

Diplomarbeit

**Primäre Stumpfbildung bei Langfingeramputationen
Ergebnisse einer Umfragestudie**

eingereicht von

Alexander Draschl

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive
Chirurgie**

unter der Anleitung von

Priv.-Doz. Dr. med. Sebastian Philipp Nischwitz

und

Univ.-Doz. Dr. Werner Girsch

Graz, 27.03.2023

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 27.03.2023

Alexander Draschl eh.

Danksagungen

Meinen beiden Betreuern Univ.-Doz. Dr. Werner Girsch und Priv.-Doz. Dr. med. Sebastian Philipp Nischwitz gilt großer Dank für die außerordentlich hervorragende Betreuung dieser Diplomarbeit – diese Form der Unterstützung sehe ich nicht als selbstverständlich.

Bei Priv.-Doz. Dr. med. Sebastian Philipp Nischwitz möchte ich mich insbesondere für die konstruktiven Rückmeldungen, ermutigenden Worte und wertvollen Ratschläge im Rahmen der Diplomarbeit vielmals bedanken. Neben seinem Engagement hinsichtlich der Diplomarbeit hat er mich jedoch vor allem außerhalb dieser unterstützt. Durch Priv.-Doz. Dr. med. Nischwitz und sein Vertrauen in mich durfte ich bereits in jungen Jahren Erfahrungen bei wissenschaftlichen Projekten sammeln. Er hat somit die Grundlage für meine Entwicklung im Bereich der wissenschaftlichen Arbeit gelegt und damit einen wertvollen Beitrag zu meiner Weiterentwicklung geleistet. Vielen lieben Dank!

Univ.-Doz. Dr. Werner Girsch bin ich ebenso zu Dank bezüglich der fachspezifischen Unterstützung verpflichtet. Er hat mich nicht nur im Rahmen der Diplomarbeit unterstützt, sondern ermöglichte mir zudem einige spannende und seltene Fälle im Operationssaal erleben zu dürfen. Durch seine menschliche und chirurgische Kompetenz wurde ich besonders inspiriert.

Des Weiteren möchte ich mich auf diesem Weg, um nur einige zu nennen, bei Dr. med. univ. Patrick Reinbacher, Dr. med. univ. Andrzej Hecker sowie Dr. med. univ. Hanna Luze für die Möglichkeiten der wissenschaftlichen Mitarbeit bei diversen Projekten bedanken. Auch sie haben einen wesentlichen Beitrag für meine wissenschaftliche als auch charakterliche Weiterentwicklung geleistet.

Schlussendlich möchte ich mich bei meiner Familie und Partnerin für den Rückhalt und die Unterstützung über all die Jahre bedanken. Ich darf mich mit euch glücklich schätzen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	1
Inhaltsverzeichnis	2
Abkürzungen und deren Erklärung	4
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis.....	7
Zusammenfassung in Deutsch	8
Abstract in English	10
1 Einleitung.....	11
1.1 <i>Wissenschaftlicher Hintergrund</i>	11
1.2 <i>Kurzgefasste anatomische Grundlagen</i>	13
1.2.1 Fingerknochen	13
1.2.2 Fingergelenke	15
1.2.3 Sehnenanatomie	16
1.2.4 Leitungsbahnen der Finger	21
1.3 <i>Fingeramputationen</i>	25
1.3.1 Einteilung der Fingeramputationen.....	26
1.3.2 Grundlagen der Therapiemöglichkeiten.....	26
1.4 <i>Die (primäre) Stumpfbildung</i>	29
1.4.1 Therapieziele	29
1.4.2 Grundlagen und Grundüberlegungen der primären Stumpfbildung.....	30
2 Material und Methoden.....	35
2.1 <i>Fragestellung</i>	35
2.2 <i>Kollektiv der Expert*innen</i>	35
2.3 <i>Studienablauf</i>	35
2.4 <i>Zielgrößen</i>	37
2.5 <i>Inhalt des Fragebogens</i>	38
2.6 <i>Datenerhebung und Statistik</i>	38

