jedoch zu suboptimalen Ergebnissen, so dass im Zeitraum von 1918-1960 die Sehnentransplantation vor allem in der Zone II, aber auch in anderen Zonen mit einer anschließenden Ruhigstellung der Finger von bis zu 4 Wochen den Goldstandard darstellte. In den 70er und 80er Jahren waren es dann Kleinert et al. (1973) [46] und später Duran und Houser (1975) [47], die ihr bis heute gültiges Nachbehandlungsschema implementierten. Sie zeigten auf, dass nach Primärversorgung der Beugesehnen und frühzeitiger postoperativer Mobilisation gute Ergebnisse erreicht werden können. Zahlreiche experimentelle Studien haben gezeigt, dass eine Frühmobilisation sowohl die Adhäsionsbildung reduziert, als auch die Heilungstendenz der Sehnen fördert (Gelbermann et al. 1980,1982) [48,49].

Erstbeschreiber der neuzeitigen aktiven Nachbehandlung nach Beugesehnenverletzungen waren Small, Brennen und Colville aus Nordirland (1989) [50]. Des Weiteren zeigten Chow (1990) [51], Strickland (1993) [52] und Silfverskiöld (1994) [53], dass nach einer Versorgung mittels Mehrstrangnähten

eine frühe aktive Mobilisation zu guten bis sehr guten Ergebnissen führen kann. Sicher ist jedoch, dass das funktionale Outcome stark mit der Zusammenarbeit von Operateur, Therapeuten und Patient korreliert.

## **1.6 Diagnostik**

Bei allen Handverletzungen steht am Beginn einer klinischen Untersuchung die Anamnese des Unfallhergangs. Anschließend erfolgt die Überprüfung von Motorik, Sensibilität und Durchblutung, um mögliche Begleitverletzungen wie Frakturen, Gefäß-, Nerven-, Gelenkverletzungen sowie zusätzliche Muskel- und Sehnenverletzungen auszuschließen.

Um mögliche Schäden am Gefäß-Nerven-Bündel (GNB) zu evaluieren, bedient man sich einfacher Untersuchungen, welche im Notfall schnell durchzuführen sind. Zur Überprüfung der Sensibilität verwendet man zumeist die 2-Punkt Diskrimination, hier gilt ein Wert zwischen 2-3mm als physiologisch. Alle Messwerte >3mm legen den Verdacht auf eine Verletzung der Fingernerven nahe [1].

Um eine Aussage über die Durchblutung machen zu können, hilft meist die Durchführung des Rekapillarisationstests, auch Fingernagelprobe genannt. Dabei wird Druck auf den Fingernagel des betroffenen Fingers ausgeübt, sodass sich das darunter liegende Nagelbett weiß färbt. Nach Druckentlastung sollte sich das Nagelbett unter physiologischen Bedingungen nach ca. 2 Sekunden rosa/rot verfärben [1]. Eine verlängerte Rekapillarisationszeit kann Hinweise auf eine Verletzung der Fingerarterien liefern. Neben der Fingernagelprobe kann zusätzlich das Hautkolorit zur Beurteilung möglicher Gefäßverletzungen beitragen. Sollten die 2 Punkt-Diskrimination und Rekapillarisationszeit regelrecht sein, kann aufgrund der doppelt angelegten Nerven und Arterien je Finger eine Verletzung von nur einem GNB vorliegen.

Des Weiteren muss man immer den Gesamtzustand des Patienten mitbeachten, da Durchblutung, Sensibilität und Motorik multifaktoriell beeinflusst werden können.

### **1.6.1 Prüfung einzelner Handmuskeln**

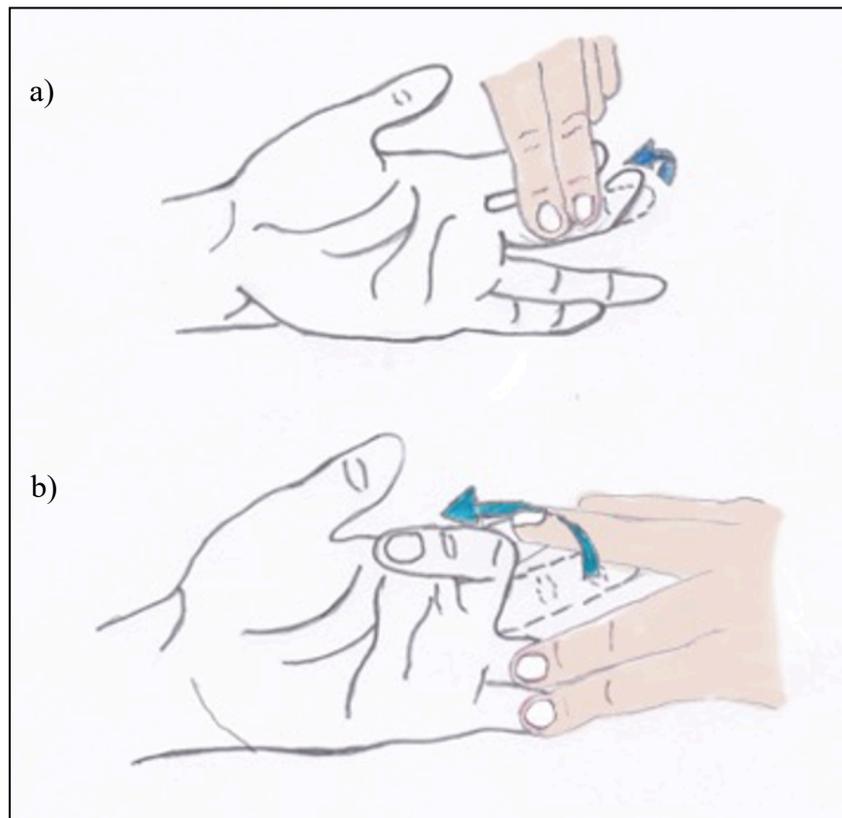
*M. flexor digitorum profundus (FDP):*

Zur Überprüfung der Bewegungseinschränkung der FDP-Sehne wird bei Fixierung der Phalanx intermedia in Neutral-Null-Stellung der Patient aufgefordert, das Endgelenk zu beugen. Bei intakter Funktion des Muskels und der Beugesehne könnte das Endglied problemlos flektiert werden. Sollte die Beugung im DIP-Gelenk ausfallen, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Durchtrennung der tiefen Beugesehne vor. (Abb. 8a)

*M. flexor digitorum superficialis (FDS):*

Um eine Dysfunktion der FDP-Sehne festzustellen wird der Patient aufgefordert, den Finger im Mittelgelenk zu beugen, während der Untersucher die restlichen Finger in Streckstellung blockiert. Durch das Fixieren der restlichen Finger wird die Funktion der FDP-Sehne ausgeschaltet. Bei intakter Funktion wäre eine Beugung im MCP- und PIP-Gelenk festzustellen. Im Fall einer Ruptur würde diese fehlen. (Abb. 8b)

Wurden beide Sehnen bei einer Verletzung durchtrennt, kommt es zur kompletten aktiven Beugehemmung im MCP-, PIP- und DIP-Gelenk.



**Abbildung 8:** Funktionsprüfung der Beugesehnen. a) Die intakte Sehne des FDP beugt das DIP-Gelenk  
 b) Die unversehrte FDS-Sehne flektiert das PIP-Gelenk, während die Aktion des FDP durch Extension der übrigen Langfinger ausgeschaltet wird.

### 1.6.2 Anerkannte Evaluationskriterien nach Beugesehnenverletzung

In den letzten Jahrzehnten wurden mehrere Evaluationskriterien der Ergebnisse von Beugesehnennähten erarbeitet. Die meisten dieser Bewertungskriterien beinhalten vorwiegend die Gelenkbeweglichkeit der einzelnen Phalangealgelenke und die Kraftentwicklung im postoperativen Verlauf. Für die vorliegende Arbeit wurden 5 der klinisch eingesetzten Bewertungssysteme ausgewählt, bei der o.g. Kriterien wie Beweglichkeit, Kraftentwicklung und die Bewältigung von Alltagsaufgaben berücksichtigt werden.

**TAM (Total active motion):**

Der TAM-Score wurde durch *Kleinert und Verdan (1983) [54]* zur Bestimmung des Bewegungsumfangs im MCP, PIP und DIP Gelenk des betroffenen Fingers eingesetzt [Abb. 9]. Dabei werden die in Summe ermittelten Werte der Flexion im MCP, PIP und DIP Gelenk durch die Summe des Extensionsdefizites der jeweiligen Gelenke dividiert. Das daraus resultierende Ergebnis wird ins Verhältnis zum kontralateralen Finger gesetzt. Anhand des ermittelten Prozentsatzes werden die Ergebnisse in eine Gruppe von „Schlecht“ bis „Excellent“ eingeordnet.

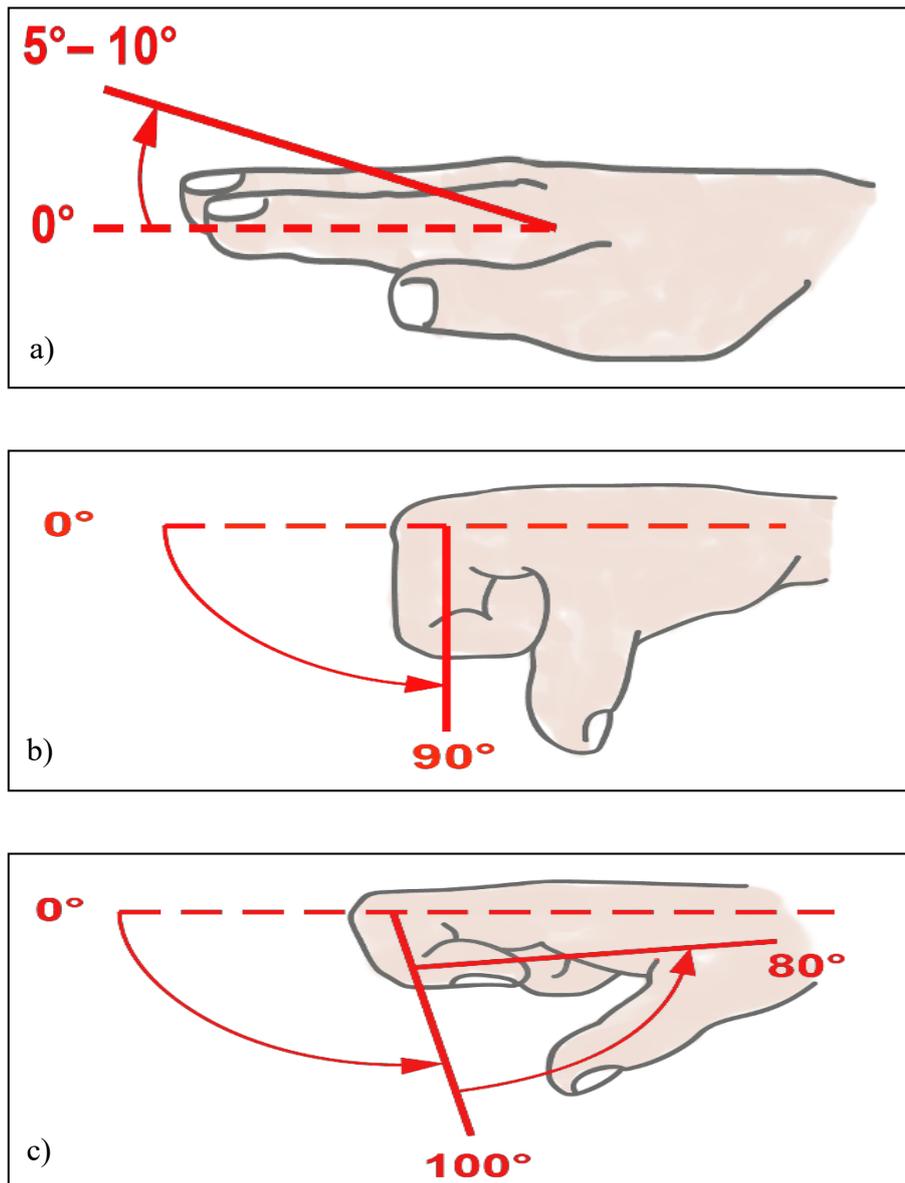
TAM = totale aktive Flexion – totales extensions Defizit (MCP, DIP, PIP)



$$\% = \frac{\text{TAM betroffener Finger}}{\text{TAM korrespondierender Finger}}$$

Ergebnis	Prozent der gesunden Seite
Schlecht	Schlechter als präoperativ
Mäßig	<50%
Befriedigend	>50%
Gut	>75%
Excellent	Entspricht gesunder Seite

**Tabelle 5** TAM-Score



**Abbildung 9:** a) Messung Extension im MCP-Gelenk, b) Messung Flexion im MCP-Gelenk, c) Messung Flexion im PIP- und DIP-Gelenk

### ***Strickland und Glogovac Score:***

1980 stellten *Strickland und Glogovac* [55] eine Abwandlung des TAM-Bewertungssystems vor. Dabei wird die Summe der aktiven Beugung im PIP und DIP des betroffenen Fingers im Verhältnis zum Referenzwert (175°) gesetzt. Im Gebrauch sind zwei unterschiedliche Variationen dieses Bewertungssystems (*original Strickland und adjusted Strickland Score*). Im Gegensatz zum TAM-Score wird kein Vergleich zur gesunden Seite ermittelt. Die Eingruppierung erfolgt auch hier anhand des erhaltenen Prozentsatzes in „Schlecht, Mäßig, Gut und Sehr gut“.

$$\text{Strickland} = \frac{\text{aktive Flexion PIP} + \text{DIP} - (\text{extensions Defizit PIP} + \text{DIP})}{175} \times 100$$

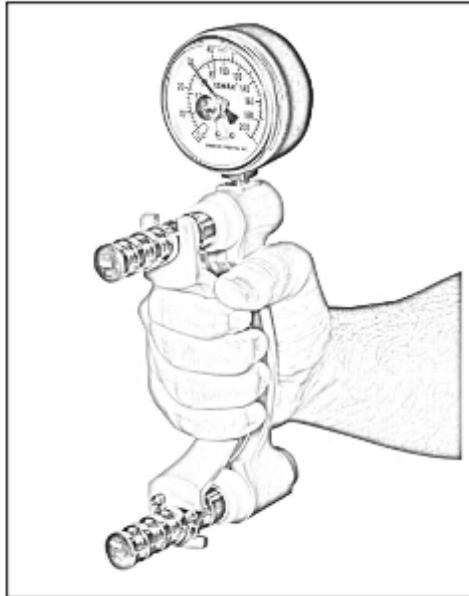
Funktionelle Rehabilitation (%) original Strickland	Funktionelle Rehabilitation (%) adjusted Strickland	Ergebnis
<50	<24	Schlecht
50-69	25-49	Mäßig
70-84	50-75	Gut
>85	>75	Sehr gut

**Tabelle 6:** original Strickland (OS) und adjusted Strickland (AS)

### ***JAMAR und Pinch-Gauge Dynamometer:***

Ein Dynamometer, auch bekannt als Klemmlehre, ist ein handgehaltenes medizinisches Gerät, das zum Messen der Griffstärke eines Patienten verwendet wird [Abb. 10]. Es dient zum einen der Bestimmung und Einstufung einer Handdysfunktion, zum Beispiel nach einem Trauma, oder einer Nervenverletzung und zum anderen der Beurteilung der Entwicklung eines Patienten während einer fortlaufenden Therapie und Behandlung. Vor allem wird es für die klinische Entscheidungsfindung und Ergebnisauswertung bei Erkrankungen des Karpaltunnels, Sehnen- und Nervenverletzungen der Hand und neuromuskulären Erkrankungen eingesetzt.

Das Jamar Dynamometer misst die Gesamtbeugekraft der Handmuskulatur in Kilogramm oder Pound. Der Funktionsmechanismus ist wie bei einer Zange, an der zwei Hebel zusammengedrückt werden. Die Griffweite ist variabel. Die betroffene Seite wird dabei ins Verhältnis zur gesunden gesetzt. Um eventuelle Defizite der nicht dominanten Hand zu berücksichtigen geht man davon aus, dass diese ca. 10% weniger Kraft aufwenden kann als die dominante Hand [3]. Am Untersuchungstag werden je 3 Messungen hintereinander durchgeführt und der Mittelwert bestimmt.



**Abbildung 10:** Jamar -Dynamometer

Die Funktionsweise des Pinch-Gauge-Systems beruht auf dem Spitzfingergriff. Dabei wird der betroffene Finger korrespondierend mit dem Daumen für den Test verwendet (Abb. 11). Hierbei wird wie bei dem Jamar Dynamometer die Kraft der Muskeln in Kilogramm oder Pound gemessen und ins Verhältnis zur korrespondierenden Seite gesetzt. Auch in diesem Fall findet die 10% Regel Anwendung. Auch hier werden am Untersuchungstag je 3 Messungen hintereinander durchgeführt und der Mittelwert bestimmt [3].



**Abbildung 11:** KEY-Pinch Dynamometer

### ***DASH-Score (Disabilities of arm, shoulder and the hand)***

Der DASH Score [56,57], oder auch die neue Kurzform „quick DASH“ [58] dient der Erfassung von Beschwerden und Problemen bei alltäglichen Aktivitäten, die durch Arm, Schulter oder Hand verursacht werden. Dabei spielt es keine Rolle, mit welcher Hand die Tätigkeit ausgeführt wird. Der ausführliche DASH-Score beinhaltet 30 Fragen zu Situationen im Alltag. Zusätzlich können noch zwei weitere Module (Sport-/Musikmodul und Arbeits-/Berufsmodul) a 4 Fragen mit einbezogen werden. Die Punktebewertungen lauten wie folgt:

1= Keine Schwierigkeiten / Stimme überhaupt nicht zu

2= Geringe Schwierigkeiten / Stimme nicht zu

3= Mäßige Schwierigkeiten / Weder Zustimmung noch Ablehnung,

4= Erhebliche Schwierigkeiten / Stimme zu

5= Nicht möglich / Stimme sehr zu

Um einen aussagekräftigen Wert zu erhalten, müssen 27/30 Fragen beantwortet werden. Die Gesamtpunktzahl kann mit Hilfe folgender Rechnung ermittelt werden.

$$DASH = \frac{\text{Rohwert der beantworteten Fragen} - 1}{\text{Anzahl der beantworteten Fragen} - 1} \times 25$$

$$Quick DASH = \frac{\text{Rohwert der beantworteten Fragen}}{\text{Anzahl der beantworteten Fragen} - 1} \times 2$$

Ein optimales Ergebnis liegt bei 0 Punkten, eine maximale Funktionseinschränkung beträgt 100 Punkte. Ein Ergebnis unter 20 Punkten wird in der Nachbehandlung als gutes bis sehr gutes Ergebnis gewertet.

Für die optionalen Anteile des Fragebogens nimmt man den summierten Rohwert der Fragen und berechnet die Gesamtpunktzahl mit folgender Formel:

$$\text{Wert des optionalen Moduls} = \frac{\text{Rohwert der beantworteten Fragen} - 4}{0.16}$$

## **1.7 Komplikationen nach Beugesehnennaht**

Nach Beugesehnenverletzungen können eine Vielzahl von Komplikationen auftreten. Dabei gehören Re-Rupturen in etwa 3-5% und Adhäsionen (Verklebungen) in ca. 2-6% der Fälle zu den häufigsten [59-61]. Die Re-Ruptur tritt gehäuft in den ersten 2-3 Wochen nach operativer Versorgung auf und führt zu einer erneuten Bewegungseinschränkung im jeweiligen Finger [62]. Ursache hierfür ist die bereits oben erwähnte Proliferationsphase, in der es zur Minderperfusion und Absterben von Gewebe kommen kann. Patienten, die eine Nahtraktur erleiden, können meist den genauen Zeitpunkt angeben. Eine erneute notfallmäßige Vorstellung und operative Versorgung des Patienten müssen zeitnah durchgeführt werden. Dabei sollte eine genaue Evaluation der Re-Ruptur erfolgen. Meist kann Sie auf eine hektische Bewegung, eine aktive Beugung oder eine zu frühe Belastung zurückgeführt werden. Bei Auftreten von Adhäsionen werden, je nach Fall, die Anzahl der ursprünglich angedachten Physio- und/oder Ergotherapie Sitzungen erhöht. Studien haben gezeigt, dass eine operative Tenolyse erst nach Ausschöpfung der konservativen Methoden und frühestens 6 Monate nach dem Primäreingriff durchgeführt werden sollte. [1]

## **1.8 Kontraindikation der primären Sehnennaht**

Kontraindikationen stellen vor allem Infektionen, stark infektionsgefährdete und verschmutzte Wunden oder sehr ausgedehnte Quetschverletzungen und Begleitverletzungen des Operations-Gebietes dar. Zudem sollte bei einer nicht spannungsfreien Naht, oder bei Begleitverletzungen wie instabilen Frakturen, die eine anschließende Mobilisation verhindern könnten, möglichst von einer Primärversorgung abgesehen werden [1]. Sollte eine Primärversorgung nicht möglich sein, so müsste im Verlauf eine Reevaluation der Dringlichkeit der Beugesehnennaht erfolgen. Sollte eine Sehnennaht erst nach 14 Tagen erfolgen, spricht man in diesem Fall von einer Sekundärnaht, welche jedoch zu schlechteren Ergebnissen mit geringerem Bewegungsausmaß führen kann [63]. Auch eine Sehnen transplantation kann je nach Fall indiziert sein [63].

## 1.9 Problematik

Bis heute stellen Beugesehnenverletzungen eine schwerwiegende Handverletzung dar. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Beugesehnenchirurgie und ihrer anschließenden Nachbehandlung wurden bisher einige gute Ergebnisse erzielt. Bis dato gibt es jedoch kein einheitlich anerkanntes System zur operativen Versorgung, Nachbehandlung und Beurteilung der Ergebnisse von Beugesehnenverletzungen. Dabei stellen besonders Verletzungen in der Zone 2 der Hand eine große Herausforderung an Operateur, die anschließende Nachbehandlung und die Compliance des Patienten dar. Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche Rekonstruktion einer Beugesehnenverletzung sind daher die genaue Kenntnis der Anatomie und Physiologie der Handmuskeln und Sehnen, die Beherrschung der Nahttechniken und die Einhaltung eines etablierten Nachbehandlungsalgorithmus.