3	Ergebnisse – Resultate mit graphischen Darstellungen	39
3.1	<i>Demographie der allgemeinen Parameter</i>	40
3.1.1	Alter (F1)	40
3.1.2	Geschlecht (F2)	41
3.1.3	Stammgesellschaft (F3)	42
3.1.4	Chirurgische Berufserfahrung (F4)	43
3.2	<i>Hauptzielgrößen</i>	44
3.2.1	Deskriptive Statistik	44
3.2.2	Induktive Statistik	56
4	Diskussion	63
4.1	<i>Die „ideale“ Technik der Stumpfversorgung</i>	63
4.2	<i>Diskussion der einzelnen Aspekte</i>	64
4.2.1	Beachtung funktioneller Aspekte	64
4.2.2	Technik der (Nach-)Amputation	64
4.2.3	Aspekte bei der transossären Resektion	66
4.2.4	Aspekte bei der Exartikulation	66
4.2.5	Kollateralnerven	67
4.2.6	Neuromprävention	68
4.2.7	Beugesehnen	71
4.2.8	Strecksehnen	73
4.3	<i>Limitationen der Studie</i>	73
5	Schlussfolgerung	75
6	Literaturverzeichnis	76
7	Anhang	87
7.1	<i>Votum der Ethikkommission</i>	87
7.2	<i>Inhalt des Fragebogens</i>	89

Abkürzungen und deren Erklärung

>, ≥	größer als, größer gleich
<, ≤	kleiner als, kleiner gleich
A., Aa.	Arteria, Arteriae
ant.	anterior
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DACH	Deutschland (D), Österreich (A), Schweiz (CH)
DGH	Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie
DIP-Gelenk	Distales Interphalangealgelenk
F1-14	Frage 1-14
FDP	Flexor digitorum profundus
FDS	Flexor digitorum superficialis
ggf.	gegebenenfalls
IP-Gelenk	Interphalangealgelenk
Lig., Ligg.	Ligamentum, Ligamenta
M., Mm.	Musculus, Musculi
MCP	Metacarpophalangealgelenk
mm	Millimeter
N., Nn.	Nervus, Nervi
ÖGH	Österreichische Gesellschaft für Handchirurgie
φ, φc	Phi (Effektstärke), Cramers Phi (Effektstärke)
PIP-Gelenk	Proximales Interphalangealgelenk
R., Rr.	Ramus, Rami
SGH	Schweizerische Gesellschaft für Handchirurgie
u. a.	unter anderem
V., Vv.	Vena, Venae
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <i>Musculus flexor digitorum superficialis</i> eines rechten Unterarms von palmar (eigene Skizze)	17
Abbildung 2: <i>Musculus flexor digitorum profundus</i> eines rechten Unterarms von palmar (eigene Skizze)	19
Abbildung 3: Schematische Darstellung der sensiblen Innervation der Hand über Äste des <i>N. medianus</i> (rot), <i>N. ulnaris</i> (violett) und <i>N. radialis</i> (grün). Links: <i>Palma manus</i> (rechte Hand). Rechts: <i>Dorsum manus</i> (rechte Hand).....	23
Abbildung 5: Grafische Darstellung des Studienablaufs.....	37
Abbildung 6: Grafische Darstellung der Altersverteilung der Studienteilnehmer*innen (Kreisdiagramm).....	40
Abbildung 7: Geschlechterverteilung unter den Befragten	41
Abbildung 8: Anteil (in Prozent) der Mitglieder in Abhängigkeit der Zugehörigkeit zur Stammgesellschaft.....	42
Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der chirurgischen Berufserfahrung.....	43
Abbildung 10: Beachtung der Weichteilsituation unter maximalen Längenerhalt mit/ohne Beachtung funktioneller Aspekte. Grafische Darstellung mittels Balkendiagramm und Angabe der Antworten in absoluten Zahlen.	44
Abbildung 11: Grafische Darstellung der präferierten Technik zur (Nach-)Amputation in absoluten Zahlen.....	45
Abbildung 12: Darstellung der insgesamt 8 von 210 unter "Sonstiges" als Freitext angegebenen Antworten in absoluten Zahlen in Bezug auf Frage 6 (F6)	46
Abbildung 13: Grafische Darstellung der Angaben (in Prozent) bezüglich der zusätzlichen Knochenglättung bei transossärer Resektion (Kreisdiagramm).	47
Abbildung 14: Anzahl der Expert*innen, welche den Gelenkknorpel im Rahmen von IP-Gelenkexartikulationen der Langfinger entfernen.....	48
Abbildung 15: Anzahl an Expert*innen, welche eine Reduktion des residualen Phalangealkopfes bei der IP-Gelenkexartikulation durchführen bzw. nicht durchführen...	49
Abbildung 16: Anzahl der Expert*innen, welche nur die palmaren, nur die dorsalen, oder beide Kollateralnerven beachten/behandeln.	50
Abbildung 17: Techniken zur Behandlung der Kollateralnerven. Dargestellt sind die Antworten in absoluten Zahlen.....	51