Auch die Variation der Evaluationskriterien der Nachbehandlung spricht dafür, dass diesbezüglich bisher kein Konsens gefunden worden ist, um den kompletten Bewegungsumfang eines betroffenen Fingers richtig zu quantifizieren. Aussagen bezüglich eines „sehr guten, mäßigen oder schlechten Ergebnisses“ einer Studie, können aufgrund der unterschiedlich angewendeten Formeln (wie z.B. TAM-Score/ original-Strickland/ adjusted-Strickland) [54], nicht mit anderen Evaluationsstudien verglichen werden. Zusätzlich zu den hier bereits aufgeführten Unstimmigkeiten in der operativen Versorgung und der Nachbehandlung spielt die individuelle Compliance des Patienten bezüglich Mitarbeit während der Nachbehandlung und Einhaltung der Termine eine große Rolle.

## **1.10 Fragestellung**

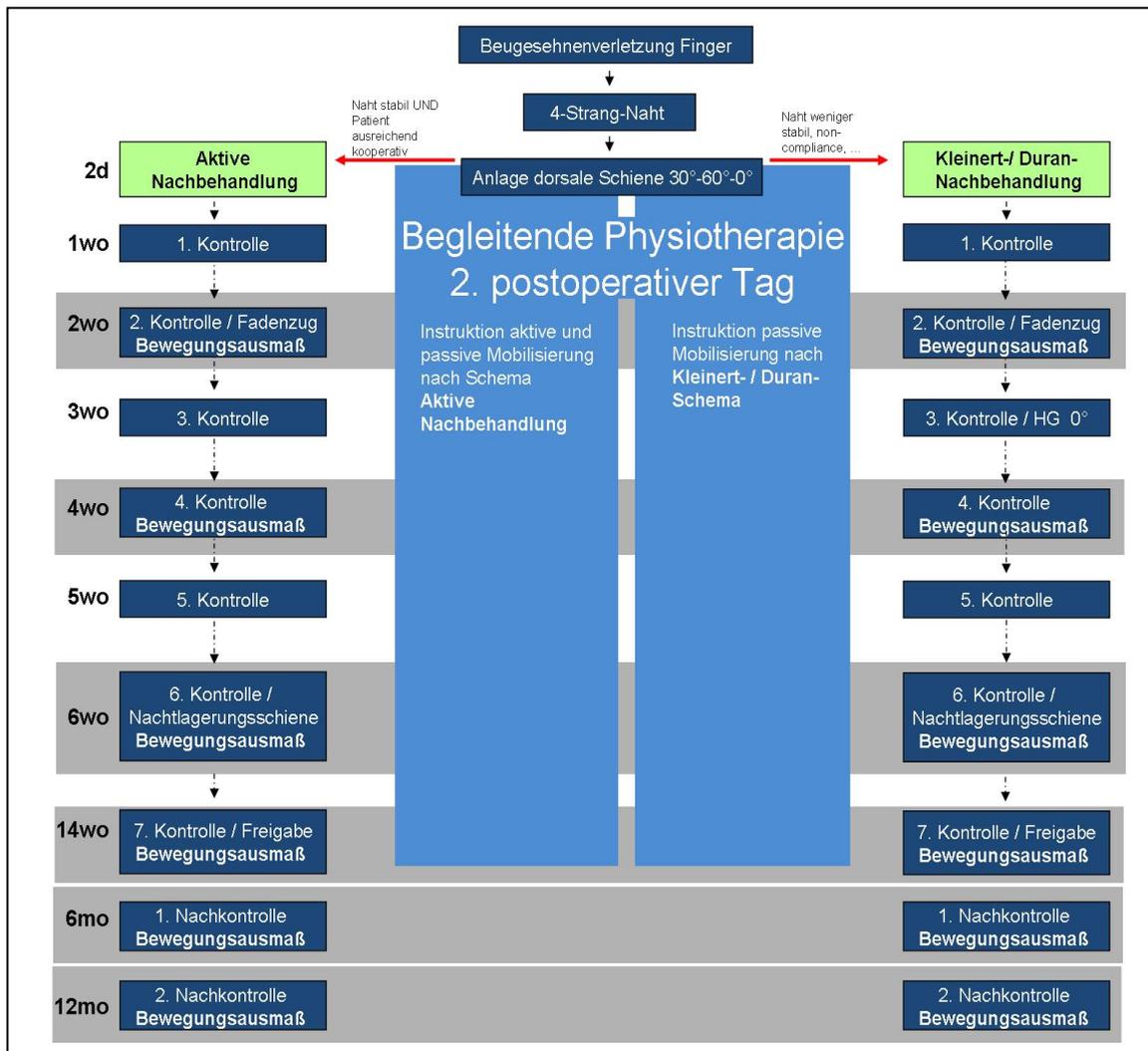
Ziel dieser Arbeit ist es, anhand des neu implementierten Behandlungsschemas die Ergebnisse eines Patientenkollektivs aus primär operierten Patienten mit einer Verletzung der Beugesehnen in der Zone II der Hand darzustellen. Dabei liegt der Focus auf der Operationstechnik mittels einer 4-Strang Kirchmayr-Kessler-Naht modifiziert nach Zechner [64], dem aktiven oder passiven Nachbehandlungsschema und der Verlaufsevaluation mittels Bewegungsausmaß, Kraftentwicklung und Beeinträchtigungen im Alltag. Anhand der klinischen Fälle soll eine Anwendbarkeit und Aussagekraft bezüglich des hier implementierten Behandlungsschemas aufgezeigt werden.

Zudem soll die durchgeführte Online-Umfrage Erkenntnisse über die in Deutschland angewendeten Methoden der Versorgung und Nachbehandlung aufzeigen und Aufschluss darüber geben, inwieweit hier etablierte Behandlungsschemata bereits integriert sind. Anhand dieser Ergebnisse können Vergleiche zwischen der Online-Umfrage und dem implementierten Behandlungsalgorithmus gezogen werden.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Klinisches Follow Up**

Auf Grundlage der bis 2012 entwickelten Nahttechniken, Nahtmaterialien und Nachbehandlungen implementierten wir an der Poliklinik der Ludwig-Maximilians-Universität unseren eigenen Behandlungsalgorithmus. Ziel war es, ein standardisiertes Verfahren zur Versorgung von Beugesehnenverletzungen zu etablieren [Abb. 12]. Hierbei zeigte sich die Nahttechnik nach Kirchmayr-Kessler modifiziert nach Zechner als eine gute, leicht durchführbare Methode. Zudem zeigte sich, wie bereits oben beschrieben, die Verwendung einer 4-Strang-Naht in den Ergebnissen der einer 2-Strang-Naht überlegen. Um eine noch höhere Gesamtstabilität zu erreichen, erfolgte nach der Kernnaht eine zirkuläre Adaptionnaht nach Silfverskjöld [53]. Anschließend an die operative Versorgung erfolgten regelmäßige Kontrolluntersuchungen zu bestimmten Zeitpunkten. Zudem hegten wir den Wunsch, Patienten durch die Stabilität nach 4-Strang-Naht und Feinadaptionnaht auch aktiv nachbehandeln zu können. In Deutschland besteht die Möglichkeit die Patienten nach operativer Versorgung zeitnah an eine Handtherapie anzubinden, welche sowohl von Ergo- als auch Physiotherapeuten durchgeführt werden kann.



**Abbildung 12:** Übersicht Behandlungsalgorithmus: Ausgangspunkt ist die Versorgung der durchtrennten Beugesehne mit einer 4-Strang Kirchmayr Kessler Naht modifiziert nach Zechner und der sich anschließenden aktiven oder passiven-dynamischen Nachbehandlung.

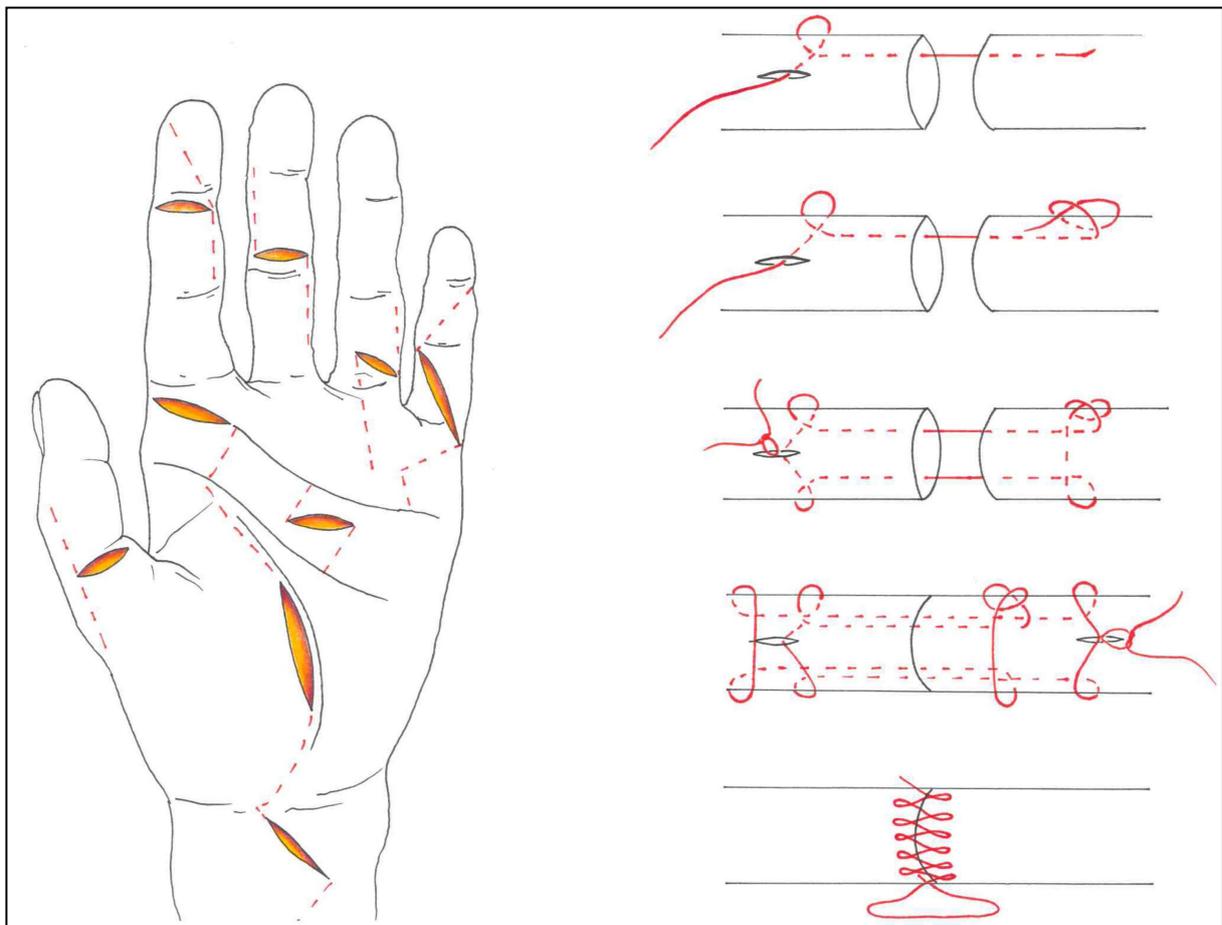
### 2.1.1 Operative Versorgung

Seit Einführung des Behandlungsalgorithmus im Jahre 2012 (Abb. 12) wurden bis einschließlich Juni 2016 53 Patienten mit Beugesehnenverletzungen in der Zone II der Hand versorgt. Einschlusskriterien für die Auswertung waren Patienten im Alter zwischen 16 und 75 Jahren zum Verletzungszeitpunkt, die eine glatte Schnitt-/Stichverletzung in der Zone II mit daraus resultierender vollständiger Durchtrennung der FDS, FDP oder beider Sehnen aufwiesen. Die Altersspanne wurde aufgrund von meist mangelnder Compliance im Alter von unter 16 Jahren und Bewegungseinschränkungen mit steigendem Lebensalter festgelegt [Geldmacher und Köckerling,1991].

Ausschlusskriterien waren Begleitverletzungen wie Knochenbrüche, große Weichteilgewebsverletzungen oder Gewebsverluste, Amputationen und vorbestehende Probleme, die eine natürliche Gelenkfunktion verhindern, wie zum Beispiel bei Nebendiagnosen wie Gicht oder Arthritis. Ausgeschlossen wurden auch alle Patienten, die eine Verletzung der Zone 2 des Daumens, oder nur eine teilweise Ruptur der tiefen oder oberflächlichen Beugesehne erlitten hatten. Die primäre Versorgung erfolgte im Durchschnitt nach 1,25 Tagen.

Insgesamt wurden 31 der 47 Patienten in das Follow-Up eingeschlossen, welche mittels einer 4-Strang Kernnaht nach Kirchmayr-Kessler modifiziert nach Zechner [64] und einer Feinadaptionsnaht versorgt worden waren (Abb. 13). 7 Patienten haben noch vor Beendigung der letzten Nachkontrolle das Follow-Up abgebrochen. Insgesamt haben 24 Patienten das Follow-Up absolviert. Das Patientenkollektiv bestand aus 16 männlichen und 8 weiblichen Personen. Der Altersdurchschnitt lag bei 36 Jahren, wobei die jüngste Patientin 17 und der älteste Patient 65 Jahre alt waren. Im Patientenkollektiv gab es 2 Linkshänder und 22 Rechtshänder. Keiner der Patienten wies Nebendiagnosen wie Diabetes mellitus oder Durchblutungsstörungen auf. Intraoperativ erhielten die Patienten entweder eine axilläre Leitungsanästhesie oder eine Vollnarkose. Falls nötig, wurde intraoperativ unter Blutleere die Hautinzision Z-förmig erweitert, um Sehnenstümpfe sowie Gefäßnervenbündel (GNB) besser darstellen zu können. Die Sehnenenden wurden jeweils mit einer Kanüle fixiert, um Spannungen im Bereich der Naht zu vermeiden. Nach erfolgreicher Darstellung folgte die Beugesehnennaht mittels modifizierter Kirchmayr-Kessler 4-Strangkernnaht nach Zechner [62] mit einem Ethibond Faden (geflochten, nicht resorbierbar) der Stärke 3-0 oder 4-0, sowie einer zirkulären Adaptionsnaht mit einem PDS Faden (monofil, langsam resorbierbar) der Stärke 5-0. Zudem folgte die Rekonstruktion von GNB und des 2. und 4. Ringbandes, wenn diese betroffen waren. Eine Wiederherstellung der synovialen Hülle wurde zusätzlich durchgeführt, um einen frühzeitigen Synovialfluss zu sichern. Nach Verschluss der Wunde wurde eine vorübergehende Gips-Schiene angelegt. In der Regel erhielten die Patienten am 1. oder 2. postoperativen Tag eine Kleinert-Schiene aus Niedertemperatur Thermoplast, welche vom

Orthopädietechniker maßgefertigt wurde. Insgesamt erfolgte bei 23 Patienten die passive Nachbehandlung mittels Kleinert-Schiene, nur bei Patient 21 erfolgte eine aktive Nachbehandlung. Patient 21 wies keine Begleitverletzungen auf, zudem hatte er nur eine singuläre Durchtrennung der FDP-Sehne und zeigte sich bei der Durchführung der Nachkontrollen und Handtherapie durchweg compliant. Zudem war Patient 21 mit nur 17 Jahren der jüngste.



**Abbildung 13 a-b:** a) Schnittführung bei Verletzungen in der Hand. b) KK - Vierstrangnaht modifiziert nach Zechner und anschließender Adaptionsnaht nach Silfverskjöld

## 2.1.2 Aktive Nachbehandlung

Bei übungsstabilen Sehnennähten folgte nach Anfertigung einer individuellen Lagerungsschiene die aktive Nachbehandlung nach folgendem Schema:

### 2. postoperativer Tag – Ende 3. Woche postoperativ:

#### *Handtherapie:*

Anfertigen einer dorsalen Unterarm- Handgelenk - Schiene mit Einschluss der Grund- und Mittelgelenke. Schienenbau mit 30° HG Flexion, Blockung der Grundgelenkextension bei 60° Flexion und Neutralstellung im Mittel- und Endgelenk.

#### *Physiotherapie in Eigenregie (nach Anleitung):*

- „Passive Flexion und aktives Halten“ aus der Schiene heraus: Passive volle Flexion der Fingergelenke unter Zuhilfenahme der gesunden Hand und 30° aktive Extension im HG. Aktives Halten der Finger und des HG in dieser Stellung der Gelenke für 5 sec. ohne jeglichen Kraftaufwand
- Entspannen der Muskulatur und aktive HG Flexion mit Extension der Finger bei simultaner passiver Flexion der Grundgelenke unter Zuhilfenahme der gesunden Hand
- Gesamtes Bewegungsmuster 10 x pro wache Stunde jeweils 10 Übungen

#### Ab 4. Woche postoperativ:

- Erreichen der oben beschriebenen Ausgangsposition aktiv: Aktiver kompletter Faustschluss ohne jeglichen Widerstand. Anschließend 30° HG Extension
- Entspannen der Muskulatur und aktive HG Flexion und Extension der Finger unter simultaner, passiver Flexion der Grundgelenke bei 45° unter Zuhilfenahme der gesunden Hand
- Aktive Mobilisation des HGs aus max. Flexion bis 30° Extension bei gleichzeitigem aktivem Faustschluss ohne jeglichen Widerstand

Ab 5. Woche postoperativ:

- voller aktiver Bewegungsumfang der Finger und des Handgelenks ohne Widerstand

Ab 6. Woche postoperativ:

- Tragen der Schiene nur noch zum Schutz während der Nachtruhe
- Einsetzen der Hand im Alltag bei leichten Tätigkeiten (z.B. Essen, Zähneputzen, Schreiben...)

Ab 7. Woche postoperativ:

- Beginn mit Übungen gegen zunehmenden, dosierten Führungswiderstand

Ab 8. Woche postoperativ:

- zunehmende Belastungssteigerung

Ab 12. Woche:

- uneingeschränkte Belastung

Ergänzende Maßnahmen:

*Handtherapie (nur durch Therapeuten):*

Ab erster Woche postoperativ aus der Schiene heraus passive Mobilisation der Fingergelenke unter konsequenter Entlastung im Handgelenk und den Grundgelenken zur Sicherung des Bewegungsumfanges. Mobilisation der Grundgelenke. Bei der Grundgelenkextension werden Mittel- und Endgelenk in Flexion gehalten. Bei Mobilisation des Handgelenkes darf die Extension bis 30° erfolgen, wenn alle Fingergelenke in maximaler Flexion gehalten werden.

*prophylaktische Maßnahmen:*

- Hochlagern zur Abschwellung, äußerliche Kälteanwendungen
- 3 x tgl.: Unterarm-Umwende Bewegung
- 3 x tgl.: Ellenbogenmobilisation

- 3 x tgl.: Schultergelenkmobilisation jeweils ohne Einschränkungen

#### *Ambulanter Kontroll-Rhythmus:*

Ende der 2., 4., 6., 8., 10., 12., 26. und 52. Woche postoperativ in der Ambulanz. Ermittlung von TAM-Score (Total active motion) und Strickland-Score nach jeweils der 6., 12., 26. und 52. Woche. Zusätzlich Feststellung der Grobkraft mittels JAMAR und KEY-Pinch im Verhältnis zur Gegenseite nach der 26. und 52. Woche. Erhebung des DASH-Score (DASH: Disability of arm, shoulder and the hand) sowohl präoperativ, als auch nach 6 und 12 Monaten postoperativ.

### **2.1.3 Passiv dynamische Nachbehandlung**

Die Gefahr der Sehnenruptur ist nicht nur in der ersten Woche aufgrund der verringerten Durchblutung, sondern bis Ende der 6. Woche erhöht. Daher ist bei nicht übungsstabilen Rekonstruktionen ab dem 2. postoperativen Tag die frühfunktionelle Mobilisation der Sehne durch dynamische Flexion mit einem Zügel und aktive Extension in einer dynamischen Flexionsschiene nach folgendem Schema durchzuführen:

#### 2. postoperativer Tag – Ende 2. Woche postoperativ:

##### *Handtherapie:*

Anfertigen einer dorsalen Unterarm-Handgelenk-Schiene mit Einschluss der Grund- und Mittelgelenke. Schienenbau mit 30° HG Flexion, Blockung der Grundgelenkextension bei 60° Flexion und Neutralstellung im Mittel- und Endgelenk. Zur dynamischen Flexionsschiene wird ein Haken am Fingernagel festgeklebt und ein Zügel mit Zugrichtung zum palmaren Kahnbeinpol angebracht. Der Zug entsteht durch Verwendung einer Feder und eines gut gleitenden monofilen Zugfadens. Die Spannung wird so eingestellt, dass Grund, Mittel- und Endgelenke in optimale Flexion gezogen werden und die Mittel-/Endgelenk-Extension ohne Kraftaufwand bis zur Schienenbegrenzung möglich ist.

*Handtherapie* in der Übungsschiene in Eigenregie nach Anleitung:

- passive Flexion durch Zügelung des betroffenen Fingers
- aktive Extension der Grund-, Mittel- und Endgelenke ohne Widerstand bis zur dorsalen Schienenbegrenzung. Halten der Gelenkstellung für 5 sec.
- Entspannen der Muskulatur und erneute passive, dynamische Flexion durch Zügelung
- Wiederholen der Übungen 20-30x pro wache Stunde
- Prophylaxe von Mittelgelenks-Kontrakturen (s. ergänzende Maßnahmen)

Ab 3. bis Ende 4. Woche postoperativ:

- unverändertes Übungsprogramm
- Überprüfen des Schienensitzes und der Federspannung
- Fadenentfernung

Ab 5. bis Ende 6. Woche postoperativ:

- Aufrichten der Schiene aus der Flexion in Neutralstellung des HG
- Beginn mit assistierter aktiver Flexion ohne jeglichen Widerstand aus der Schiene heraus unter Anleitung

- Unverändertes Übungsprogramm Ab 7. Woche postoperativ:

- Tragen der Schiene nur noch während der Nachtruhe
- Aktive Flexion mit leichtem Führungswiderstand
- Ggf. Anfertigen einer dynamischen Extensionsschiene bei Mittelgelenkskontrakturen
- Einsetzen der Hand bei leichten Tätigkeiten im Alltag (z.B. Schreiben, Essen, Zähneputzen)

Ab 8. Woche postoperativ:

- Erhöhen des Führungswiderstandes und dosiertes Gleiten der Beugesehne

### Ab 9. Bis Ende 11. Woche postoperativ:

- stufenweises Erhöhen des Widerstandes
- volle Belastbarkeit erst ab 12. Woche postoperativ

### Ergänzende Maßnahmen:

*Handtherapie* (nur durch Therapeuten): Ab erster Woche postoperativ aus der Schiene heraus passive Mobilisation der Fingergelenke (nach Duran und Houser) unter konsequenter Entlastung im Handgelenk und den Grundgelenken zur Sicherung des Bewegungsumfanges. Passive Mobilisation der Grundgelenke. Bei der Grundgelenkextension werden Mittel- und Endgelenk in Flexion gehalten. Bei Mobilisation des Handgelenkes darf die Extension bis 30° erfolgen, wenn alle Fingergelenke in maximaler Flexion gehalten werden.

### *prophylaktische Maßnahmen:*

- Hochlagern zur Abschwellung, äußerliche Kälteanwendungen
- 3 x tgl.: Unterarm-Umwende Bewegung
- 3 x tgl.: Ellenbogenmobilisation
- 3 x tgl.: Schultergelenkmobilisation jeweils ohne Einschränkungen

### *Ambulanter Kontroll-Rhythmus:*

Ende der 2., 4., 6., 8., 10., 12., 26. und 52. Woche postoperativ in der Ambulanz. Ermittlung von TAM-Score (Total active motion) und Strickland-Score nach jeweils der 6., 12., 26. und 52. Woche. Zusätzlich Feststellung der Grobkraft mittels JAMAR und KEY-Pinch im Verhältnis zur Gegenseite nach der 26. und 52. Woche. Erhebung des DASH-Score (DASH: Disabilities of arm, shoulder and the hand) sowohl präoperativ als auch nach 6 und 12 Monaten postoperativ.

### **2.1.4 Statistische Auswertung der TAM**

Die statistische Analyse der in dieser Arbeit erhobenen Bewegungsausmaße nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und bei Abschluss, erfolgte mit Microsoft Excel und SPSS für MAC.

Um einen genaueren Vergleich ziehen zu können, erfolgte neben der Messung des Bewegungsausmaßes die Berechnung von Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD), sowie die Angabe von Minimum- und Maximum Werten.

Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Nachkontrollen wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson ( $r$ ) berechnet (SACHS, 2002).

*Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) bis 0,1 = kleiner Effekt*

*Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) bis 0,3 = mittlerer Effekt*

*Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) bis 0,5 = großer Effekt*

Generell wurde das Signifikanzniveau unter 5 % ( $p < 0,05$ ) als statistisch signifikant und unter 0,1 % ( $p < 0,001$ ) als statistisch hoch signifikant gewertet.

## **2.2 Material und Methoden Online Umfrage**

Um parallel zur Auswertung unserer klinischen Daten Informationen darüber zu erhalten, was die aktuelle Versorgungsrealität von Beugesehnen Verletzungen in der Zone II der Hand in Deutschland ist, führten wir eine Online Umfrage durch. Nach Erstellung des online Fragebogens wurde die Ärzteschaft der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie (DGH) mittels des E-Mail-Verteilers der DGH angeschrieben. Die E-Mail beinhaltete einen Link zu einer Plattform für Onlineumfragen (Q-Set.de). Darüber hinaus hängten wir im Rahmen des DGH

Kongresses ein Schreiben mit QR Code aus. Durch das Scannen des Codes gelangten die Teilnehmer automatisch auf die Seite des Online Fragebogens. Die Ärzte konnten dort den Online Fragebogen (Anhang 3) mit 13 zumeist standardisierten, geschlossenen Fragen und vorgegebenen Antwortmöglichkeiten ausfüllen. Bei einigen Fragen konnte bei Abweichungen von den aufgeführten Antwortmöglichkeiten ein Freitext eingegeben werden. Die Umfrage erfolgte anonymisiert. Die Fragen befassten sich zum einen mit der Nahttechnik und Anzahl der verwendeten Stränge (Frage 1), dem Nahtmaterial (Frage 2), zum anderen mit dem verwendeten Nahtmaterial für die Feinadapionsnaht (Frage 3). Antwortmöglichkeiten waren hierbei die Techniken nach Kirchmayr-Kessler (oder Modifikation), nach Tsuge, nach Savage oder Tajima [6], die Stranganzahl und die Resorbierbarkeit und Struktur (monofil/geflochten) der verwendeten Fäden. Des Weiteren standen im Focus die Fragen nach Nachbehandlungsschema und Dauer der ambulanten Behandlung, Nachbehandlung (Fragen 4, 5), ob eine Kooperation mit einer Praxis für Physiotherapie oder Ergotherapie besteht, und wie oft diese angewendet wird (Fragen 6, 7, 8). Weitere Fragen waren z.B. die Anzahl der postoperativen ärztlichen Kontrollen, welche die Teilnehmer für sinnvoll erachten, und wie oft tatsächlich eine solche Kontrolle durchgeführt wird (Fragen 9, 10). Bei einer Diskrepanz zwischen diesen beiden Fragen sollten die Teilnehmer die Gründe angeben. Zur Auswahl standen „die Vergütungssituationen von privaten und gesetzlichen Krankenkassen oder Zeitmangel“. Bei anderen Gründen konnte ein Freitext eingegeben werden (Frage 11). Zum Abschluss wurden die Teilnehmer befragt, ob eine abschließende Qualitätskontrolle im Rahmen der Nachbehandlung durchgeführt wird und in welcher Abteilung und Institution sie tätig sind. (Fragen 12, 13) Die Auswertung der Fragebögen erfolgte online. Dabei konnte jeder Fragebogen für sich betrachtet werden, um Kombinationen zum Beispiel von Nahttechnik und Strangzahlen aufzuführen. Die statistische Auswertung und die Erstellung der Grafiken erfolgte mit Hilfe der Programme Excel, SPSS und Word.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Klinisches Follow-Up**

Die Behandlungsdauer betrug im Schnitt  $1 \frac{1}{4}$  Jahre. Bei 2 Patienten konnte erst ca. 2 Jahre postoperativ die Abschlussuntersuchung durchgeführt werden. Das Durchschnittsalter lag am Tag der Operation bei 36 Jahren (jüngste Patientin: 17 Jahre, ältester Patient: 65 Jahre). 9 Patienten wiesen eine Verletzung der rechten und 15 Patienten der linken Hand auf. In allen Fällen lag ein Trauma durch eine Schnitt- (22 Fälle) oder Stichverletzung (2 Fälle) vor. Verletzungen in der Zone 2 des kleinen Fingers (D5) waren mit 42% (10 Patienten) am häufigsten, gefolgt von dem Mittelfinger (D3, 6 Patienten, 25%), dem Zeigefinger (D2, 5 Patienten, 21%) und dem Ringfinger (D4, 3 Patienten, 12%). 5 Patienten wiesen eine Verletzung sowohl der FDP-Sehne als auch der FDS-Sehen auf. Die restlichen Patienten erlitten lediglich eine Verletzung der FDP-Sehne. 9 der 24 Patienten erlitten Begleitverletzungen des Gefäß-Nerven-Bündels [Tab. 7]. Dabei zeigten sich die meisten (6 von 9) Begleitverletzungen am kleinen Finger. Läsionen von Nerven gingen in 83% (5/6 Fälle) mit Läsionen der gleichnamigen Arterie einher [Tab. 7]. 3 Patienten erlitten neben der Beugesehnenverletzung auch eine Verletzung einer einzelnen Arterie. Tabelle 3 zeigt den Zusammenhang von Patienten, betroffener Seite und Verletzungsmuster. Insgesamt konnte einer der 24 Patienten eine aktive Nachbehandlung beginnen (Patient 21), die restlichen Patienten wurden mittels eines passiv-dynamischen Schemas nachbehandelt. Insgesamt versäumten 5 Patienten jeweils einen der vier Kontrolltermine.

Damit die Patienten unter vergleichbaren Bedingungen untersucht werden konnten, nahmen alle Patienten eine ähnliche Haltung ein: sitzende Position, Schulter in neutraler Position (Adduktion und nicht außen-/innenrotiert), Ellenbogen in 90° Flexion und die Hand wurde auf einer festen Unterlage aufgelegt. Anhang 1 zeigt alle gemessenen Bewegungsausmaße von MCP, PIP und DIP Gelenk.

Patient Nr.	Geschlecht	Alter am Tag der Operation	Betroffener Finger	Seite	Sehne	Begleitverletzungen
1	m	65	D3	links	FDP/FDS	N5, N6
2	m	43	D5	links	FDP	keine
3	m	46	D2	links	FDP/FDS	keine
4	m	57	D5	links	FDP	A9/N9
5	m	23	D2	links	FDP	keine
6	m	25	D3	rechts	FDP	keine
7	m	28	D4	links	FDP	keine
8	m	61	D3	links	FDP	keine
9	m	22	D5	rechts	FDP/FDS	A9/N9 A10/N10
10	m	18	D5	links	FDP	keine
11	m	43	D5	rechts	FDP	keine
12	m	50	D2	links	FDP	keine
13	m	36	D2	links	FDP	keine
14	m	16	D3	rechts	FDP/FDS	keine
15	w	26	D5	rechts	FDP	A10
16	m	37	D2	links	FDP	N3
17	w	33	D5	rechts	FDP	keine
18	w	34	D3	links	FDP	keine
19	w	33	D5	links	FDP	A10/N10
20	w	59	D5	rechts	FDP	A10
21	w	17	D5	links	FDP	keine
22	m	23	D4	rechts	FDP/FDS	keine
23	w	46	D4	links	FDP	A8/N8
24	w	21	D3	rechts	FDP	A6

**Tabelle 7:** Zusammenfassung der Patienten in Geschlecht, Alter, betroffene Seite/ Finger/ Sehne und Begleitverletzungen.

### 3.1.1 Bewertungssystem nach TAM und TAM-Score

Die „totale aktive Bewegung (TAM)“ und der „TAM-Score“ wurden im Rahmen der Check-Up Termine nach jeweils 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und im Rahmen der Abschlussuntersuchung ermittelt. Der TAM-Wert ( $^{\circ}\text{MCP} + ^{\circ}\text{DIP} + ^{\circ}\text{PIP}$ ) für die gesunde Seite lag durchschnittlich bei einem Bewegungsumfang von  $270^{\circ}$  (niedrigster Wert:  $215^{\circ}$  bei Patient Nr. 12; höchster Wert:  $295^{\circ}$  bei Patient Nr. 5) und dient damit als Ausgangswert zur Ermittlung des TAM-Bewertungssystems.

#### ***Erste Messung nach 6 Wochen: (n=23 Patienten)***

Die TAM der betroffenen Seite wies bei 9 von 23 Patienten einen Wert über 75% im Verhältnis zur Gegenseite auf. Das Bewegungsausmaß lag in diesem Fall bei  $\varnothing 180^{\circ}$  (niedrigster Wert  $85^{\circ}$  bei Patient NR. 1; höchster Wert  $260^{\circ}$  bei Patient Nr. 15) (Tab. 10a). Im Rahmen des TAM Bewertungssystems ergaben sich dabei 9

„gute“ (TAM > 75%), 12 „befriedigende“ (TAM > 50%) und 2 „mäßige“ (TAM < 50%) Bewertungen [Abb. 14]. Eine genaue Aufteilung zeigt Tabelle 9b. Patient 21 erlangte hier mit einer TAM von 190 und damit 75% der Gegenseite bereits „gute“ Ergebnisse.

### ***Kontrolle nach 3 Monate: (n=21 Patienten)***

Die zweite Messung ergab einen durchschnittlichen TAM-Wert der erkrankten Seite von 214° (entspricht 79% der Gegenseite, niedrigster Wert 130° bei Patient Nr. 20; höchster Wert 270° bei Patient Nr. 15) (Tabelle 10b) mit einer Verbesserung um 34° im Vergleich zur Voruntersuchung [Abb. 14]. Nach dem TAM-Bewertungssystem erreichten 13 Patienten „gute“, 7 Patienten „befriedigende“ und 1 Patient „mäßige“ Ergebnisse. Eine genaue Aufteilung zeigt Tabelle 9b. Auch hier zeigte sich eine Verbesserung der TAM von 75% auf 82% der Gegenseite bei Patient 21.

### ***Kontrolle nach 6 Monaten: (n=23 Patienten)***

Die Kontrolluntersuchungen nach einem halben Jahr zeigten weitere Verbesserungen des Bewegungsumfangs der verletzten Seite. Im Mittel erreichten die Patienten eine TAM von 229° (+15° im Vergleich zum Vorwert, niedrigster Wert 150° bei Patient Nr. 20; höchster Wert 275° bei Patient Nr. 15) (Tab. 10c), was einem Verhältnis zur Gegenseite von 85% entspricht [Abb. 14]. 3 Patienten erreichten oder übertrafen zu diesem Zeitpunkt ihren Normwert (angenommen wurde der Wert der gesunden Gegenseite). 15 Patienten erlangten „gute“ Ergebnisse, wobei der Großteil (9/15 Patienten) bei Werten über 90% lag. 4 Patienten erlangten „befriedigende“ und 1 Patient „mäßige“ Ergebnisse. Eine genaue Aufteilung zeigt Tabelle 10c. Bereits nach 3 Monaten erreicht Patient Nr. 21 den gleichen Bewegungsumfang im Verhältnis zur gesunden Seite.

### ***Abschlusskontrolle (n=24 Patienten)***

Die Abschlusskontrolle konnte bei allen Patienten durchgeführt werden. Im Durchschnitt erreichten die Patienten eine TAM von 246° (niedrigster Wert 165° bei Patient Nr. 20; höchster Wert 295° bei Patient Nr. 5) (Tab. 10d), was 91% der

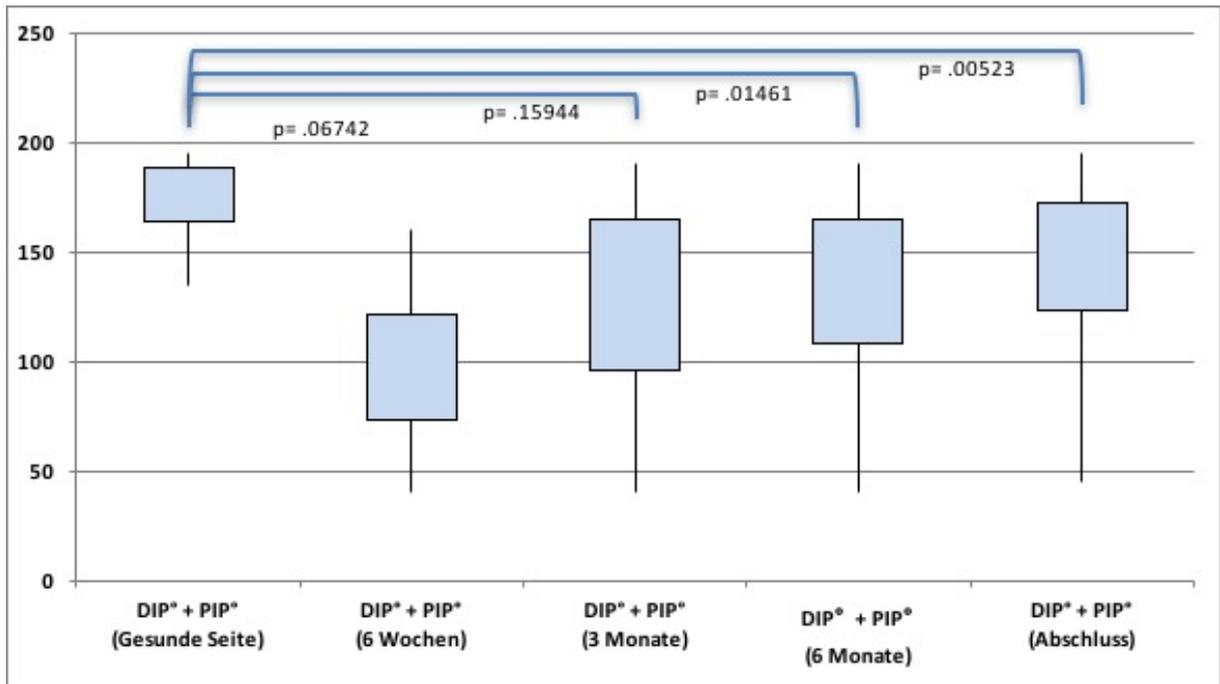
Gegenseite entspricht. Hier zeigte sich eine Verbesserung des Patientenkollektivs um plus 6% [Abb. 14]. 17 der 24 Patienten wiesen einen Bewegungsumfang von mehr als 90° im Vergleich zur Gegenseite auf. Insgesamt erreichten 5 Patienten „exzellente“ und 16 Patienten „gute“ Werte. Die restlichen drei Patienten erlangten mäßige bis befriedigende Ergebnisse. Eine genaue Aufteilung zeigt Tabelle 10d.

	Mittelwert (MW)	Standardabweichung (SA)	Max-Wert	Min-Wert	Pearson-Korrelation r=	P-Wert p=
Gesunde Seite	270°	± 19°	295°	215°		
TAM nach 6 Wochen	180°	± 41°	260°	85°	0.49890	.01538
TAM nach 3 Monate	208°	± 38°	265°	130°	0.31964	.15781
TAM nach 6 Monate	229°	± 44°	295°	120°	0.53228	.00885
TAM bei Abschluss	243°	± 41°	295°	125°	0.58081	.00292

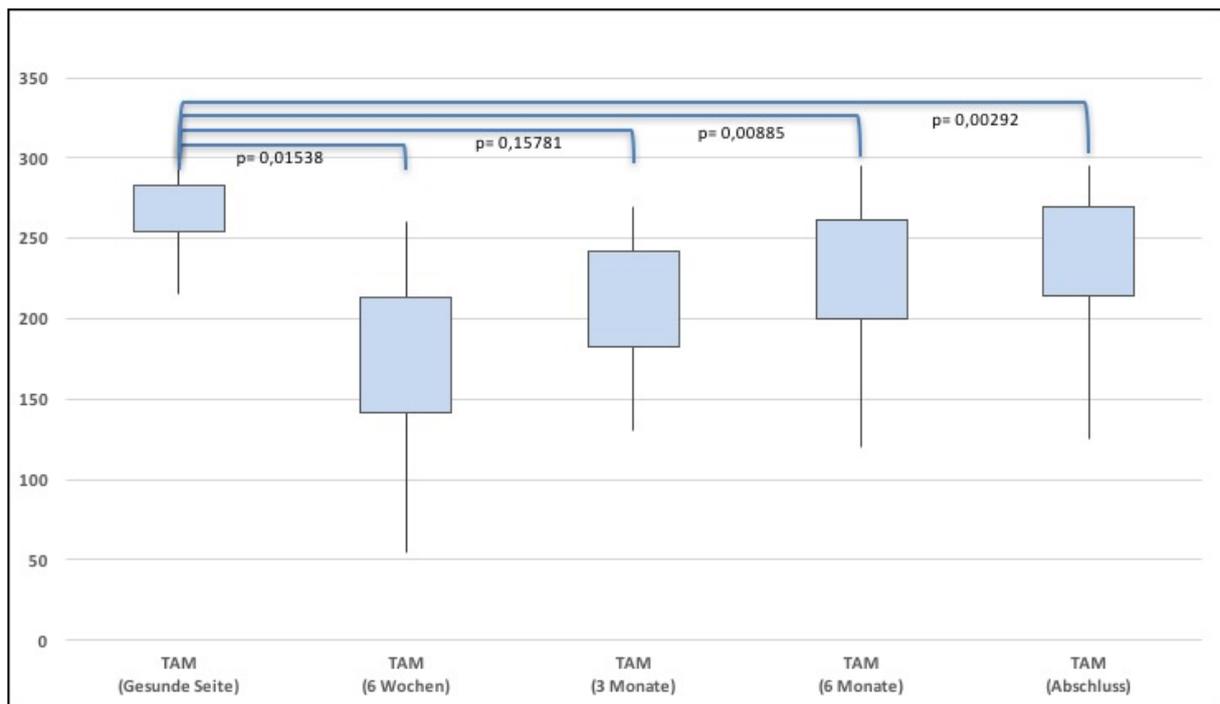
**Tabelle 8:** Statistische Analyse des Bewegungsausmaßes TAM nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und bei Abschluss, unter Angabe des Mittelwerts, der Standardabweichung, des maximalen und minimalen Bewegungsausmaßes, der Pearson Korrelation (r) und der statistischen Signifikanz (p)

	Mittelwert (MW)	Standardabweichung (SA)	Max-Wert	Min-Wert	Pearson-Korrelation	P-Wert
PIP° + DIP° Gesunde Seite	175°	± 15°	190°	135		
PIP° + DIP° Nach 6 Wochen	94°	± 33°	160°	40	0,38788	.06742
PIP° + DIP° 3 Monate	117°	± 36°	180°	55	0,31846	.15944
PIP° + DIP° 6 Monate	136°	± 40°	180°	40	0,50221	.01461
PIP° + DIP° Abschluss	148°	± 36°	185°	45	0,55137	.00523

**Tabelle 9:** Statistische Analyse des Bewegungsausmaßes PIP° + DIP° nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und bei Abschluss, unter Angabe des Mittelwerts, der Standardabweichung, des maximalen und minimalen Bewegungsausmaßes, der Pearson Korrelation (r) und der statistischen Signifikanz (p)



**Abbildung 14:** Entwicklung des Bewegungsausmaßes der erkrankten Seite im PIP+DIP Gelenk im Verlauf der Nachkontrolle im Verhältnis zur gesunden Seite inkl. Darstellung der Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanz, p)



**Abbildung 15:** Entwicklung der Total aktive Motion (TAM= Bewegungsausmaß MCP + DIP + PIP Gelenk) im Verlauf der Nachkontrollen inkl. Darstellung der Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanz, p)

a)

Patient Nr.	TAM Gesunde Seite	TAM nach 6 Wochen	% Anteil der Gegenseite	Score
1	240	85	35%	mäßig
2	255	195	76%	gut
3	280	150	53%	befriedigend
4	255	170	67%	befriedigend
5	295	260	88%	gut
6	280	215	77%	gut
7	270	170	62%	befriedigend
8	260	205	79%	gut
9	280	145	52%	befriedigend
10	280	185	66%	befriedigend
11	245	120	49%	mäßig
12	215	175	81%	gut
13	260	180	69%	befriedigend
14	265	140	52%	befriedigend
15	285	245	88%	gut
16	285	155	54%	befriedigend
17	290	210	72%	befriedigend
18	275	230	83%	gut
19	290	230	79%	gut
20	275	/	/	/
21	255	190	75%	gut
22	265	150	56%	befriedigend
23	290	175	60%	befriedigend
24	265	170	64%	befriedigend

b)

Patient Nr.	TAM Gesunde Seite	TAM nach 3 Monaten	% Anteil der Gegenseite	Score
1	240	140	58%	befriedigend
2	255	245	96%	gut
3	280	185	67%	befriedigend
4	255	185	73%	befriedigend
5	295	/	/	/
6	280	245	88%	gut
7	270	210	78%	gut
8	260	230	88%	gut
9	280	185	66%	befriedigend
10	280	265	95%	gut
11	245	/	/	/
12	215	205	95%	gut
13	260	/	/	/
14	265	155	59%	befriedigend
15	285	270	95%	gut
16	285	205	72%	befriedigend
17	290	230	79%	gut
18	275	240	87%	gut
19	290	220	76%	gut
20	275	130	47%	mäßig
21	255	210	82%	gut
22	265	180	68%	befriedigend
23	290	235	81%	gut
24	265	215	79%	gut

c)

Patient Nr.	TAM Gesunde Seite	TAM nach 6 Monaten	% Anteil der Gegenseite	Score
1	240	165	68%	befriedigend
2	255	250	98%	gut
3	280	230	82%	gut
4	255	245	96%	gut
5	295	295	100%	Exzellente
6	280	260	92%	gut
7	270	230	85%	gut
8	260	/	/	/
9	280	265	94%	gut
10	280	265	95%	gut
11	245	120	49%	mäßig
12	215	215	100%	exzellente
13	260	200	77%	gut
14	265	165	62%	befriedigend
15	285	275	97%	gut
16	285	245	88%	gut
17	290	250	86%	gut
18	275	245	89%	gut
19	290	260	90%	gut
20	275	150	54%	befriedigend
21	255	255	100%	exzellente
22	265	195	74%	befriedigend
23	290	250	86%	gut
24	265	250	94%	gut

d)

Patient Nr.	TAM Gesunde Seite	TAM bei Abschluss	% Anteil der Gegenseite	Score
1	240	180	75%	Gut
2	255	250	98%	befriedigend
3	280	230	82%	gut
4	255	250	98%	gut
5	295	295	100%	exzellente
6	280	285	102%	exzellente
7	270	240	89%	gut
8	260	250	96%	gut
9	280	265	94%	gut
10	280	275	98%	gut
11	245	125	51%	mäßig
12	215	225	105%	Exzellente
13	260	205	78%	gut
14	265	240	90%	gut
15	285	280	98%	gut
16	285	260	91%	gut
17	290	260	90%	gut
18	275	260	95%	gut
19	290	295	102%	exzellente
20	275	165	60%	mäßig
21	255	255	100%	exzellente
22	265	215	81%	gut
23	290	265	91%	gut
24	265	250	94%	gut

Tabelle 10 a-d: TAM und TAM-Score a) nach 6 Wochen, b) 3 Monaten c) nach 6 Monaten, d) bei Abschluss

### **3.1.2 Bewertungssystem nach Strickland**

Im Rahmen der Kontrolltermine nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und bei der Abschlusskontrolle wurden auf Grundlage der gemessenen TAM das Bewegungsausmaß für das PIP- und DIP Gelenk summiert und im Verhältnis zu dem standardisierten Wert gesetzt (175°).