Abbildung 18: Mittels Freitextes unter "Sonstiges" angegebene Techniken zur Behandlung der Kollateralnerven in absoluten Zahlen.....	52
Abbildung 19: Angaben der spezifischen Technik zur Prävention schmerzhafter Neurome in absoluten Zahlen: A = Verlagerung der Nervenenden weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent); B = Verlagerung der Nervenenden weg vom Nahtbereich; C = Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf; D = Verlagerung der Nervenenden in den Knochen; E = Primäre Koaptation der Nervenenden miteinander (Loopbildung); F = Sonstiges (Exhairese)	53
Abbildung 20: Technik zur Versorgung der Beugesehnen: A = Keine weitere Kürzung der Sehne; B = Weitere Sehnenkürzung unter axialem Zug; C = Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen; D = Vernähen mit dem Strecksehnenstumpf; E = Sonstiges.	54
Abbildung 21: Angaben der bevorzugten Technik zur Versorgung der Strecksehnen.	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Befragten, welche den Fragebogen beantwortet haben. F1-F4, F7-F8 und F12 wurden von allen Teilnehmer*innen beantwortet. Die Fragen F7-F9 sowie F12 wurden entsprechend einer Logik abgefragt.	39
Tabelle 2: Unterschiede in Abhängigkeit der Stammgesellschaft (Chi-Quadrat-Tests); ^a Pearson-Chi Quadrat, ^b Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton.....	56
Tabelle 3: Daten der statistischen Auswertung (Chi-Quadrat-Tests) zur Unterscheidung der Antworten zwischen Mitgliedern mit ≤ 20 oder > 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung; ^a Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton, ^b Kontinuitätskorrektur.....	60

Zusammenfassung in Deutsch

Hintergrund: Traumatische Fingeramputationen sind die häufigsten Amputationsverletzungen der oberen Extremität. Ist der Weichteilschaden nach einer Amputationsverletzung zu groß oder eine Replantation nicht möglich, ist die Durchführung einer primären Stumpfbildung erforderlich. Obwohl sie eine der ältesten beschriebenen Operationen ist, werden nach wie vor unterschiedliche Techniken empfohlen und eingesetzt. Diese Arbeit untersucht, inwiefern sich die Herangehensweise im deutschsprachigen Raum unterscheidet, um einen möglichen Konsens finden.

Methoden: Mitglieder der ÖGH (Österreichische Gesellschaft für Handchirurgie), DGH (Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie) und SGH (Schweizerische Gesellschaft für Handchirurgie) wurden adressiert, um an einer Online-Umfrage teilzunehmen. Kernelemente des Fragebogens beinhalteten die präferierten Vorgehensweisen in Bezug auf die Technik der Stumpfbildung und der Versorgung knöcherner Strukturen, Kollateralnerven sowie Beuge- und Strecksehnen. Die Antworten der Teilnehmer*innen wurden statistisch ausgewertet. Eine Antwortrate von > 75% wurde als Konsens definiert. Zusätzlich wurden Unterschiede in Abhängigkeit von der Gesellschaft (ÖGH vs. DGH vs. SGH) und von der chirurgischen Berufserfahrung (≤ 20 Jahre vs. > 20 Jahre) analysiert.