#### ***Erste Messung nach 6 Wochen: (n=23 Patienten)***

Der durchschnittliche Bewegungsumfang des PIP- und DIP-Gelenks am betroffenen Finger ergab einen Wert von 98° (niedrigster Wert: 40° bei Patient Nr. 1; Höchster Wert: 160° bei Patient Nr. 15), welcher im Vergleich zum Normwert (standardisierter Wert von 175°) ein Bewegungsausmaß von 54% darstellt. Dabei erreichten im Rahmen des Strickland Bewertungssystems 2 Patienten eine Einstufung in die Gruppe „excellent“. 4 Patienten wurden als „gut“, 5 Patienten als „mäßig“ und 12 Patienten als „schlecht“ eingestuft. Im Vergleich zum Strickland-Score, erreichten die Patienten im „adjusted Strickland“ deutlich bessere Einstufungen. Dabei schlossen 3 Patienten mit „excellent“, 8 Patienten mit „gut“, 10 Patienten mit „mäßig“ und der Rest der Patienten mit „schlecht“ ab. Tabelle 11a zeigt eine genaue Aufteilung.

#### ***Kontrolle nach 3 Monate: (n=21 Patienten)***

Die zweite Messung ergab ein Bewegungsausmaß von PIP°+DIP° der erkrankten Seite von durchschnittlich 117° (entspricht 67% der Gegenseite (niedrigster Wert 55° bei Patient Nr. 20; höchster Wert 180° bei Patient Nr. 15) mit einer Verbesserung um 19° im Vergleich zur Voruntersuchung (Abb. 15). Nach dem Strickland-Bewertungssystem erreichten 4 Patienten „excellente“, 6 Patienten „gute“, 8 Patient „mäßige“ und 3 Patienten „schlechte“ Ergebnisse. Die Auswertungen im Rahmen des „adjusted Strickland“ Bewertungsprofils lieferten bessere Ergebnisse. 7 Patienten wiesen bereits „excellente“, 10 Patienten „gute“, und 4 Patienten mäßige Werte auf. Eine genaue Aufteilung zeigt Tabelle 11b.

### ***Kontrolle nach 6 Monate: (n=23 Patienten)***

Die Kontrolluntersuchungen nach einem halben Jahr zeigten eine Verbesserung des Bewegungsumfangs der verletzten Seite. Im Mittel erreichten die Patienten eine TAM des PIP + DIP Gelenks von 136° (+19° im Vergleich zum Vorwert, niedrigster Wert 40° bei Patient Nr. 11; höchster Wert 190° bei Patient Nr. 5), was einem Verhältnis zur Gegenseite von 77% entspricht. 3 Patienten erreichten oder übertrafen zu diesem Zeitpunkt den Normwert (statistischer Normwert von 175°). 12 Patienten erlangten im Rahmen des Strickland-Score nach 6 Monaten „excellente“ Ergebnisse, wobei der Großteil (8/12 Patienten) bei Werten über 90% im Verhältnis zur gesunden Seite lag. Von dem restlichem Patientenkollektiv erlangten 5 Patienten „gute“, 3 Patienten „mäßige“ und 3 Patienten „schlechte“ Ergebnisse. Die Auswertungen des angepassten Strickland Bewertungssystems zeigten auch hier eine Besserungstendenz (Abb. 15). Dabei erzielten 16 der 24 Patienten „excellente“, 3 Patienten „gute“, 3 Patienten „mäßige“ und ein Patient „schlechte“ Werte. Eine genaue Aufteilung zeigt Tabelle 11c.

### ***Abschlusskontrolle (n=24 Patienten)***

In der Abschlusskontrolle erreichte das Patientenkollektiv ein durchschnittliches Bewegungsausmaß von 148° (niedrigster Wert 45° bei Patient Nr. 11; höchster Wert 195° bei Patient Nr. 6), was 84% der Gegenseite entspricht. Hier zeigte sich eine Verbesserung des Patientenkollektivs um plus 7% (Abb. 15). 11 der 24 Patienten wiesen einen Bewegungsumfang von mehr als 90% im Vergleich zur Gegenseite auf. Insgesamt erreichten 17 Patienten „exzellente“ und 3 Patienten „gute“ Werte. Der Rest der Patienten (5 Tn.) erlangte „mäßige“ bis „schlechte“ Ergebnisse. Im adjusted Strickland erreichten in Summe 19 Patienten „excellente“, 3 Patienten „gute“ und 2 Patienten „mäßige“ Werte. Eine genaue Aufteilung zeigt Tabelle 11d.

a)

Patient Nr.	TAM 6 Wochen PIP°+DIP°	PIP°+DIP° 175°	Strickland	Adjusted Strickland
1	40	23%	schlecht	schlecht
2	100	57%	mäßig	gut
3	60	34%	schlecht	mäßig
4	85	48%	schlecht	mäßig
5	160	91%	excellent	excellent
6	125	71%	gut	gut
7	80	46%	schlecht	mäßig
8	145	77%	gut	excellent
9	65	37%	schlecht	mäßig
10	100	57%	mäßig	gut
11	40	23%	schlecht	schlecht
12	80	46%	schlecht	mäßig
13	90	51%	mäßig	gut
14	60	34%	schlecht	mäßig
15	155	89%	excellent	excellent
16	70	40%	schlecht	mäßig
17	105	60%	mäßig	gut
18	125	71%	gut	gut
19	130	74%	gut	gut
20	/	/	/	/
21	100	57%	mäßig	gut
22	80	46%	schlecht	mäßig
23	85	48%	schlecht	mäßig
24	80	46%	schlecht	Mäßig

b)

Patient Nr.	TAM 3 Monate PIP°+DIP°	PIP°+DIP° 175°	Strickland	Adjusted Strickland
1	125	71%	gut	Gut
2	150	86%	excellent	Excellent
3	95	54%	mäßig	Gut
4	60	34%	schlecht	mäßig
5	/	/	/	/
6	150	86%	excellent	excellent
7	120	69%	mäßig	gut
8	140	80%	gut	excellent
9	90	51%	mäßig	gut
10	170	97%	excellent	excellent
11	/	/	/	/
12	65	37%	schlecht	mäßig
13	/	/	/	/
14	65	37%	schlecht	mäßig
15	180	103%	excellent	excellent
16	115	66%	mäßig	gut
17	140	80%	gut	excellent
18	130	74%	gut	gut
19	120	69%	mäßig	gut
20	55	31%	mäßig	mäßig
21	120	69%	mäßig	gut
22	90	51%	mäßig	gut
23	145	83%	gut	excellent
24	125	71%	gut	gut

c)

Patient Nr.	TAM 6 Monate PIP°+DIP°	PIP°+DIP° 175°	Strickland	Adjusted Strickland
1	75	43%	schlecht	mäßig
2	155	89%	excellent	excellent
3	140	80%	gut	excellent
4	145	83%	gut	excellent
5	190	109%	excellent	excellent
6	165	94%	excellent	excellent
7	140	80%	gut	excellent
8	/	/	/	/
9	175	100%	excellent	excellent
10	170	97%	excellent	excellent
11	40	23%	schlecht	schlecht
12	125	71%	gut	gut
13	105	60%	mäßig	gut
14	75	43%	mäßig	mäßig
15	180	103%	excellent	excellent
16	155	89%	excellent	excellent
17	150	86%	excellent	excellent
18	135	77%	gut	excellent
19	160	91%	excellent	excellent
20	70	40%	schlecht	schlecht
21	165	94%	excellent	excellent
22	105	60%	mäßig	gut
23	150	86%	excellent	excellent
24	160	91%	excellent	excellent

d)

Patient Nr.	TAM Abschluss PIP°+DIP°	PIP°+DIP° 175°	Strickland	Adjusted Strickland
1	95	54%	mäßig	gut
2	155	89%	excellent	excellent
3	140	80%	gut	excellent
4	155	89%	excellent	excellent
5	190	109%	excellent	excellent
6	195	115%	excellent	excellent
7	150	86%	excellent	excellent
8	160	91%	excellent	excellent
9	170	97%	excellent	excellent
10	180	102%	excellent	excellent
11	45	26%	schlecht	mäßig
12	130	75%	gut	excellent
13	110	63%	mäßig	mäßig
14	150	86%	excellent	excellent
15	185	106%	excellent	excellent
16	170	97%	excellent	excellent
17	155	89%	excellent	excellent
18	150	86%	excellent	excellent
19	185	106%	excellent	excellent
20	80	46%	schlecht	mäßig
21	165	94%	excellent	excellent
22	120	69%	mäßig	gut
23	160	91%	excellent	excellent
24	160	91%	excellent	excellent

Tabelle 11 a-d) SL + adjusted SL nach a) 6 Wochen, b) 3 Monaten, c) 6Monaten und d) bei Abschluss

### 3.1.3 Korrelation der Bewertungsscores

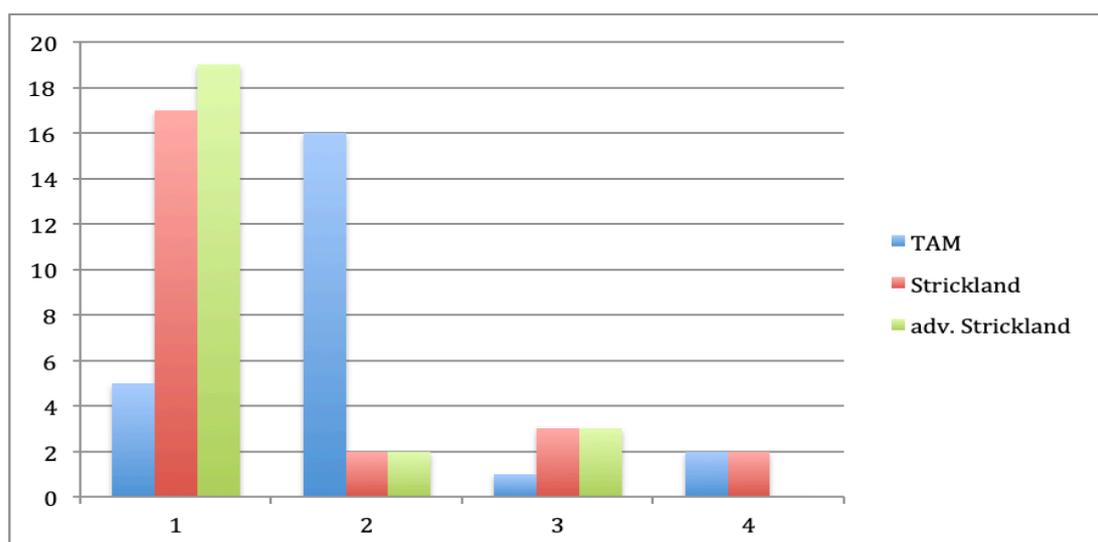
Um einen Vergleich der Bewertungsschemata durchführen zu können, wurden bei der Korrelation „Schulnoten“ entsprechend der Bewertungseinteilung vergeben (Tab. 12). Die Verteilung der Ergebnisse von TAM, Strickland und adv. Strickland nach diesem Notensystem zum Zeitpunkt der Abschlusskontrolle ist in Tabelle 13 aufgeführt und in Abbildung 16 graphisch dargestellt.

Bewertungssystem	1	2	3	4	5
<b>TAM</b>	exzellent	gut	befriedigend	mäßig	schlecht
<b>Strickland</b>	Exzellent	gut	mäßig	schlecht	
<b>adv. Strickland</b>	exzellent	gut	mäßig	schlecht	

**Tabelle 12:** Notensystem TAM, Strickland, adv. Strickland Notenverteilung 1-5

Bewertungssystem	1	2	3	4	5
<b>TAM</b>	5	16	1	2	0
<b>Strickland</b>	17	2	3	2	-
<b>adv. Strickland</b>	19	2	3	0	-

**Tabelle 13:** Ergebnisse unserer Patientendaten nach Notensystem jeweils für TAM, Strickland und adv. Strickland bei Abschlusskontrolle.



**Abbildung 16:** Graphische Darstellung der Notenverteilung. blau= TAM, rot= Strickland grün= adv. Strickland

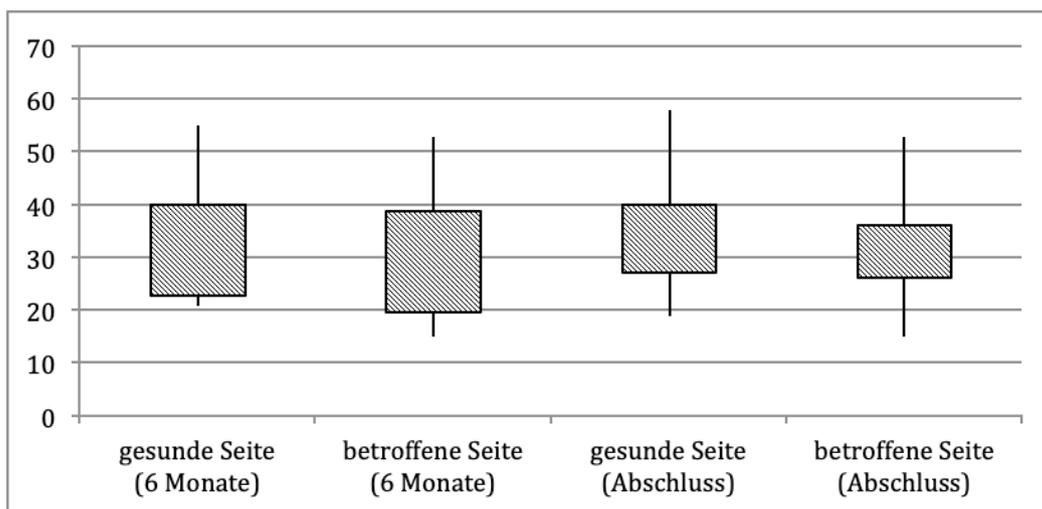
### **3.1.4 Jamar und Pinch-Gauger**

Die Messungen mittels Hand-Dynamometer und Pinch-Gauger Dynamometer erfolgten jeweils nach 6 Monaten und während der Abschlusskontrolle. Dabei wurden pro Evaluationsgerät 3 Messungen während des Kontrolltermins durchgeführt.

#### ***Jamar-Dynamometer***

Im Rahmen der Kontrolle nach einem halben Jahr erreichten die Patienten Werte von durchschnittlich 29Kg an der erkrankten und 31Kg an der gesunden Hand. Dabei lagen die niedrigsten Werte an der betroffenen rechten Seite bei 20Kg (Patient Nr. 20) und links bei 15Kg (Patient Nr. 21,10). Höchstwerte für die jeweilige verletzte Seite lagen rechts bei 53 Kg (Patient Nr. 6) und links bei 51 Kg (Patient Nr. 4). Somit erreichten die Patienten im Schnitt 94% der Grobkraft im Verhältnis zur kontralateralen Hand.

Ebenfalls wurden die Werte während der Abschlusskontrolle ermittelt. Hier erreichten die Patienten im Mittel 31 Kg an der erkrankten und 32 Kg auf der Gegenseite. Die Höchstwerte lagen hier, ähnlich wie bei der halbjahres Untersuchung, rechts bei 53 Kg (Patient Nr. 6) und links bei 50 Kg (Patient Nr. 6). Gleichmaßen wurden auch die niedrigen Werte ermittelt (rechts 21 Kg bei Patient Nr. 15 und links 15 Kg bei Patient 1 und 8). Einen Überblick zeigt Abbildung 17.



**Abbildung 17:** Auswertung Jamar-Dynamometer nach 6 Monaten und bei Abschlusskontrolle, jeweils für die gesunde und erkrankte Seite. Darstellung der Max. und Min. erreichten Kilogramm, plus der medianen Abweichung vom Mittelwert.

### Pinch-Gauger Dynamometer

Im Rahmen der Kontrolle nach einem halben Jahr erreichten die Patienten Werte von durchschnittlich 4,3 Kg an der erkrankten Hand und 4,4 Kg an der gesunden Hand. Somit erreichten die Patienten im Schnitt 94% der Grobkraft im Verhältnis zur kontralateralen Hand. Dabei lagen die niedrigsten Werte bei 1 Kg an der betroffenen Seite (Patient Nr. 18) und bei 1,5Kg an der kontralateralen Seite (Patient Nr. 21,10). Der Höchstwert sowohl für die verletzte, als auch die gesunde Seite lag bei 11 Kg (Patient Nr. 5).

Ebenfalls wurden die Werte während der Abschlusskontrolle ermittelt. Hier erreichten die Patienten im Mittel 4,7 Kg an der erkrankten und 4,7 Kg auf der Gegenseite. Die Höchstwerte erreichte auch hier Patient Nr. 5 mit jeweils 11 Kg für die gesunde und betroffene Seite.

### 3.1.5 DASH

In der vorliegenden Arbeit wurde der quick DASH-Score (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand, Anhang 4) wie auch die Kraftmessungen nach 6 Monaten und während der Abschlusskontrolle erhoben. Die Ergebnisse wurden

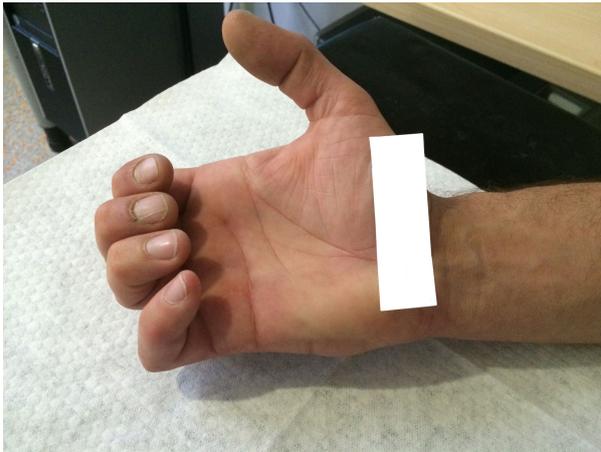
entsprechend der Anleitung ausgewertet und mit Referenzwerten verglichen. Die Patienten erreichten im Mittel einen Punktwert von 3 nach einem halben Jahr und durchschnittlich 2,2 Punkte am Tag der Abschlusskontrolle. Bei der halbjährigen Untersuchung erlangten die Patienten Punktwerte zwischen 0 und 12 Punkte. 14 Patienten erhielten im Rahmen der Auswertung 0 Punkte, was einem sehr guten Ergebnis entsprach. 3 Patienten wurden mit 12 Punkten eingestuft. Am Tag der Abschlusskontrolle erreichten die Patienten Werte zwischen 0 und 11 Punkte. Patient 1 zeigte dabei die stärkste Verbesserung von 12 auf 0 Punkte. Im Schnitt konnten sich alle Patienten um 1-2 Punkt verbessern. Eine Verschlechterung trat bei Patient 11 auf, der im Verhältnis zu Voruntersuchung (0 Punkte) einen neuen Scorerwert von 10,8 Punkten erlangte.