Ergebnisse: Von etwa 1670 adressierten Expert*innen beteiligten sich 213 Personen (12.75%) an der Umfrage. Weitgehender Konsens besteht hinsichtlich der Knochenglättung bei transossärer Resektion (98.80%), der Gelenkknorpelentfernung (78.91%) bei Exartikulation sowie der Behandlung der Beuge- (Sehnenkürzung unter axialem Zug: 81.16%) und Strecksehnen (Belassen der Situation: 92.27%). Kein Konsens besteht hinsichtlich der Art der (Nach-)Amputation, der Reduktion des Phalangealkopfes bei Exartikulation sowie der Behandlung der Nerven inklusive Neuromprävention. International und abhängig von der Berufserfahrung zeigen sich Unterschiede bei der Behandlung von Beugesehnen respektive Kollateralnerven.

Schlussfolgerung: Durch diese Studie konnten wertvolle Daten über die primäre Stumpfbildung bei Langfingeramputationen gesammelt werden. Hinsichtlich der verschiedenen Techniken besteht im Zuge der primären Stumpfbildung in den meisten Aspekten weitgehender Konsens, welcher zum Großteil weder von Nation noch von Berufserfahrung abhängig ist. Ein nicht bestehender Konsens ist jedoch insbesondere hinsichtlich der Behandlung der Kollateralnerven sowie der Neuromprävention deutlich.

Künftige prospektive Studien sollten sich daher vor allem mit diesen Aspekten befassen, um weiterführende Vorteile aufzudecken.

Abstract in English

Background: Traumatic digit amputations are the most common upper extremity amputation injuries. Digital amputation injuries may require surgical amputation and primary stump formation if the distal tissue is non-salvageable or if replantation is impossible. Although it is one of the oldest described, various techniques are still recommended and performed by different hand surgeons. This study examined whether differences exist among hand surgeons in German-speaking countries to provide a possible consensus and display current trends.

Methods: Members of the Austrian Society of Surgery for the Hand (ÖGH), the German Society for Hand Surgery (DGH), and the Swiss Society for Hand Surgery (SGH) were addressed to participate in our online survey. Key components of the questionnaire included the preferred approaches regarding the technique of amputation and the management of bony structures, digital nerves, and tendons (flexor tendons and extensor tendons). The participants' responses were reviewed and statistically evaluated. The threshold for the definition of consensus was $\geq 75\%$. In addition, differences depending on the society (ÖGH vs. DGH vs. SGH) and on the surgical professional experience (≤ 20 years vs. > 20 years) were analyzed.

Results: 213 of the about 1670 addressed experts (12.75%) took part in the survey. There is a consensus regarding bone smoothing during resection through bone (98.80%), articular cartilage removal (78.91%) during disarticulation, and management of flexor (“*pull and resect*” technique: 81.16%) and extensor tendons (no further shortening: 92.27%). There is no consensus on the technique of surgical bone transection, the reduction of the phalangeal head during disarticulation and the treatment of digital nerves including neuroma prevention.

There is a difference in the treatment of flexor tendons and nerve shortening when analyzed on a nation- and experience-related level.

Conclusion: In this study, valuable data about primary stump formation in digit amputation injuries at the level of the IP joints could be collected. There is a broad consensus on most aspects, which for the most part do not differ either from the nation or from the surgical experience. However, the lack of consensus is particularly evident regarding the treatment of the digital nerves and neuroma prevention. Future prospective studies should therefore primarily address these aspects to uncover further advantages.