### **3.1.6 Komplikationen**

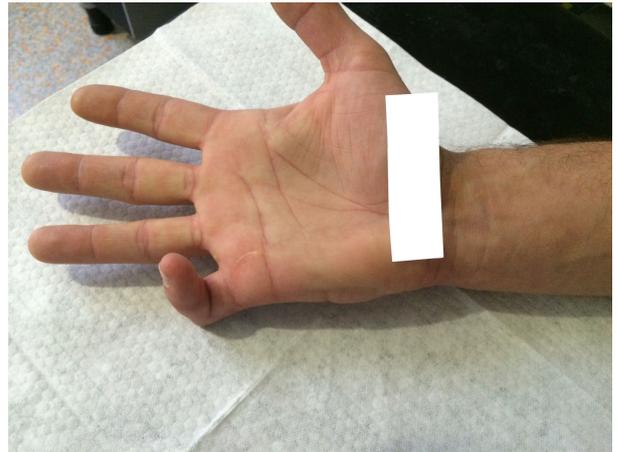
#### ***Streckdefizit***

Im Rahmen der Bestimmung der ROM konnte jedes Gelenk für sich betrachtet werden. Um den bleibenden Schaden zu bestimmen, wurden die Werte des MCP-, DIP- und PIP-Gelenks am Tag der Abschlussuntersuchung ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass es zu keinem Streckdefizit im MCP gekommen war. Bei der Auswertung der Daten für das PIP- und DIP-Gelenk zeigte sich hingegen ein Streckdefizit bei 8 von 24 Patienten. Das höchste Defizit zeigte Patient 11 mit einer Versteifung im PIP Gelenk von Flex. /Ext. 80/80/0 (Patient 11, Abbildung 18). Bei den restlichen Patienten ergab sich ein Streckdefizit von durchschnittlich 15° im PIP-Gelenk (max. 80° bei Patient 11 und min. 5° bei Patient 7). Die Auswertung der ROM im DIP-Gelenk ergab keine totale Versteifung, jedoch lag das Streckdefizit im Mittel bei 21° (max. 40° bei Patient 22, min. 5° bei Patient 3 und 4).

a)



b)



c)



d)



**Abbildungen 18 a-d:** Fotodokumentation von Patient 11 mit einer TAM im PIP-Gelenk von Flex. /Ext 80/80/0. Der Patient wurde aufgefordert folgende Handstellungen durchzuführen a) Krallhand, b) gestreckte Finger spreizen c) Faustschluss d) Grundstellung

### ***Re-Rupturen***

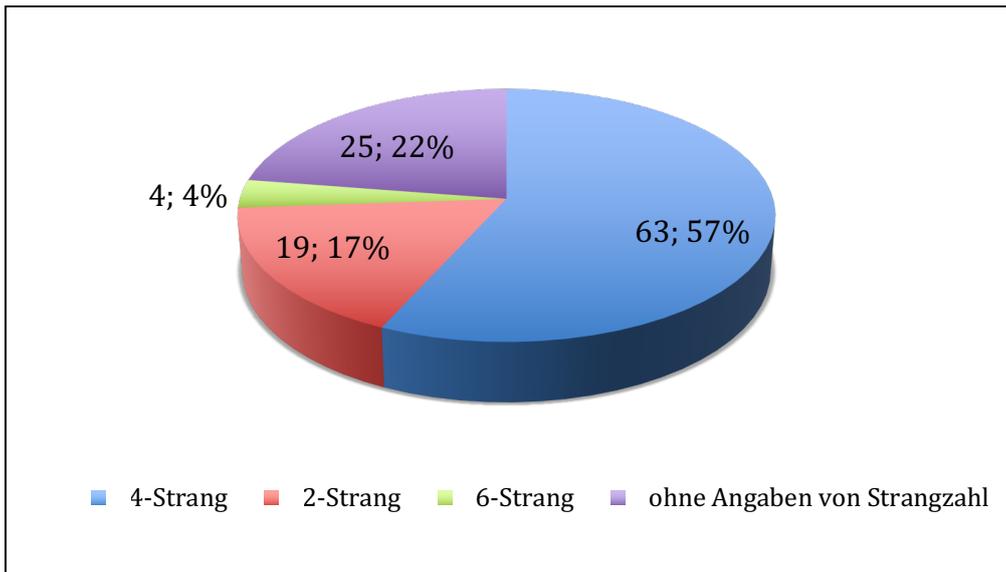
Eine Re-Ruptur trat bei keinem der 24 Patienten, welche das komplette Follow-Up beendet hatten, auf. Die einzige dokumentierte Re-Ruptur konnte bei einem Patienten festgestellt werden, welcher aktiv nachbehandelt worden war. Der Patient erhielt nach der 2. operativen Versorgung eine passiv-dynamische Nachbehandlung. Aufgrund des Versäumens der letzten beiden Kontrolltermine wurde der Patient jedoch aus dem Follow Up ausgeschlossen.

### **3.2 Ergebnisse Onlineumfrage**

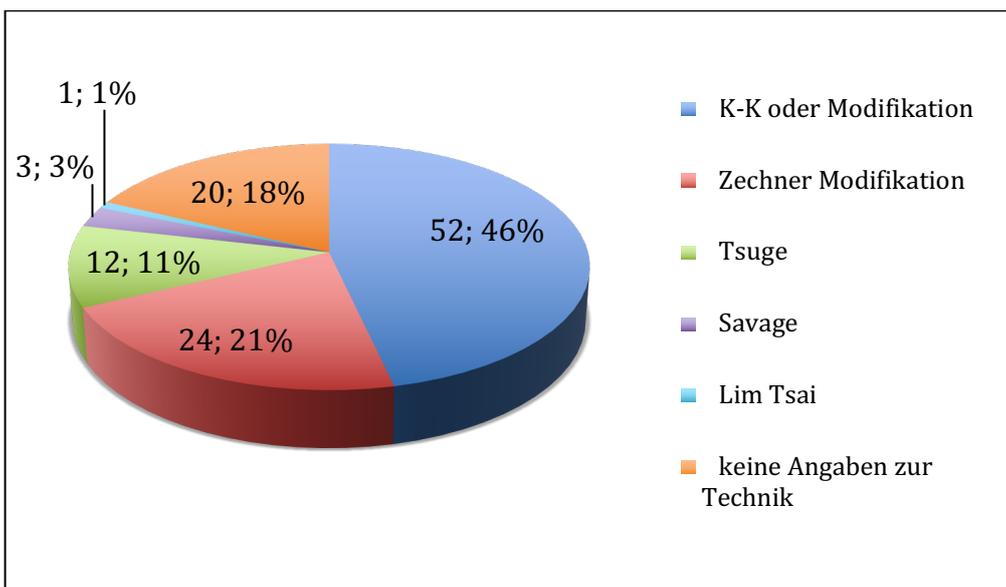
Insgesamt haben 176 Personen den Onlinefragebogen aufgerufen. 98 Bögen wurden vollständig beantwortet. Die 176 Teilnehmer gelangten über einen Link in der E-Mail der DGH zu dem Fragebogen. Der Aufruf des Fragebogens erfolgte 65mal ohne jegliche Beantwortung. Insgesamt 13 Fragebögen blieben unvollständig beantwortet und sind somit nicht in die Auswertung mit eingeflossen. Im Rahmen des DGH Kongresses 2014 konnten weitere 13 vollständig beantwortet Fragebögen generiert werden.

#### ***Frage 1: Welche Nahttechnik verwenden Sie für die Kernnaht? (n=111 Tn.)***

63 der 111 Teilnehmern gaben an, eine 4-Strang-Naht zu verwenden. Von den 63 TN verwenden 30 die Technik nach Kirchmayr-Kessler (K-K), 9 TN die Technik nach Zechner ,6 TN nach Tsuge und 18 TN gaben keine explizite Technik an. Insgesamt gaben 19 Ärzte an, eine 2-Strang Naht zu verwenden, wovon es 11 Nennungen bei K-K, 6 bei Zechner und 2 bei keiner bestimmten Technik gab. Lediglich 4 Ärzte verwenden intraoperativ eine 6-Strangtechnik, entweder nach Savage (3 TN) oder Lim Tsai (1 TN). 25 TN gaben keine Antwort bezüglich der Stranganzahl, wohl aber bezüglich der Technik, die angewandt wird. Darunter fielen 6 Antworten auf die Technik nach Tsuge, 11 auf Kirchmayr-Kessler und 8 Antworten auf die Nahttechnik nach Zechner. [Abb. 19, 20]



**Abbildung 19:** Graphische Darstellung der Auswertung zu Frage 1 (Teil 1): Angaben der Teilnehmer bezüglich der verwendeten Strangzahl.

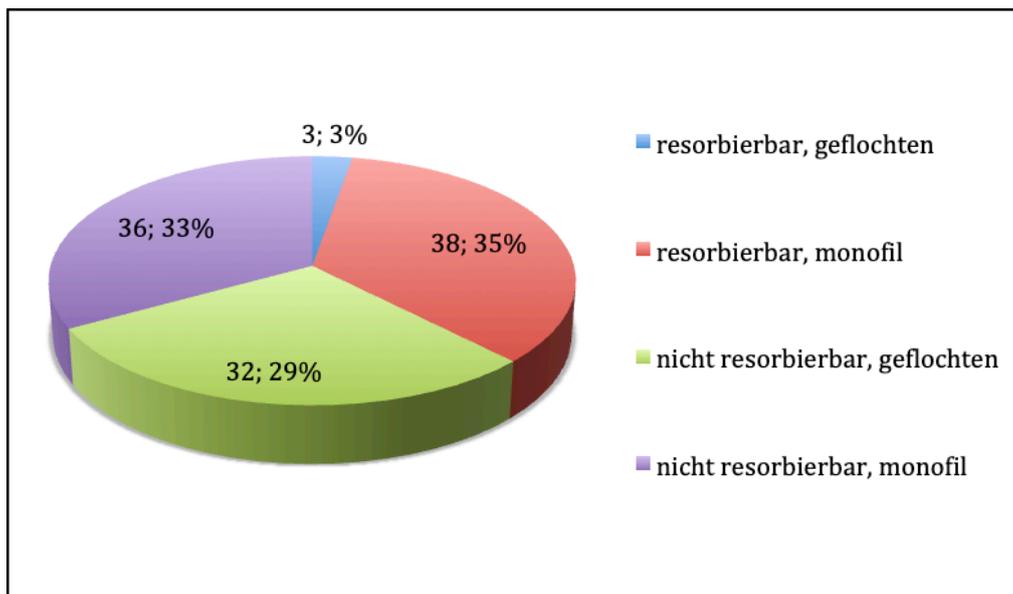


**Abbildung 20:** Graphische Darstellung der Auswertung zu Frage 1 (Teil 2): Angaben der Teilnehmer bezüglich der verwendeten Nahttechnik

**Frage 2: Welches Nahtmaterial verwenden Sie für die Kernnaht?**

**(n=111 Tn.)**

Auf die Frage, welches Nahtmaterial die Ärzte für ihre Kernnaht verwenden, antworteten 35% mit resorbierbar/monofil, 29% mit nicht resorbierbar/geflochten und 33% mit nicht resorbierbar/monofil. 3 Ärzte gaben an, einen Faden zu verwenden, der resorbierbar/geflochten ist. [Abb. 21]



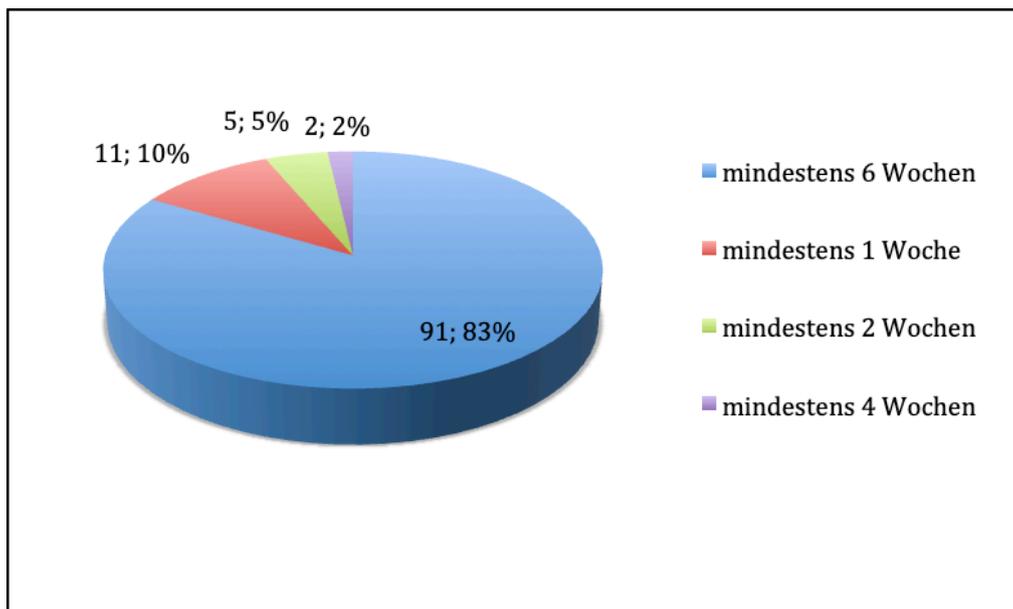
**Abbildung 21:** Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 2: Antworten bezüglich des verwendeten Nahtmaterials für die Kernnaht

**Frage 3: Welches Nahtmaterial verwenden Sie bei der Feinadaptations-Naht? (n=110 Tn.)**

Bezüglich des Adaptionsnahtmaterials gaben 75 TN an, einen resorbierbar/monofil Faden, 30 TN einen nicht resorbierbar/monofil, 4 TN einen resorbierbar/geflochten und 1 TN einen nicht resorbierbar/geflochten Faden zu verwenden.

**Frage 4: Wie lange sind die Patienten bei Ihnen in ambulanter Behandlung?  
(n=109 Tn.)**

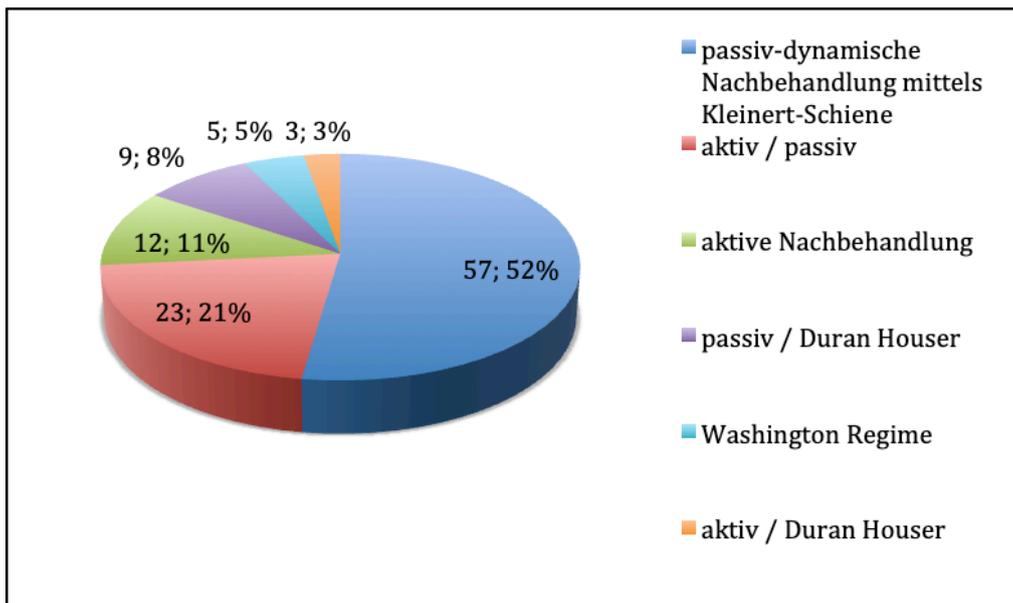
Die Dauer der ambulanten Nachbehandlung beträgt bei 83% der Teilnehmer mindestens 5 Wochen. 10% der Ärzte betreuen die Patienten nur 1 Woche postoperativ und 7% zwischen 2 und 4 Wochen. [Abb. 22]



**Abbildung 22:** Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 4: Angaben über die Dauer der ambulanten Weiterbehandlung

**Frage 5: Welches Nachbehandlungsschema wird bei Ihnen angewandt?  
(n=109 Tn.)**

Bei mehr als 50% der Teilnehmer wird die passiv-dynamische Nachbehandlung mittels Kleinert-Schiene angewandt. Rund 20% führen eine aktive und passive und 11% eine reine aktive Nachbehandlung durch. Andere Nennungen gab es sowohl bei passiv/aktiv nach Duran Houser oder bei der Nachbehandlung mittels Washington Regime. [Abb. 23]



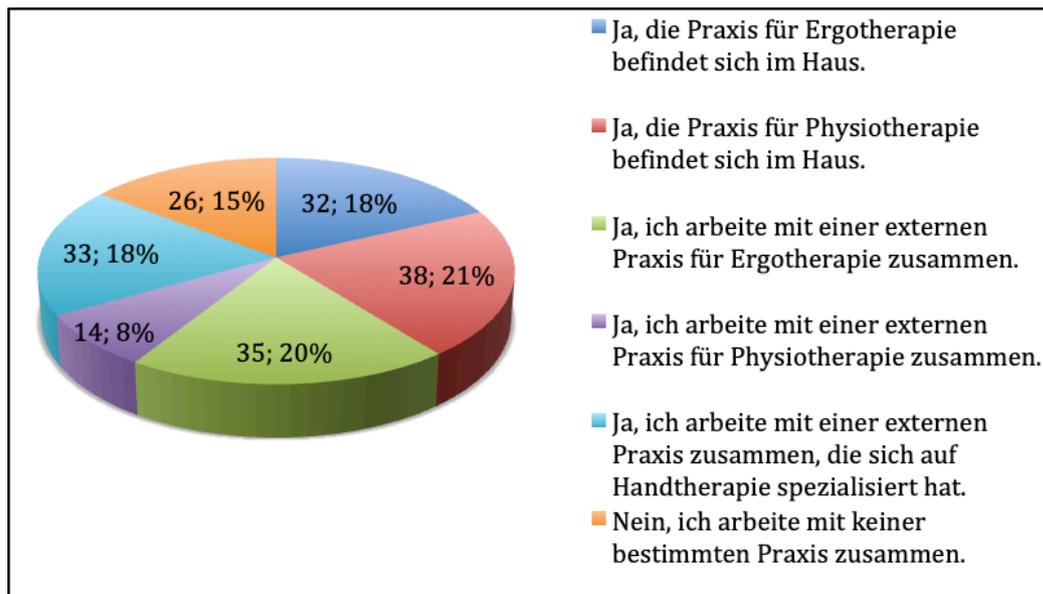
**Abbildung 23:** Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 5: Bezüglich des verwendeten Nachbehandlungsprotokolls

**Frage 6: Erhalten die Patienten eine Form von Physiotherapie und/oder Ergotherapie? (n=111 Tn.)**

Ob eine Form von Handtherapie postoperativ angeschlossen wird, beantwortet der Großteil (94%) mit „Immer“. Dabei werden sowohl Physiotherapie bei 53% der Tn. als auch Ergotherapie von 47% der Ärzte empfohlen.

**Frage 7: Besteht eine Kooperation mit einer Praxis für Physiotherapie und/oder Ergotherapie? (n=103 Tn.)**

Die Frage bezüglich einer Kooperation mit einer Praxis für Physiotherapie, Ergotherapie oder Handtherapie, beantworteten 67% der Ärzte mit JA. Durch die Möglichkeit der Mehrfachnennung gaben 67 Teilnehmer eine Kooperation mit mehreren Einrichtungen an. Eine genaue Aufteilung zeigt Abbildung 24.



**Abbildung 24:** Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 5: Bezüglich der praktizierten Zusammenarbeit mit Physiotherapie/Ergotherapie

**Frage 8: Wie oft pro Woche erhalten die Patienten Physiotherapie und/oder Ergotherapie? (n=111 Tn.)**

Im Durchschnitt erhalten die Patienten 2 (32%, 35 Nennungen) - 3 (49%, 54 Nennungen) mal die Woche eine Art von Handtherapie.

**Kombinationsfrage aus 9/10/11:**

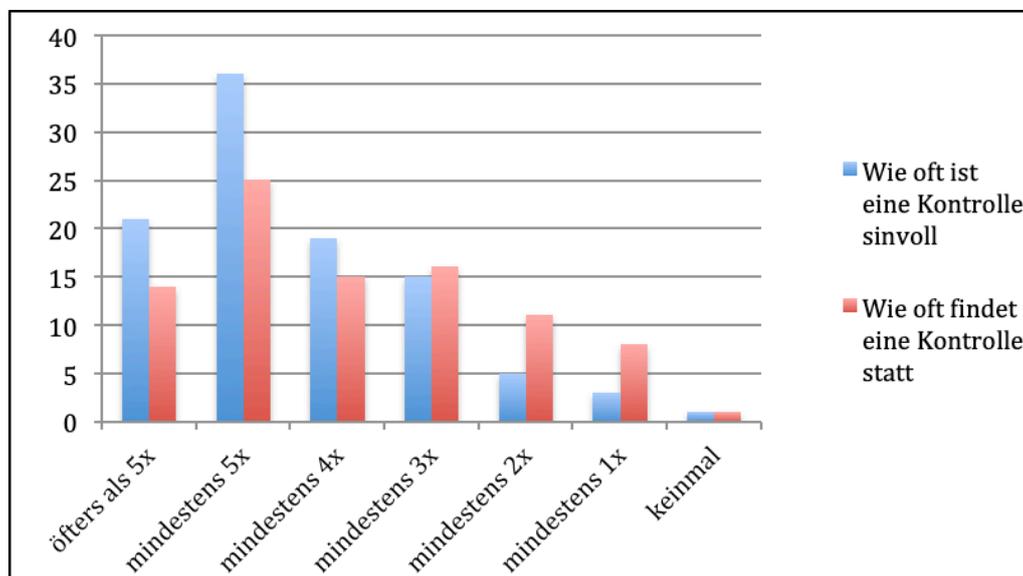
**Frage 9: Wie oft halten Sie eine ärztliche postoperative Kontrolle für sinnvoll? (n=111 Tn.)**

**Frage 10: Wie oft werden die Patienten postoperativ tatsächlich von einem Arzt kontrolliert? (n=111 Tn.)**

**Frage 11: Wenn eine Diskrepanz zwischen den Antworten der Fragen 9. und 10. besteht, was ist hierfür ausschlaggebend? (n=45 Tn.)**

Im Verhältnis von gewünschten zu im nachhinein tatsächlich durchgeführten ärztlichen Kontrollen wiesen die Antworten auf eine Diskrepanz hin. Dabei gaben 63% der Ärzte an, ihre Patienten mindestens 5-mal postoperativ kontrollieren zu wollen. Rund 32% der Teilnehmer streben an, die Patienten im Schnitt zwischen 3-4-mal postoperativ zu kontrollieren. Bei 5 % der Ärzte sollen

Patienten nur 1-2-mal nachkontrolliert werden. Setzt man die angestrebten Nachkontrolltermine in Bezug zu den tatsächlich durchgeführten Kontrollen, zeigt sich diese Diskrepanz im Bereich der 5 oder mehr angestrebten Kontrollen deutlich (Abb. 25). Insgesamt wiesen die Antworten bei 45 der 111 Ärzte eine Diskrepanz auf. Gründe hierfür waren bei 20 Ärzten die Vergütungssituation der gesetzlichen Krankenkassen, bei 6 der Faktor Zeitmangel und bei 19 Teilnehmern andere Gründe. Hervorzuheben sind hier die „eingeschränkte ambulante Zulassung“ (12 Nennungen), die „Patienten Compliance“ (4 Nennungen), und dass beispielsweise nur „BG- und Privatpatienten“ weiter betreut werden können.