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund

Fingerverletzungen, wie auch Verletzungen der Fingerkuppe, können Menschen jeden Alters betreffen und vor allem für berufstätige Personen sowie Kinder verheerend sein (1). Insbesondere Amputationsverletzungen können gravierende psychische und physische Auswirkungen auf Patient*innen haben (2) sowie zu sozialem Rückzug und reduzierter Lebensqualität führen (3). In erster Linie sind junge berufstätige Männer von traumatischen Fingeramputationen betroffen, wodurch Einkommensverluste und Hinderungen künftiger Verdienste entstehen können (4,5). Die größte Inzidenz von Langfingeramputationen sind laut publizierter Literatur in Australasien (207,5 Fälle pro 100 000 Einwohner), sowie Ost- (184,3 Fälle pro 100 000 Einwohner) und Zentraleuropa (154,1 Fälle pro 100 000 Einwohner) zu verzeichnen (6).

Traumatische Amputationsverletzungen kommen bei Erwachsenen insbesondere durch beruflich bedingte Gefahren, wie etwa durch Inbetriebnahme und Einsatz einer Motorsäge, vor (1,2). Amputationen der Finger können jedoch auch im elektiv-chirurgischen Setting, wie bei der Resektion von Malignomen und dem Management von chronischen Erkrankungen wie der Dupuytren-Kontraktur oder peripheren Gefäßerkrankungen, vorkommen; ebenso kann die Fingeramputation die Folge einer schweren Sepsis sein (7).

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten einen amputierten oder devaskularisierten Finger zu behandeln: die Replantation bzw. Revaskularisation oder die Stumpfbildung durch (Nach-)Amputation mittels transossärer Resektion bzw. Exartikulation (8–10). Die Entscheidung, welche der beiden Optionen durchgeführt wird, hängt von den Verletzungseigenschaften (wie beispielsweise Amputationshöhe, Verletzungsmechanismus und betroffene Finger), den Patient*inneneigenschaften (wie Alter, Komorbiditäten und Nikotinabusus) (11) sowie dem Patient*innenwunsch (12) ab. Oft ist eine Replantation nicht, oder nur unter gewissen Voraussetzungen, möglich (13). Absolute Indikationen für die Replantation sind Daumenamputationen, multiple Fingeramputationen (11), Mittelhand- und Handamputationen sowie Amputationsverletzungen bei Kindern (14). In der Literatur werden Einzelfingeramputationen distal der Insertionsstelle des *Musculus flexor digitorum superficialis* ebenso als Indikation einer Replantation angeführt (15). Die Replantation kann zwar in den genannten Fällen zu verbesserten funktionellen Ergebnissen führen, jedoch erreichen die replantierten Finger im Regelfall nicht ihre ursprüngliche

Funktionstüchtigkeit (16–18). Außerdem kann ein replantierter Finger mit inadäquater Funktionstauglichkeit die Gesamtfunktion der Hand mehr beeinträchtigen als eine Hand mit einem gut verheilten Stumpf (19). Die Stumpfbildung ist insbesondere bei traumatischen Fingerverletzungen - wie der Amputation eines oder mehrerer Finger - eine der am häufigsten durchgeführten Operationen in der Handchirurgie (13). Aus Sicht der Patient*innen kann sie durch ihre zweckmäßige Durchführung in der Notaufnahme und der schnelleren Rückkehr in das Arbeitsleben sozioökonomische Vorteile bieten (20). Aus chirurgischer Sicht ist die Stumpfversorgung im Vergleich zur Replantation weniger komplex und die postoperative Therapie gestaltet sich weniger fordernd (21).