**Abbildung 25:** Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 9 und 10: Missverhältnis zwischen der Anzahl als sinnvoll erachteter Nachkontrollen und tatsächlich durchgeführter Nachkontrollen

**Frage 12: In welcher Einrichtung und Fachrichtung üben Sie ihren Beruf aus? (n=105 Tn.)**

Die Teilnehmer kamen aus privaten Praxen, privaten Krankenhäusern, universitären und städtischen Kliniken und waren entweder in der reinen Handchirurgie, Unfallchirurgie oder Plastischen Chirurgie tätig.

34% der Teilnehmer arbeiten an einem städtischen Klinikum, 18% an einer Uniklinik, 20% an einer privaten Klinik und 28% in einer privaten Praxis. Von den

105 Ärzten kamen insgesamt rund die Hälfte (49%) aus einer Abteilung für reine Handchirurgie und jeweils ein viertel aus der Unfallchirurgie und Plastischen Chirurgie.

***Frage 13: Führen sie eine Qualitätskontrolle durch bzw. werden die Patienten nach Ausheilung zur Ergebnisdokumentation einbestellt. (n=110 Tn.)***

Die Frage nach einer abschließenden Qualitätskontrolle im Rahmen der postoperativen Nachbehandlung bejahten 59% der Ärzte. Der Rest führt keine Ergebniskontrollen durch.

## 4. Diskussion

Seit Kleinert et al. [46] die Rekonstruktion von Beugesehnenverletzungen in der Zone II vor fast einem halben Jahrhundert etablierten, konnten in den Bereichen der Biomechanik und Nachbehandlung neue Ansätze entwickelt und implementiert werden. Dabei liegt der Focus der Studien auf dem Nahtmaterial, der Nahttechnik und den Rehabilitationsprotokollen. Ziel dieser Studien ist es, dass stärkste biomechanische Konstrukt mit dem besten klinischen Outcome zu erreichen. Eine Gemeinsamkeit aller aktuellen Studien liegt bei einer frühzeitigen Mobilisation, um eine nahezu ursprüngliche Funktion der betroffenen Finger zu erlangen [65,66,67]. Bis dato gibt es jedoch kein einheitliches Behandlungsschema, welches von der Primärversorgung bis hin zur postoperativen Rehabilitation einen geeigneten Standard darstellt.

2010 stellten Schöffl und Winkelmann [68] in einer Studie fest, dass von allen Handverletzungen 29% den Sehnenverletzungen zuzuordnen waren. Vor allem in der Unfallheilkunde stellt die Beugesehnenverletzung in der Zone 2 eine häufig auftretende Komplikation nach Schnittverletzungen dar. Eine Studie von Rosberg et al. (2003) [69] zeigte auf, dass von allen untersuchten Patienten 59% Verletzungen an der nicht dominanten Hand aufwiesen. Bei dem hier recht kleinen Patientenkollektiv von 24 Patienten kam es bei insgesamt 70% zu einer Verletzung der nicht dominanten Hand. Hinsichtlich der möglichen Folgen muss eine frühzeitige Diagnose erfolgen, um die notwendige Therapie einleiten zu können. Aufgrund der kleinen Kollektivgröße von 24 Patienten hat diese Studie nur eine eingeschränkte Aussagekraft. Zudem erlitten unsere Patienten nur glatte Verletzungen (Schnitt-/Stichverletzung) der Hand, sodass das Outcome nach Quetschwunden, Sägeverletzungen oder anderen Traumata hinsichtlich der Therapieergebnisse „schlechter“ und Therapiedauer „länger“ ausfallen könnte.

## 4.1 Nahttechnik und Nahtmaterial

Die Therapie der Wahl nach Beugesehndurchtrennung besteht in einer frühzeitigen Beugesehnnah und sollte zeitnah nach Diagnosestellung erfolgen. Seit der Einführung der 2-Strang Beugesehnnah durch Bunnell 1918 [19] wurden mehrere Operationstechniken entwickelt. Im Focus der Forschung steht seit Anfang der 70er Jahre vor allem die Zugfestigkeit von Sehnennähten. In mehreren Publikationen wurde nachgewiesen, dass die Zugfestigkeit der rekonstruierten Beugesehne von der Anzahl der defektüberbrückenden Stränge abhängt [70]. Des Weiteren spielt die Stärke des verwendeten Nahtmaterials eine bedeutende Rolle. Die 2-Strang Technik nach Kessler erfreut sich dabei seit dem Ende des 20. Jahrhunderts einer großen Beliebtheit bei den Operateuren [36]. Darüber, welche der aktuell eingesetzten Nahttechniken und Nahtmaterialien den Goldstandard darstellt, lässt sich streiten. Gewiss ist jedoch, dass es keinen Konsens bezüglich der Techniken und Materialien gibt. Ein Grund hierfür könnte die Vielzahl von biomechanischen Studien und Follow-Up Studien sein, welche ähnlich gute Ergebnisse verschiedenster Techniken und Materialien beschreiben [71].

Bei der Auswertung des Online Fragebogens zeichnete sich eine Tendenz von der 2-Strangtechnik (17%) hin zur 4-Strangtechnik (57%) ab. In der Umfrage zeigte sich auch, dass sich bis heute kein einheitliches Behandlungsschema etabliert hat, welches sowohl die Nahttechnik als auch das Nahtmaterial betrifft. Eine Tendenz bezüglich der verwendeten Nahttechniken zeigt lediglich, dass die Teilnehmer eine Kirchmayr-Kessler oder eine Modifikation derselben bevorzugen (67%). Bereits Betz et al. (2013) beschrieben die Modifikation nach Zechner als die häufigste angewendete Nahttechnik in Deutschland [70]. Im Hinblick auf die Feinadaptionnah zeigte sich auch, dass ein resorbierbarer monofiler Faden bei mehr als dreiviertel der Teilnehmer eingesetzt wird. T. Pillukat und J. van Schoonhoven [7, Tab. 4] stellten wichtige Prinzipien für die Durchführung von Beugesehnnähten auf. Als günstige Prinzipien gelten demnach „blockierende Nähte/Zwischenknoten, Fadenstärke 3/0 – 4/0, eine große Anzahl an

Ankerpunkten, 4 oder mehr Nahtstränge, eine Knotenlage in der Sehne, ein Abstand der Ankerpunkte zwischen 7-10 mm und eine umlaufende Adaptionsnaht“. Ungünstige Prinzipien stellen „umgreifende Nähte, Fadenstärke 5/0 oder 2/0, geringe Anzahl von Ankerpunkten, 2 Nahtstränge, eine Knotenlage außerhalb der Sehne und ein Abstand der Ankerpunkte kleiner 7 mm und größer 10 mm“ dar [65]. Die in diesem Follow-Up verwendete modifizierte 4-Strang-KK-Naht nach Zechner (21%) zählt neben den Nahttechniken nach Tsuge (11%) und Savage (3%) zum aktuellen Standard in Deutschland (Abbildung 18). Aktuelle statische Belastungstests zeigen, dass die 4 Strang-Naht nach K-K im Vergleich zu anderen Nahttechniken ähnlich gute Ergebnisse aufweist [70].

Zieht man den direkten Vergleich zwischen einer Umfrage aus dem Jahr 2008 [72] und der hier vorliegenden, so zeichnet sich der Trend von der 2-Strang (2008 lag der Anteil noch bei 98%, 17% in der vorliegenden Umfrage) hin zur Mehrstrangnaht (Abbildung 19) in Deutschland ab. Ein Nachteil der Mehrstrangtechniken ist jedoch das Risiko einer Durchblutungsstörung der Sehnen, die aufgrund der chirurgischen Manipulation und einer erhöhten Anzahl der im Sehnenstrang verlaufenden Nähte verstärkt auftreten kann [73].

Die Verwendung einer zirkulären Adaptionsnaht, wie auch wir sie angewandt haben, trägt maßgeblich zur Gesamtstabilität der Rekonstruktion bei. Die Reißfestigkeit kann hierbei bis zu 50% gesteigert werden. Zusätzlich reduziert sie das Auftreten eines sogenannten „gap“ [74].

Einen Einfluss auf die guten (TAM 67%, ad. Strickland 10%), bis sehr guten (Tam 20%, ad. Strickland 80%) Ergebnisse des vorliegenden Patientenkollektiv, kann im Zusammenhang damit stehen, dass die Operationen vorwiegend von erfahrenen Handchirurgen durchgeführt wurden. Alle Operateure hatten fortgeschrittene Kenntnisse im Bereich der Sehnenchirurgie und waren versiert in mikrochirurgischen Techniken. Daher konnten wir ähnlich gute Ergebnisse wie in vergleichbaren Studien [71] nach Zone 2 Verletzungen generieren. Zhou et al. zeigten aber auch, dass weniger erfahrene Chirurgen im Bereich der

Beugesehnenchirurgie ähnlich gute Ergebnisse erzielen können, wenn sie sich an ein striktes Operations- und Nachbehandlungsschema halten.

## **4.2 Behandlungsverlauf**

In der vorgestellten Arbeit erfolgte die operative Beugesehnenennaht bei 24 Patienten. Für das vorliegende Patientenkollektiv wurde mit der Diagnose einer Beugesehnedurchtrennung in der Zone II die Indikation zur operativen Versorgung gestellt. Anschließend erfolgte die engmaschige Kontrolle der Probanden. Diese ist vergleichbar mit mehreren Protokollen anderer Arbeiten, die sich des Themas angenommen und das postoperative Outcome als Follow-Up-Studie festgehalten haben [71]. Aufgrund der unterschiedlichen Evaluationskriterien kann lediglich ein Vergleich zwischen den Ergebnissen von TAM, Strickland und JAMAR gezogen werden. Die Verwendung von DASH Score oder den Kraftmessungen mittels Key Pinch wurde lediglich in wenigen Vergleichsarbeiten durchgeführt.

## **4.3 Nachbehandlungsschema**

Von der anfänglich publizierten und gelehrten Meinung, eine Beugesehnenverletzung nach operativer Versorgung ruhig stellen zu müssen, ist man mittlerweile abgekommen. Es hat sich gezeigt, dass eine frühzeitige Mobilisierung zu reduzierten Adhäsionen und höherer Zugfestigkeit führt [69]. Das Nachbehandlungsschema nach Kleinert oder seine Modifikationen [69] ist bis heute das am häufigsten angewandte Schema in der postoperativen Nachbehandlung. Auch die Ergebnisse unserer Umfrage (Abb. 21) zeigen dies. Ein aktueller Trend scheint sich aber postoperativ von der passiven-dynamischen, zu einer frühzeitigen aktiven Bewegung der Finger zu entwickeln. Dies zeigte sich auch in einigen Studien, bei denen sich nach konsequenter Verwendung einer 4-Strang-Kernnaht und Feinadaptionnaht des Epitendineums deutlich bessere Ergebnisse im Vergleich zu konservativeren Methoden einstellten [70]. Unsere Umfrage, sowie eine Umfrage aus dem Jahr 2008 [71] unter den Mitgliedern der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie zeigen, dass sich die frühzeitige passive

Bewegung im Rahmen der Nachbehandlung nach Kleinert auch heute noch in Deutschland großer Beliebtheit erfreut [Abb. 21]. Auch in dem vorliegenden Follow Up wurde diese vermehrt angewandt. Eine aktive Nachbehandlung erfolgte bei nur einem Patienten.

#### **4.4 Bewertungsscores**

24 Patienten konnten klinisch-funktionell nachuntersucht werden. Das funktionale Outcome haben wir anhand verschiedener Bewertungsscores gemessen. Dazu gehören die TAM, der Strickland/ advanced Strickland, die Kraftmessungen mittels JAMAR/Pinch Gauger und die Ermittlung des DASH Score. In der hier vorliegenden Arbeit zeigte sich die ermittelte Kraft mittels JAMAR und Key-Pinch bereits nach 6 Monaten >90% der Gegenseite. Die vorliegende Kraftminderung der betroffenen Seite hatte jedoch nur einen geringen Einfluss auf den DASH Score mit im Ø 2,34 Punkten nach 6 Monaten und Ø 2,16 Punkten nach 12 Monaten. Andere Studien zeigen ähnliche Ergebnisse nach 6 und 12 Monaten [72,73]. Der DASH Score sollte jedoch als ein limitierender Faktor zu den Evaluierungen einer Beugesehndurchtrennung gesehen werden, da er sein Augenmerk auf die gesamte obere Extremität und nicht nur auf die Hand legt.

Die hier vorliegende retrospektive Untersuchung hat gezeigt, dass die operative Versorgung mittels einer 4-Strang-K-K Naht und einer zirkulären Adaptionnaht, kombiniert mit einem passiven-dynamischen Mobilisierungsprotokoll zufriedenstellende funktionelle Ergebnisse erbracht hat. Obwohl wir dem Wunsch nach mehr aktiven Nachbehandlungen nicht gerecht werden konnten, zeigten die Ergebnisse im Vergleich zu anderen Studien mit verschiedensten Nahttechniken und Nachbehandlungen ähnlich gute postoperative Ergebnisse [74]. Hier zu erwähnen ist jedoch, dass die Compliance des Patienten eine wichtige Rolle bei der Nachbehandlung spielt. Die Patienten, die das Nachbehandlungsschema bei uns vollständig absolviert haben, wurden in den ersten 6 Wochen engmaschig (bis zu 2-mal pro Woche) und nach jeweils 3, 6 und 12 Monaten betreut. Wegen mangelnder Compliance kam es zum Ausschluss von 7 Patienten.

## 4.5 Dehiszenz („gap“)

Die Dehiszenz der Nahtstellen nach Beugesehnenrekonstruktion ist eine Komplikation, welche bei frühen aktiven Mobilisierungsübungen auftreten kann. Solche Dehiszenzen, im englischen auch als „gap“ bezeichnet, können zu Auflockerungen der Naht oder intratendinösen Narben führen, womit eine Überlänge der Sehne einhergeht. Thurman et al. [75] zeigten auf, dass es bei der Verwendung einer 2-Strang-Nahttechnik zu einer größeren Spaltbildung als bei einer 4- bzw. 6 Strang-Nahttechnik kommt. Eine Evaluation der Dehiszenz ist von außen nicht möglich, lediglich das Outcome der TAM (Tabelle 4 a-c) könnte einen Verdacht auf mögliche Dehiszenz zulassen, bei der es zu einem deutlichen Beugedefizit im Verhältnis zur gesunden Seite kommt.

## 4.6 Zukunftsmodelle

### ***WALANT (Wide Awake Local Anesthesia No Tourniquet)***

Im Jahr 2003 implementierte Donald Lalonde [76] ein Verfahren der örtlichen Betäubung, welches ein blutungs-, risiko- und komplikationsarmes Anästhesieverfahren in der Handchirurgie zu sein verspricht. Vorteil dieser Methode ist es, noch während der Operation die Qualität des chirurgischen Eingriffs zu beurteilen. Im Falle der Beugesehnenchirurgie beurteilt man unterschiedliche Faktoren wie Sehnengleiten, Spaltbildung „gap“, Bowstring Phänomen und den Bewegungsumfang. Sollte es bei o.g. Faktoren zu Einschränkungen kommen, so ist ein schnelles Handeln intraoperativ möglich. Bisher gibt es keine Zahlen, wie viele WALANT als Operationsalternative in Deutschland verwenden.

### ***Tissue Engineering:***

Trotz der Forschung auf dem Gebiet der Sehnenheilung nach Beugesehnenverletzung ist der genaue Pathomechanismus des Heilungsprozesses bis heute noch nicht geklärt. Es gibt eine Vielzahl an Studien, denen zufolge eine äußere Stimulation die Sehnenheilung beeinflussen soll. Hierzu gehören zum Beispiel Versuchsmodelle, bei denen von außen mit elektrischer Simulation durch Gleichstrom, kapazitiver Kopplung und gepulster elektromagnetischer Stimulation

die Sehnenheilung angeregt wird. Des Weiteren konnte in Tierstudien ein positiver Effekt auf die Sehnenheilung durch Behandlung mit Wachstumsfaktoren wie BMP-12, PDGF-B und Decorin, sowie die Verwendung von mesenchymalen Stammzellen (MSCs) nachgewiesen werden [77,78,79]. Diese und weitere Modelle befinden sich aktuell in der Anfangsphase. Um auch hier einen gemeinsamen Standard zu etablieren bedarf es noch weiterer Forschung.

#### **4.7 Limitation**

In die hier vorliegende Arbeit wurden Beugesehnenverletzungen in der Zone II der Dig. II-IV eingeschlossen. Bei der Betrachtung des klinischen Follow-Up wurden Patienten mit Begleitverletzungen wie Brüchen und Quetschwunden oder aus Altersgründen nicht berücksichtigt. Des Weiteren erfolgte ein Ausschluss aus dem Follow-Up bei Versäumnissen von 2 oder mehr Kontrollterminen. Ebenso erfolgte der Ausschluss, wenn eine Abschlusskontrolle nicht durchgeführt werden konnte. Dies lässt sich zum einen auf die Compliance der Patienten, aber auch auf den Ort der Durchführung des klinischen Follow-Up zurückführen. Aufgrund des Patientenkontexts von zum großen Teil Touristen (in München allein 8,3 Millionen/Jahr Stand 2018, Quelle [www.muenchen.de](http://www.muenchen.de)) bei Verletzungen in der Freizeit und Arbeitnehmern aus anderen Ländern oder Städten, ist eine engmaschige Kontrolle über einen längeren Zeitraum nicht immer zu gewährleisten. Um jedoch eine gewisse Anzahl an Patienten einschließen zu können, kam es beim Vorliegen von Begleitverletzungen, wie Ruptur der FDP Sehne, FDP und FDS Sehne, oder bei Verletzungen im Bereich des Gefäßnervenbündels zu keinem Ausschluss. Ob und wie die Begleitverletzungen Einfluss auf das Outcome hatten, wurde in diesem Zusammenhang nicht weiter untersucht.

Für die Durchführung einer aktiven Nachbehandlung spielen viele Faktoren eine wichtige Rolle. Der Fokus liegt hierbei auf der intraoperativ gesicherten Stabilität der Naht, Ausschluss von Begleitverletzungen (9 der 24 Patienten in unserem Follow-Up hatten Kombinationsverletzungen), den Erfahrungen der Operateure mit aktiver/passiver Nachbehandlung und der Compliance des Patienten. Unter

die Compliance fallen vor allem auch die mögliche sprachliche Barrieren bei Touristen und Arbeitnehmern aus dem Ausland, die Motivation der Patienten Übungen regelmäßig durchzuführen und das richtige Durchführen vorgegebener Bewegungsabläufe. Mit der Einführung des Behandlungsalgorithmus hatten wir den Wunsch nach mehr aktiven Nachbehandlungen verbunden, konnten diese jedoch diese aufgrund der o.g. Kriterien nicht realisieren.

Im Zusammenspiel dieser Faktoren erfolgte bei dem hier vorliegenden Patientenkollektiv nur eine aktive Nachbehandlung (Patient 21). Bei einem 2. Patienten in der aktiven Nachbehandlungsgruppe kam es zu einer Re-Ruptur in der 2. Woche, nachdem er unter Alkoholeinfluss vermehrt aktive Beugung des betroffenen Fingers durchgeführt hatte. Aufgrund der Versäumnisse von Kontrolluntersuchungen bei Zustand nach erneuter Beugesehennaht wurde der Patient aus dem weiteren Follow-Up ausgeschlossen.

## 5. Zusammenfassung

Beugesehnenverletzungen in der Zone II zählen auch heute noch zu den komplexeren Verletzungen, welche eine zeitnahe chirurgische Intervention, sowie eine sich anschließende intensive Nachbehandlung erfordern. Durch die Implementierung verschiedenster Nahttechniken und Nachbehandlungsalgorithmen unterliegt die Versorgung einem stetigen Wandel. Hierdurch wurde auch die Hoffnung auf eine Möglichkeit der aktiven Nachbehandlung geweckt. Ein Therapie-Goldstandard konnte sich jedoch bis heute nicht durchsetzen.

Schwerpunkte dieser Arbeit sind die postoperativen Ergebnisse nach einem neu implementierten Behandlungsalgorithmus, sowie die Auswertung eines Online-Fragebogens, welcher einen Überblick über die aktuelle Versorgungsrealität von Beugesehnenverletzungen in der Zone II in Deutschland geben soll.

Die hier vorliegenden klinischen Follow-UP Untersuchungen haben gezeigt, dass die operative Versorgung mittels einer 4-Strang-KK-Zechner Naht und einer zirkulären Adaptionnaht, kombiniert mit einem passiven-dynamischen Mobilisierungsprotokoll zufriedenstellende funktionelle Ergebnisse erbracht hat. Insgesamt wurden hier gute bis sehr gute Ergebnisse erreicht.

Nach Einführung des Behandlungsalgorithmus im Jahr 2012 konnten 24 Patienten im Rahmen des Behandlungsalgorithmus untersucht werden. Obwohl der Wunsch nach mehr aktiven Nachbehandlungen nicht realisiert werden konnte, zeigten die Ergebnisse im Vergleich zu anderen Studien mit verschiedensten Nahttechniken und Nachbehandlungen ähnlich gute postoperative Ergebnisse. Zu erwähnen ist jedoch, dass die Compliance der Patienten ein wichtiger Faktor bei der Nachbehandlung ist. Die Patienten, die das Nachbehandlungsschema bei uns vollständig absolviert haben, wurden in den ersten 6 Wochen engmaschig (bis zu

2-mal pro Woche) und dann nach jeweils 3, 6 und 12 Monaten betreut. Aufgrund mangelnder Compliance kam es zum Ausschluss von 7 Patienten.

Insgesamt haben Zone-2-Verletzungen ein schlechteres Gesamtergebnis als Verletzungen im Bereich der Zonen 1,3,4 und 5. Ein Vergleich zwischen aktiver und passiver Behandlung konnte aufgrund einer zu geringen Zahl von Patienten, die nach aktivem Behandlungsalgorithmus nachbehandelt wurden, nicht gezogen werden. Hier wäre eine größere prospektive, randomisierte Studie erforderlich, um die klinischen Ergebnisse, Patientenzufriedenheit und Kosten-Nutzen-Faktor der 2 Rehabilitationsprogramme zu vergleichen.

An der Umfrage haben insgesamt 111 Ärzte aus verschiedenen Abteilungen und Einrichtungen teilgenommen. Einheitliche Therapievorgaben bezüglich Nahttechnik, Nahtmaterial oder Nachbehandlungsschema konnten sich auch bis heute nicht durchsetzen. Die frühe passive-dynamische Nachbehandlung nach Beugesehnenverletzung scheint jedoch in vielen Kliniken und Praxen noch der Goldstandard zu sein. Dabei verwenden 57% der Teilnehmer eine 4-Strang Nahttechnik für die operative Versorgung von Beugesehnenverletzungen in der Zone 2. Obwohl die 4-Strang-Naht in der Zugfestigkeit einer 2-Strang-Naht überlegen ist, führen lediglich 35% der Ärzte eine Art von aktiver Nachbehandlung durch. Bei 45 Ärzten lagen Diskrepanzen bezüglich der postoperativen Kontrolltermine vor, welche auf die Vergütungssituation, die Patienten Compliance und die fehlende ambulante Zulassung zurückzuführen sind. Aufgrund der Tatsache, dass die Fragebögen nur an Mitglieder der DGH geschickt wurden, können wir unsere Ergebnisse nicht einfach auf das Gesamtkollektiv der deutschen Handchirurgen übertragen. Auch haben wir keine Information über diejenigen, die nicht auf den Fragebogen geantwortet haben. Zusammengefasst könnten diese Kriterien als eine Selektionsbias gesehen werden.

## 6. Literaturverzeichnis

1. **H Towfigh**, Handchirurgie, Band 2 2011
2. **de Jong JP**, Nguyen JT, Sonnema AJM et al (2014) The incidence of acute traumatic tendon injuries in the hand and wrist: a 10-year population-based study. Clin Orthop Surg 6:196–202
3. **Trybus M**, Lorkowski J, Brongel L et al. Causes and consequences of hand injuries. Am J Surg 2006; 192:52-57
4. **Lögters T**, Schädel-Höpfner M, Windolf J. Primärversorgung von Beugesehnenverletzungen. Handchirurgie Scan 2013; 2: 141–156
5. **Verdan CE**. Primary repair of flexor tendons. J Bone Joint Surg Am 1960; 42-A:647-657
6. **Green**, 7th Edition
7. **Pillukat T**, van Schoonhoven J. Nahttechniken und Nahtmaterial in der Beugesehnenchirurgie. Trauma Berufskrankheit 2016 · [Suppl 3]: 18:S264–S269
8. **Kleinert HE**, Kutz JE, Cohen MJ. Primary repair of zone 2 flexor tendon lacerations. In AAOS symposium on tendon surgery in the hand. St Louis. Mosby, 1975
9. **Liu D**, Wu ZX, Pan XM et al. Biomechanical comparison of different techniques in primary spinal surgery in osteoporotic cadaveric lumbar vertebrae: expansive pedicle screw versus polymethylmethacrylate augmented pedicle screw. Arch Orthop Trauma Surg 2011; 131: 1227-1232
10. **Sonnenmoser M**, Fehlende Compliance: Patienten, die dem Arzt etwas vorgaukeln. Dtsch Arztebl 2005; 102(10): A-704 / B-596 / C-556
11. **Schünke M**, Schulte E, Schumacher U, (2007) Prometheus Lernatlas der Anatomie; Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem; 2. Auflage,
12. **Tang JB**. Release of the A4 pulley to facilitate zone II flexor tendon repair. J Hand Surg Am 2014; 39: 2300-2307
13. **Elliot D**. Primary flexor tendon repair--operative repair, pulley management and rehabilitation. J Hand Surg Br 2002; 27: 507-513

14. **Lister GD**. Reconstruction of pulleys employing extensor retinaculum. *J Hand Surg Am* 1979; 4: 461-464
15. **Samora JB**, Klinefelter RD. Flexor Tendon Reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg* 2016; 24: 28-36
16. **Parellada JA**, Balkissoon AR, Hayes CW et al. Bowstring injury of the flexor tendon pulley system: MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1996; 167: 347-349
17. **Moriya K**, Yoshizu T, Tsubokawa N et al. Clinical results of releasing the entire A2 pulley after flexor tendon repair in zone 2C. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 822-828
18. **Moriya K**, Yoshizu T, Tsubokawa N et al. Outcomes of release of the entire A4 pulley after flexor tendon repairs in zone 2A followed by early active mobilization. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 400-405
19. **Drenckenhahn DA**, Benninghoff, editor. *Anatomie; Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie*. 17 ed. München: Elsevier, 1942.
20. **Kannus P**. Structure of the tendon connective tissue. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10(6):312-20.
21. **O'Brien M**. Structure and metabolism of tendons. *Scand J Med Sci Sports* 1997;7(2):55- 61.
22. **Schiebler T.H KH**. *Allgemeine Anatomie des Bewegungsapparates*. Anatomie. Heidelberg: Steinkopff, 2007.
23. **Nigst, H**. (1976). Tagungsbericht der I. Basler Handchirurgischen Arbeitstagung vom 25.-26.06.1976. *Handchir* 8, 225-236
24. **Lotter O**, Vogel D, Stahl S et al (2011) Primärversorgung komplizierter Beugesehnenverletzungen an der Hand. *Unfallchirurg* 114:517–527
25. **Lutsky KF**, Giang EL, Matzon L(2015) Flexortendon injury, repair and rehabilitation. *Orthop Clin North Am* 46:67–76
26. **Chan TK**, Ho CO, Lee WK et al (2006) Functional outcome of the hand following flexor tendon repair at the ‘no man’s land. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 14:178–183
27. **Bunnell**, 1948, *Surgery of the Hand*

28. **Kleinert HE**, Spokevicius S, Papas NH. History of flexor tendon repair. *J Hand Surg Am* 1995; 20: S46-52
29. **Kirchmayr L** (1917) Zur Technik der Sehnennaht. *Zentralblatt Chirurgie* 44:906–907
30. **Bunnell S**. An Essential in Reconstructive Surgery; Atraumatic' Technique. *Cal State J Med* 1921; 19: 204-207
31. **Bunnell S**. 1984, *Surgery of the hand*
32. **Tsuge K**, Ikuta Y, Matsuishi Y. Intra-tendinous tendon suture in the hand- a new technique. *Hand* 1975; 7: 250-255
33. **Croog A**, Goldstein R, Nasser P et al. Comparative biomechanic performances of locked cruciate four-strand flexor tendon repairs in an ex vivo porcine model. *J Hand Surg Am* 2007; 32: 225-232
34. **Wu YF**, Cao Y, Zhou YL et al. Biomechanical comparisons of four-strand tendon repairs with double-stranded sutures: effects of different locks and suture geometry. *J Hand Surg Eur Vol* 2011; 36: 34-39
35. **Low TH**, Ahmad TS, Ng ES. Simplifying four-strand flexor tendon repair using double-stranded suture: a comparative ex vivo study on tensile strength and bulking. *J Hand Surg Eur Vol* 2012; 37: 101-108
36. **Strickland JW** (2000) Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress. *J Hand Surg* 25:214–235
37. **Schuind F**, Garcia-Elias M, Cooney WP, An KN. Flexor tendon forces: in vivo measurements. *J Hand Surg Am*. 1992, 17: 291–8.
38. **Langer MF**, Oeckenpöhler S, Kösters C et al (2015) Nahttechniken der Beugesehnen der Hand. *Orthopäde* 44:748–756
39. **Kamal RN**, Yao J (2017) Evidence-based medicine. *Plast Reconstr Surg* 140:130e–139e
40. **Jordan MC**, Schmidt K, Meffert RH et al. Biomechanical analysis of flexor tendon repair using knotted Kessler and Bunnell techniques and the knotless Bunnell technique. *J Hand Surg Am* 2015; 40: 115-120

41. **Maddox GE**, Ludwig J, Craig ER et al. Flexor tendon repair with a knotless, bidirectional barbed suture: an in vivo biomechanical analysis. *J Hand Surg Am* 2015; 40: 963-968
42. **Nayak AN**, Nguyen DV, Brabender RC et al. A Mechanical Evaluation of Zone II Flexor Tendon Repair Using a Knotless Barbed Suture Versus a Traditional Braided Suture. *J Hand Surg Am* 2015; 40: 1355-1362
43. **Mason ML**, Allen HS. The Rate of Healing of Tendons: An Experimental of Tensile Strength. *Ann Surg* 1941; 113: 424-459
44. **Hauser CH**. A simple suture for repair of tendon to bone; based on an experimental study of the healing process. *Q Bull Northwest Univ Med Sch* 1952; 26: 27-33
45. **Manske PR**. Flexor tendon healing. *J Hand Surg Br* 1988; 13: 237-245
46. **Kleinert HE**, Kutz JE, Atasoy E et al. Primary repair of flexor tendons. *Orthop Clin North Am* 1973; 4: 865-876
47. **Duran R**, Houser R. Controlled passive motion following flexor tendon repair in zones 2 and 3, AAOS symposium on tendon surgery in the hand, St Louis. Mosby, 1975.
48. **Gelberman RH**, Menon J, Gonsalves M et al. The effects of mobilization on the vascularization of healing flexor tendons in dogs. *Clin Orthop Relat Res* 1980, DOI: 283-289
49. **Gelberman RH**, Woo SL, Lothringer K et al. Effects of early intermittent passive mobilization on healing canine flexor tendons. *J Hand Surg Am* 1982; 7: 170-175
50. **Small JO**, Brennen MD, Colville J. Early active mobilisation following flexor tendon repair in zone 2. *J Hand Surg Br* 1989; 14: 383-391
51. **So YC**, Chow SP, Pun WK et al. Evaluation of results in flexor tendon repair: a critical analysis of five methods in ninety-five digits. *J Hand Surg Am* 1990; 15: 258-264
52. **Boulas HJ**, Strickland JW. Strength and functional recovery following repair of flexor digitorum superficialis in zone 2. *J Hand Surg Br* 1993; 18: 22-25

53. **Silferskiold KL**, May EJ. Flexor tendon repair in zone II with a new suture technique and an early mobilization program combining passive and active flexion. *J Hand Surg Am* 1994; 19: 53-60
54. **Kleinert HE**, Verdan C. Report of the Committee on Tendon Injuries (International Federation of Societies for Surgery of the Hand). *J Hand Surg Am* 1983; 8: 794-798
55. **Strickland JW**, Glogovac SV. Digital function following flexor tendon repair in Zone II: a comparison of immobilization and controlled passive motion techniques. *J Hand Surg Am*. 1980; 5:537-43.
56. **Hudak PL**, Amadio PC, Bombardier C. 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* 1996; 29: 602-608
57. **Germann G**, Wind G, Harth A. [The DASH (Disability of Arm-Shoulder-Hand) Questionnaire- a new instrument for evaluating upper extremity treatmentoutcome]. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 1999; 31: 149-152
58. **Beaton DE**, Wright JG, Katz JN et al. Development of the Quick DASH: comparison of three item-reduction approaches. *J Bone Joint Surg Am* 2005; 87: 1038-1046
59. **Rigo IZ**, Rokkum M. Predictors of outcome after primary flexor tendon repair in zone 1, 2 and 3. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 793-801
60. **Chan TK**, Ho CO, Lee WK et al. Functional outcome of the hand following flexor tendon repair at the 'no man's land'. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2006; 14: 178-183
61. **Dy CJ**, Hernandez-Soria A, Ma Y et al. Complications after flexor tendon repair: a systematic review and meta-analysis. *J Hand Surg Am* 2012; 37: 543-551 e541
62. **Urbaniak JR**, Cahill JD, Mortenson RA (1975) Tendon suturing methods: analysis of tensile strength. In: Surgeons AAoO (Hrsg) Symposium on tendon surgery in the hand. Mosby, St.Louis, S 70–80

63. **Siemers F**, Beugesehnenverletzungen: Sind neue Behandlungskonzepte wirklich besser? Trauma und Berufskrankheit Volume 16, pages 164–166 (2014)
64. **Zechner W**, Buck-Gramcko D, Lohmann H et al. Improvement of suture technic in flexor tendon injuries. Clinical and experimental study]. Handchir Mikrochir Plast Chir 1985; 17: 8-13
65. **Kleinert H**, Primary repair of lacerated flexor tendons in "No Man's Land". J Bone Joint Surg 1967; 49A, 577
66. **Strickland JW**, Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress. J Hand Surg 2000; 25:214–235
67. **Chesney A**, Chauhan A, Kattan A et al. Systematic review of flexor tendon rehabilitation protocols in zone II of the hand. Plast Reconstr Surg 2011; 127: 1583-1592
68. **Schöffel V**, Winkelmann HP, Traumatische und degenerative Läsionen der Sehnen an der Hand, Der Orthopäde 39, 1108–1116 (2010)
69. **Rosberg HE**, Carlsson KS, Hojgard S et al. What determines the costs of repair and rehabilitation of flexor tendon injuries in zone II? A multiple regression analysis of data from southern Sweden. J Hand Surg Br 2003; 28: 106-112
70. **Betz C**, Schleicher P, Winkel R et al. Biomechanical investigation of the tensile strength of tendon sutures - locking sutures increase stability. Handchir Mikrochir Plast Chir 2013; 45: 20-25
71. **Chesney A**, Chauhan A, Kattan A et al. Systematic review of flexor tendon rehabilitation protocols in zone II of the hand. Plast Reconstr Surg 2011; 127: 1583-1592
72. **Bedeker J**, Knobloch, K, Vogt, P. M. Umfrage 2008 unter den Mitgliedern der DGH zur operativen Versorgung der Beugesehnenverletzung, 50. Kongress der DGH 2009
73. **Hunter JM**: Rehabilitation of the hand. Saint Louis (1978)
74. **Jordan MC**, Schmitt V, Jansen H, Meffert RH, Hoelscher-Doht S. Biomechanical Analysis of the Modified Kessler, Lahey, Adelaide, and Becker Sutures for Flexor Tendon Repair. J Hand Surg Am. 2015;40(9):1812-1817.

75. **Thurman RT**, Trumble TE, Hanel DP et al. Two-, four-, and six-strand zone II flexor tendon repairs: an in situ biomechanical comparison using a cadaver model. *J Hand Surg Am* 1998; 23: 261-265
76. **Lalonde D**, Higgins A. Wide Awake Flexor Tendon Repair in the Finger. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2016; 4: e797
77. **Wang CJ**, Wang FS, Yang KD, *et al*. Shock wave therapy induces neovascularization at the tendon-bone junction. A study in rabbits *J Orthop Res* 2003; 21: 984
78. **Lee EW**, Maffulli N, Li CK, Chan KM. Pulsed magnetic and electromagnetic fields in experimental achilles tendonitis in the rat: a prospective randomized study *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78: 399-404.
79. **Fujita M**, Hukuda S, Doida Y. The effect of constant direct electrical current on intrinsic healing in the flexor tendon *in vitro*. An ultrastructural study of differing attitudes in epitenon cells and tenocytes *J Hand Surg Br* 1992; 17: 94-8.
80. K. Libberecht, C. Lafaire, R. Van Hee, Evaluation and Functional Assessment of Flexor Tendon Repair in the Hand, *Acta chir belg*, 2006, 106, 560-565

## 7. Abbildungsverzeichnis

		<b>Seite</b>
<b>Abbildung 1</b>	Anatomie Digitus II-V der Hand: Ansatzstellen des M. flexor digitorum profundus und superficialis mit Begleitendem GNB.	<b>4</b>
<b>Abbildung 2</b>	Die Verstärkungsbänder des Fingers mit 5 Ringbändern (A1-A; Ligg. anularia) und 3 kreuzförmigen Bändern (C1-C3; Ligg. obliqua). Die breiten, verstärkten A2- und A4-Ringbänder über der Grund- und Mittelphalanx sind für eine optimale Sehnenfunktion besonders wichtig.	<b>6</b>
<b>Abbildung 3</b>	a) Normalbefund; b) Bowstring Effekt bei Verlust der Ringbänder A2 und A3	<b>7</b>
<b>Abbildung 4</b>	Schematischer Aufbau einer Sehne. Liu et al.2008	<b>8</b>
<b>Abbildung 5</b>	Zoneneinteilung der Finger DII-V nach Nigst 1976, gelb= Zone 1, orange= Zone 2 „no man´s land“, grün= Zone 3, blau= Zone 4, lila= Zone 5	<b>11</b>
<b>Abbildung 6</b>	Nahttechniken nach a) Kirchmayr (1917) und b) Bunnel (1918)	<b>14</b>
<b>Abbildung 7</b>	a) Mod. Kirchmayr-Naht nach Kleinert 1967, b) Modifizierte Kirchmayr-Naht nach Zechner 1985 und Ringnaht, c) Die Kessler-Naht 1973, d) Die Tsuge-Naht 1975	<b>15</b>
<b>Abbildung 8</b>	Funktionsprüfung der Beugesehnen. a) Die intakte Sehne des FDP beugt das DIP-Gelenk. b) Die unversehrte FDS-Sehne flektiert das PIP-Gelenk, während die Aktion des FDP durch Extension der übrigen Langfinger ausgeschaltet wird	<b>20</b>
<b>Abbildung 9</b>	a) Extension im MCP-Gelenk, b) Flexion im MCP-Gelenk, c) Flexion im PIP-Gelenk und DIP-Gelenk	<b>22</b>
<b>Abbildung 10</b>	Jamar -Dynamometer	<b>24</b>
<b>Abbildung 11</b>	KEY-Pinch Dynamometer	<b>24</b>

<b>Abbildung 12</b>	Übersicht Behandlungsalgorithmus: Ausgangspunkt ist die Versorgung der durchtrennten Beugesehne mit einer 4-Strang Kirchmayr Kessler Naht modifiziert nach Zechner und der sich anschließenden aktiven oder passiven-dynamischen Nachbehandlung.	<b>30</b>
<b>Abbildung 13</b>	a) Schnittführung bei Verletzungen in der Hand. b) KK – Vierstrangnaht modifiziert nach Zechner und anschließender Ringnaht	<b>32</b>
<b>Abbildung 14</b>	Entwicklung des Bewegungsausmaßes der erkrankten Seite im PIP+DIP Gelenk im Verlauf der Nachkontrolle im Verhältnis zur gesunden Seite inkl. Darstellung der Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanz, p)	<b>44</b>
<b>Abbildung 15</b>	Entwicklung der Total aktive Motion (TAM= Bewegungsausmaß MCP + DIP + PIP Gelenk) im Verlauf der Nachkontrollen inkl. Darstellung der Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanz, p)	<b>44</b>
<b>Abbildung 16</b>	Graphische Darstellung der Notenverteilung. blau= TAM, rot= Strickland grün= adv. Strickland	<b>48</b>
<b>Abbildung 17</b>	Auswertung Jamar-Dynamometer nach 6 Monaten und bei Abschlusskontrolle, jeweils für die Gesunde und Erkrankte Seite. Darstellung der Max. und Min. erreichten Kilogramm, plus der medianen Abweichung vom Mittelwert.	<b>50</b>
<b>Abbildung 18</b>	Fotodokumentation von Patient 11 mit einer TAM im PIP-Gelenk von Flex. /Ext 80/80/0. Der Patient wurde aufgefordert folgende Handstellungen durchzuführen a) Krallhand, b) gestreckte Finger spreizen c) Faustschluss d) Grundstellung	<b>52</b>
<b>Abbildung 19</b>	Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 1 (Teil 1): Angaben der Teilnehmer bezüglich der verwendeten Strangzahl.	<b>54</b>
<b>Abbildung 20</b>	Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 1 (Teil 2): Angaben der Teilnehmer bezüglich der verwendeten Nahttechnik	<b>54</b>
<b>Abbildung 21</b>	Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 2: Antworten bezüglich des verwendeten Nahtmaterials für die Kernnaht	<b>55</b>
<b>Abbildung 22</b>	Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 4: Angaben über die Dauer der ambulanten Weiterbehandlung	<b>56</b>

<b>Abbildung 23</b>	Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 5: bezüglich des verwendeten Nachbehandlungsprotokoll	<b>57</b>
<b>Abbildung 24</b>	Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 5: bezüglich der Verwendeten Zusammenarbeit mit Physiotherapie/ Ergotherapie	<b>58</b>
<b>Abbildung 25</b>	Graphische Darstellung der Antworten zu Frage 9 und 10: Missverhältnis zwischen der Anzahl als sinnvoll erachteten Nachkontrollen und tatsächlich durchgeführten Nachkontrollen	<b>59</b>

## 8. Tabellenverzeichnis

		<b>Seite</b>
<b>Tabelle 1</b>	Intrinsisches System der Handmuskulatur mit Ursprung, Ansatz, Funktion und Besonderheit	<b>5</b>
<b>Tabelle 2</b>	Überblick der Reperatursysteme der Sehnenheilung [Geldmacher und Köckerling 1991, Towfigh 2011, Gelbmacher et al. 1999]	<b>9</b>
<b>Tabelle 3</b>	Heilungsphasen einer Sehne [Geldmacher und Köckerling 1991, Towfigh 2011, Gelbmacher et al. 1999]	<b>9</b>
<b>Tabelle 4</b>	Wichtige Prinzipien für Beugesehennähte (T. Pillukat 2017) [7]	<b>16</b>
<b>Tabelle 5</b>	TAM-Score [80]	<b>21</b>
<b>Tabelle 6</b>	Original Strickland (OS) und adjusted Strickland (AS) [80]	<b>23</b>
<b>Tabelle 7</b>	Zusammenfassung der Patienten in Geschlecht, Alter, betroffene Seite/ Finger/ Sehne und Begleitverletzungen.	<b>41</b>
<b>Tabelle 8</b>	Statistische Analyse des Bewegungsausmaßes TAM nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und bei Abschluss, unter Angabe des Mittelwerts, der Standardabweichung, des maximalen und minimalen Bewegungsausmaßes, der Pearson Korrelation (r) und der statistischen Signifikanz (p)	<b>43</b>
<b>Tabelle 9</b>	Statistische Analyse des Bewegungsausmaßes PIP° + DIP° nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und bei Abschluss, unter Angabe des Mittelwerts, der Standardabweichung, des maximalen und minimalen Bewegungsausmaßes, der Pearson Korrelation (r) und der statistischen Signifikanz (p)	<b>43</b>
<b>Tabelle 10</b>	TAM und TAM-Score a) nach 6 Wochen, b) 3 Monaten, c) nach 6 Monaten, d) bei Abschluss	<b>45</b>
<b>Tabelle 11</b>	SL + adjusted SL nach a) 6 Wochen, b) 3 Monaten, c) 6 Monaten und d) bei Abschluss	<b>48</b>
<b>Tabelle 12</b>	Notensystem TAM, Strickland, adv. Strickland Notenverteilung 1-5	<b>49</b>

<b>Tabelle 13</b>	Ergebnisse unserer Patientendaten nach Notensystem jeweils für TAM, Strickland und adv. Strickland bei Abschlusskontrolle.	<b>49</b>
-------------------	--	-----------

## 9. Anhang

### Anhang 1:

Patient Nr.	Bewegungsausmaß der Gesunden Seite in °			Bewegungsausmaß nach 6 Wochen in °		
1	MCP 90/0/5	PIP 100/0/0	DIP 50/0/0	MCP 70/25/0	PIP 40/30/0	DIP 30/0/0
2	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 70/0/0	MCP 95/0/15	PIP 80/15/0	DIP 45/10/0
3	MCP 90/0/35	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 90/0/20	PIP 80/40/0	DIP 30/10/0
4	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 70/0/0	MCP 95/0/5	PIP 70/0/0	DIP 15/0/0
5	MCP 105/0/10	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 100/0/5	PIP 90/0/0	DIP 70/0/0
6	MCP 90/0/5	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/0/0	DIP 40/5/0
7	MCP 90/0/10	PIP 100/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/30/0	DIP 35/15/0
8	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 75/0/0	MCP 70/0/0	PIP 95/0/0	DIP 40/0/0
9	MCP 95/0/15	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	MCP 95/15/0	PIP 65/30/0	DIP 35/5/0
10	MCP100/0/20	PIP 95/0/0	DIP 85/0/0	MCP 85/0/15	PIP 85/30/0	DIP 45/0/0
11	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 60/0/0	MCP 80/0/5	PIP 80/70/0	DIP 30/0/0
12	MCP 80/0/0	PIP 90/0/0	DIP 45/0/0	MCP 95/0/5	PIP 70/20/0	DIP 35/5/0
13	MCP 90/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/5	PIP 75/5/0	DIP 25/5/0
14	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 80/0/0	PIP 85/30/0	DIP 30/25/0
15	MCP 95/0/30	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 90/0/20	PIP 100/5/0	DIP 60/0/0
16	MCP 90/0/0	PIP 100/0/0	DIP 95/0/0	MCP 85/0/0	PIP 80/10/0	DIP 45/45/0
17	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 105/0/20	PIP 110/35/0	DIP 60/30/0
18	MCP 105/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	MCP 105/0/5	PIP 85/5/0	DIP 50/5/0
19	MCP 100/0/0	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 100/0/0	PIP 75/0/0	DIP 85/30/0
20	MCP 90/0/20	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	/	/	/
21	MCP 90/0/15	PIP 85/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/5	PIP 80/50/0	DIP 70/0/0
22	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 80/10/0	PIP 80/5/0	DIP 40/35/0
23	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/20	PIP 90/35/0	DIP 60/30/0
24	MCP 90/0/20	PIP 90/0/0	DIP 85/0/0	MCP 90/0/5	PIP 80/60/0	DIP 70/10/0

Patient Nr.	Bewegungsausmaß der Gesunden Seite in °			Bewegungsausmaß nach 3 Monaten in °		
1	MCP 90/0/5	PIP 100/0/0	DIP 50/0/0	MCP 80/0/0	PIP 90/0/0	DIP 35/0/0
2	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 70/0/0	MCP 95/0/15	PIP 90/0/0	DIP 60/0/0
3	MCP 90/0/35	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 90/0/40	PIP 100/30/0	DIP 30/5/0
4	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 70/0/0	MCP 100/0/5	PIP 65/25/0	DIP 25/5/0
5	MCP 105/0/10	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	/	/	/
6	MCP 90/0/5	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 95/0/0	PIP 90/0/0	DIP 60/0/0
7	MCP 90/0/10	PIP 100/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/20/0	DIP 60/10/0
8	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 75/0/0	MCP 90/0/5	PIP 100/0/0	DIP 40/0/0
9	MCP 95/0/15	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	MCP 95/0/20	PIP 80/35/0	DIP 45/0/0
10	MCP100/0/20	PIP 95/0/0	DIP 85/0/0	MCP 95/0/0	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0
11	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 60/0/0	/	/	/
12	MCP 80/0/0	PIP 90/0/0	DIP 45/0/0	MCP 95/0/0	PIP 70/0/0	DIP 40/0/0
13	MCP 90/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	/	/	/
14	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/30/0	DIP 30/25/0
15	MCP 95/0/30	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 90/0/20	PIP 100/0/0	DIP 80/0/0
16	MCP 90/0/0	PIP 100/0/0	DIP 95/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/5/0	DIP 60/30/0
17	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/20/0	PIP 100/0/0	DIP 70/30/0
18	MCP 105/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	MCP 110/0/5	PIP 90/5/0	DIP 50/5/0
19	MCP 100/0/0	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 100/0/0	PIP 80/0/0	DIP 70/30/0
20	MCP 90/0/20	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	MCP 80/0/15	PIP 70/40/0	DIP 55/30/0
21	MCP 90/0/15	PIP 85/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/15	PIP 85/45/0	DIP 80/0/0
22	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 80/0/0	DIP 40/30/0
23	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/20	PIP 90/0/0	DIP 70/15/0
24	MCP 90/0/20	PIP 90/0/0	DIP 85/0/0	MCP 90/0/15	PIP 90/45/0	DIP 80/0/0

Patient Nr.	Bewegungsausmaß der Gesunden Seite in °			Bewegungsausmaß nach 3 Monaten in °		
1	MCP 90/0/5	PIP 100/0/0	DIP 50/0/0	MCP 90/0/0	PIP 65/25/0	DIP 35/0/0
2	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 70/0/0	MCP 95/0/20	PIP 90/0/0	DIP 65/0/0
3	MCP 90/0/35	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 90/0/40	PIP 100/20/0	DIP 65/5/0
4	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 70/0/0	MCP 90/0/15	PIP 90/0/0	DIP 70/15/0
5	MCP 105/0/10	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 105/0/10	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0
6	MCP 90/0/5	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 95/0/10	PIP 100/0/0	DIP 65/0/0
7	MCP 90/0/10	PIP 100/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/10/0	DIP 70/10/0
8	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 75/0/0	/	/	/
9	MCP 95/0/15	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	MCP 95/0/35	PIP 95/10/0	DIP 90/0/0
10	MCP100/0/20	PIP 95/0/0	DIP 85/0/0	MCP 95/0/0	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0
11	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 60/0/0	MCP 80/0/10	PIP 80/80/0	DIP 40/0/0
12	MCP 80/0/0	PIP 90/0/0	DIP 45/0/0	MCP 90/0/0	PIP 75/0/0	DIP 50/0/0
13	MCP 90/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	MCP 95/0/5	PIP 80/5/0	DIP 30/0/0
14	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/25/0	DIP 35/25/0
15	MCP 95/0/30	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 95/0/20	PIP 100/0/0	DIP 80/0/0
16	MCP 90/0/0	PIP 100/0/0	DIP 95/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/0/0	DIP 90/25/0
17	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 100/0/20	PIP 100/0/0	DIP 80/30/0
18	MCP 105/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	MCP 110/0/5	PIP 90/0/0	DIP 65/20/0
19	MCP 100/0/0	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 100/0/0	PIP 85/0/0	DIP 85/10/0
20	MCP 90/0/20	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	MCP 80/0/20	PIP 80/40/0	DIP 55/25/0
21	MCP 90/0/15	PIP 85/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/15	PIP 85/0/0	DIP 80/0/0
22	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/0/0	DIP 45/30/0
23	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 100/0/20	PIP 100/0/0	DIP 80/30/0
24	MCP 90/0/20	PIP 90/0/0	DIP 85/0/0	MCP 90/0/15	PIP 90/15/0	DIP 85/0/0

Patient Nr.	Bewegungsausmaß der Gesunden Seite in °			Bewegungsausmaß nach bei Abschluss in °		
1	MCP 90/0/5	PIP 100/0/0	DIP 50/0/0	MCP 85/0/0	PIP 70/15/0	DIP 40/0/0
2	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 70/0/0	MCP 95/0/20	PIP 90/0/0	DIP 65/0/0
3	MCP 90/0/35	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 90/0/35	PIP 100/15/0	DIP 60/5/0
4	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 70/0/0	MCP 90/0/15	PIP 90/0/0	DIP 70/5/0
5	MCP 105/0/10	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 105/0/10	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0
6	MCP 90/0/5	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/10	PIP 115/0/0	DIP 80/0/0
7	MCP 90/0/10	PIP 100/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/5/0	DIP 90/25/0
8	MCP 90/0/10	PIP 95/0/0	DIP 75/0/0	MCP 90/0/0	PIP 100/0/0	DIP 60/0/0
9	MCP 95/0/15	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	MCP 95/0/35	PIP 90/10/0	DIP 90/0/0
10	MCP100/0/20	PIP 95/0/0	DIP 85/0/0	MCP 95/0/0	PIP 95/0/0	DIP 85/0/0
11	MCP 95/0/5	PIP 90/0/0	DIP 60/0/0	MCP 80/0/20	PIP 80/80/0	DIP 45/0/0
12	MCP 80/0/0	PIP 90/0/0	DIP 45/0/0	MCP 95/0/0	PIP 80/0/0	DIP 50/0/0
13	MCP 90/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	MCP 95/0/0	PIP 80/5/0	DIP 35/0/0
14	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 90/0/0	DIP 85/25/0
15	MCP 95/0/30	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 95/0/20	PIP 100/0/0	DIP 85/0/0
16	MCP 90/0/0	PIP 100/0/0	DIP 95/0/0	MCP 90/0/0	PIP 100/0/0	DIP 95/25/0
17	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 105/0/20	PIP 105/0/0	DIP 80/30/0
18	MCP 105/0/10	PIP 90/0/0	DIP 80/0/0	MCP 110/0/5	PIP 90/0/0	DIP 70/10/0
19	MCP 100/0/0	PIP 100/0/0	DIP 90/0/0	MCP 110/0/0	PIP 90/0/0	DIP 95/0/0
20	MCP 90/0/20	PIP 95/0/0	DIP 90/0/0	MCP 85/0/20	PIP 85/35/0	DIP 55/25/0
21	MCP 90/0/15	PIP 85/0/0	DIP 80/0/0	MCP 90/0/0	PIP 85/0/0	DIP 80/0/0
22	MCP 90/0/0	PIP 95/0/0	DIP 80/0/0	MCP 95/0/0	PIP 90/0/0	DIP 70/40/0
23	MCP 100/0/20	PIP 110/0/0	DIP 80/0/0	MCP 105/0/20	PIP 100/0/0	DIP 80/20/0
24	MCP 90/0/20	PIP 90/0/0	DIP 85/0/0	MCP 90/0/15	PIP 90/15/0	DIP 85/0/0

Anhang 2:

# Beugesehnenverletzung **1** (direkt postoperativ)

Patientenetikett
------------------

Datum: \_\_\_\_\_

Unfalldatum: \_\_\_\_\_

OP-Datum: \_\_\_\_\_

Verletzte Seite:    Rechts     Links

Verletzte(r) Finger:	D1	D2	D3	D4	D5
	<input type="checkbox"/>				
Verletzte Sehne:	FPL	FDP FDS	FDP FDS	FDP FDS	FDP FDS
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Zone	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				
Begleitverletzung	A1 N1 A2 N2	A3 N3 A4 N4	A5 N5 A6 N6	A7 N7 A8 N8	A9 N9 A10
N10	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Sonstige Begleitverletzung/Besonderheit: \_\_\_\_\_

Nahttechnik: K.-K. 4-Strang

K.K.-2-Strang

Sonstige

D__	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-----
D__	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-----
D__	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-----
D__	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-----

Nachbehandlung:            aktiv             passiv

Begründung: \_\_\_\_\_

Handtherapie veranlasst    am \_\_\_\_\_    Handtherapie begonnen    am \_\_\_\_\_

Schiene veranlasst            am \_\_\_\_\_    Schiene erhalten            am \_\_\_\_\_

Aktives Bewegungsausmaß korrespondierende(r) Finger der **Gegenseite**:

D__ F/E	MCP	PIP	DIP
	___/___/___	___/___/___	___/___/___
D__ F/E	MCP	PIP	DIP
	___/___/___	___/___/___	___/___/___
D__ F/E	MCP	PIP	DIP
	___/___/___	___/___/___	___/___/___
D__ F/E	MCP	PIP	DIP
	___/___/___	___/___/___	___/___/___

## Beugesehnenverletzung **2** (6 Wochen postoperativ)

Patientenetikett
------------------

Datum: \_\_\_\_\_

Handtherapie verläuft nach Plan: ja  nein

Schienenbehandlung verläuft nach Plan: ja  nein

Kommentar: \_\_\_\_\_

Aktives Bewegungsausmaß betroffene(r) Finger:

D\_\_ F/E MCP \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ PIP \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ DIP \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

## Beugesehnenverletzung **3** (3 Monate postoperativ)

Patientenetikett
------------------

Datum: \_\_\_\_\_

Aktives Bewegungsausmaß betroffene(r) Finger:

D\_\_ F/E MCP \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ PIP \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ DIP \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Komplikationen: \_\_\_\_\_

# Beugesehnenverletzung **4** (6 Monate postoperativ)

Patientenetikett
------------------

Datum: \_\_\_\_\_

Aktives Bewegungsausmaß betroffene(r) Finger:

D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___
D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___
D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___
D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___

Grobkraft rechts \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ kg

Grobkraft links \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ kg

Spitzgriff betroffene(r) Finger:  
der Gegenseite:

Spitzgriff korrespondierender Finger

D_	___/___/___	kg

D_	___/___/___	kg

DASH Fragebogen ausgefüllt

Komplikationen: \_\_\_\_\_

# Beugesehnenverletzung **5** (12 Monate postoperativ)

Patientenetikett
------------------

Datum: \_\_\_\_\_

Aktives Bewegungsausmaß betroffene(r) Finger:

D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___
D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___
D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___
D_	F/E	MCP	___/___/___	PIP	___/___/___	DIP	___/___/___

Grobkraft rechts \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ kg

Grobkraft links \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ kg

Spitzgriff betroffene(r) Finger:  
der Gegenseite:

Spitzgriff korrespondierender Finger

D_	___/___/___	kg

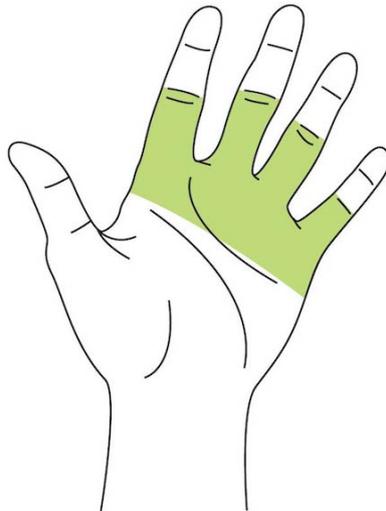
D_	___/___/___	kg

DASH Fragebogen ausgefüllt

Komplikationen: \_\_\_\_\_

**Anhang 3:**

**Gehen sie Bitte von einer isolierten Verletzung der tiefen Beugesehne der Zone 2 an einem Finger aus.**



**1 Welche Nahttechnik verwenden Sie für die Kernnaht?**

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- 2-Strang
- 4-Strang
- Kirchmayr-Kessler oder Modifikationen (Bitte Modifikation bei 'Andere Methode' beschreiben)
- Tsuge
- Tajima
- Savage
- 3-Strang
- 6-Strang
- 8-Strang
- Andere Methode:

**2 Welches Nahtmaterial verwenden Sie für die Kernnaht?**

(Bitte wählen Sie eine Antwort aus.)

- resorbierbar, geflochten
- resorbierbar, monofil
- nicht resorbierbar, geflochten
- nicht resorbierbar, monofil
- Andere:

**3 Welches Nahtmaterial verwenden Sie bei der Feinadaptationsnaht?**

(Bitte wählen Sie eine Antwort aus.)

- resorbierbar, monofil
- resorbierbar, geflochten
- nicht resorbierbar, monofil
- nicht resorbierbar, geflochten
- keine Adaptationsnaht
- Andere:

**4 Wie lange sind die Patienten bei Ihnen in ambulanter Behandlung?**

(Bitte wählen Sie eine Antwort aus.)

- mindestens 1 Woche
- mindestens 2 Wochen
- mindestens 3 Wochen
- mindestens 4 Wochen
- mindestens 6 Wochen

**5 Welches Nachbehandlungsschema wird bei Ihnen angewandt?**

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- aktive Nachbehandlung
- passive-dynamische Nachbehandlung mittels Kleinert-Schiene
- Duran-Houser Protokoll
- Andere Methode:

**6 Erhalten die Patienten eine Form von Physiotherapie / Ergotherapie?**

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- Immer
- Meistens
- Selten
- Nie
- Physiotherapie
- Ergotherapie
- Andere:

**7 Besteht eine Kooperation mit einer Praxis für Physiotherapie oder Ergotherapie?**

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- Ja, die Praxis für Ergotherapie befindet sich im Haus.
- Ja, die Praxis für Physiotherapie befindet sich im Haus.
- Ja, ich arbeite mit einer externen Praxis für Ergotherapie zusammen.
- Ja, ich arbeite mit einer externen Praxis für Physiotherapie zusammen.
- Ja, ich arbeite mit einer externen Praxis zusammen, die sich auf Handtherapie spezialisiert hat.
- Nein, ich arbeite mit keiner bestimmten Praxis zusammen.

**8** **Wie oft pro Woche erhalten die Patienten Physiotherapie / Ergotherapie?**

(Bitte wählen Sie eine Antwort aus.)

- 1x / Woche
- 2x / Woche
- 3x / Woche
- 4x / Woche
- 5x / Woche
- Andere:

**9** **Wie oft halten Sie eine ärztliche postoperative Kontrolle für sinnvoll?**

(Bitte wählen Sie eine Antwort aus.)

- keinmal
- mindestens 1x
- mindestens 2x
- mindestens 3x
- mindestens 4x
- mindestens 5x
- Wenn öfters als 5x, bitte hier angeben.

**10** **Wie oft werden die Patienten postoperativ tatsächlich von einem Arzt kontrolliert?**

(Bitte wählen Sie eine Antwort aus.)

- keinmal
- mindestens 1x
- mindestens 2x
- mindestens 3x
- mindestens 4x
- mindestens 5x
- Wenn öfters als 5x, bitte hier angeben.

**11** Wenn eine Diskrepanz zwischen den Antworten der Fragen 9. und 10. besteht, was ist hierfür ausschlaggebend?

Wenn keine Diskrepanz besteht, kann diese Frage ausgelassen werden.

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- Vergütungssituation der privaten Krankenversicherung
- Vergütungssituation der gesetzlichen Krankenversicherung
- Zeitmangel
- Andere:

**12** In welcher Einrichtung und Fachrichtung üben Sie ihren Beruf aus?

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- Uniklinikum
- städtisches Klinikum
- private Klinik
- private Praxis
- reine Handchirurgie
- Plastische Chirurgie
- Unfallchirurgie

**13** Führen sie eine Qualitätskontrolle durch bzw. werden die Patienten nach Ausheilung zur Ergebnisdokumentation einbestellt.

- Ja
- Nein

## Anhang 4:

### DISABILITIES OF THE ARM, SHOULDER AND HAND

# THE *quick* DASH

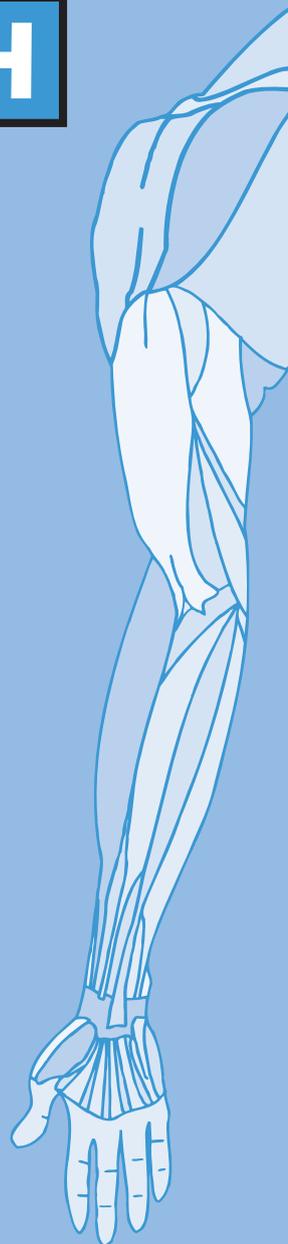
#### ANLEITUNG

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. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
3. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
4. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
5. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
6. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.) <sup>1</sup>	1	2	3	4	5

7. 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

8. 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 Beschwerden während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
9. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
10. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

11. 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

## 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. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
3. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
4. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
5. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
6. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.) <sup>1</sup>	1	2	3	4	5

7. 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

8. 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 Beschwerden während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
9. Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5
10. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand	1	2	3	4	5

11. 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

## **10. Danksagung**

Ein herzliches Dankeschön geht an das Team der Abteilung für Handchirurgie, Plastische Chirurgie und Ästhetische Chirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München Campus Innenstadt, unter der Leitung von Herrn Univ. Prof. Dr. R. E. Giunta die mich bei der Erstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Priv. Doz. Elias Volkmer, der mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt und mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

Der größte Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium überhaupt erst ermöglicht haben und mir in allen Belangen zur Seite standen.

Vielen Dank auch an meine Geschwister, meine Frau Juliane, Florentine für die Unterstützung bei den Zeichnungen, Thomas für die Korrekturlesung und meinen Freunden, welche mich während der gesamten Studienzeit und der Erstellung dieser Arbeit begleitet haben.