Zu den Zielen der Stumpfversorgung im Bereich der oberen Extremität zählen prinzipiell die Erhaltung der funktionellen Länge, die dauerhafte und stabile Abdeckung von Knochen, Sehnen, Gefäßen und Nerven, der Erhalt der notwendigen Sensibilität, die Prävention von symptomatischen Neuomen, die Vermeidung von benachbarten Gelenkkontrakturen, und die frühe Rückkehr an den Arbeitsplatz (22,23). Weitere Ziele der Stumpfversorgung im Bereich der Finger sind die Maximierung der Funktion und die Minimierung der Entstellung (13). In Bezug auf die Fingerspitze fokussiert man sich zudem zusätzlich auf die Wiederherstellung der Sensibilität im Bereich der Fingerspitze und Strapazierfähigkeit derselben sowie auf die Gewährleistung einer adäquaten Knochenunterstützung für ein störungsfreies Nagelwachstum (24).

Obwohl Handchirurg*innen hinsichtlich der Ziele der Stumpfversorgung mehr oder minder einen Konsens gefunden haben, zeigte eine Studie, welche die technischen Variationen unter Handchirurg*innen in den Vereinigten Staaten von Amerika untersuchte, dass es in gewissen Aspekten beträchtliche Unterschiede bei der Durchführung von Stumpfbildungen im Bereich der Interphalangealgelenke (IP-Gelenke) der Langfinger gibt (8). Eine derartige Untersuchung erfolgte bis dato nicht im deutschsprachigen Raum (DACH-Länder).

Die vorliegende Diplomarbeit dient daher als Ergänzung zur oben genannten Studie von *Li et al.* (8), um das präferierte chirurgische Vorgehen bei der Stumpfversorgung an Langfingern zu eruieren. Dabei lag der Fokus der Studie auf der chirurgischen Herangehensweise bei der primären Stumpfbildung ohne Möglichkeit der Replantation im Rahmen von traumatischen, nicht-infizierten Fingeramputationen auf Höhe der IP-Gelenke. Wesentliche Inhalte bildeten Fragen bezüglich funktioneller Aspekte, der Technik zur Durchtrennung/Exartikulation, des Managements des residualen Gelenkknorpels, der Kollateralnerven und der Sehnen (Beugesehnen und Strecksehnen)

sowie der Neuromprävention. Außerdem dient diese Arbeit dem Überblick über die momentanen Therapiestandards in der Stumpfversorgung im deutschsprachigen Raum.

1.2 Kurzgefasste anatomische Grundlagen

Die Anatomie der Hand und des Unterarms ist sehr umfangreich und komplex. Obwohl die für die Thematik dieser Diplomarbeit relevanten Strukturen der Langfinger zum Teil ihren Ursprung an Unterarm oder Hand nehmen, werden diese im Weiteren nicht näher im Detail abgehandelt, da dies den Rahmen der Diplomarbeit sprengen würde. Vielmehr wurde versucht, einen strukturierten und pragmatischen Ansatz zu wählen, um die betroffenen Strukturen zu beschreiben.

1.2.1 Fingerknochen

Die *Ossa digitorum/Ossa digiti manus* (*Phalanges*, Fingerknochen) sind Röhrenknochen, weisen als Lamellenknochen eine reiche Osteonverteilung in den Schichten der knöchernen Kompakta auf, und bestehen aus je einer Epi- sowie Diaphyse (25,26). Palmar befinden sich im Bereich der Fingergelenke zusätzliche kleine Knochen (*Ossa sesamoidea*), welche in Sehnen und Bänder als Schaltknochen eingelagert sind (27).

Jeder Langfinger besteht aus drei Fingerknochen unterschiedlicher Länge: *Phalanx proximalis*, *Phalanx media* und *Phalanx distalis* (25,26). Die *Phalanx* selbst wird wiederum von proximal nach distal unterteilt in eine Fingerknochenbasis (*Basis ossis phalangis*), einen Fingerknochenkörper (*Corpus ossis phalangis*) und einen Fingerknochenkopf (*Caput ossis phalangis*) (25,26,28).

Phalanx proximalis. Die *Basis ossis phalangis proximalis* ist im proximalen Aspekt breit ausladend und trägt zudem die flach-ovale Gelenkfläche für den Kopf des Metakarpalknochens (25,29). Eine schwach ausgeprägte parallel zum dorsalen Gelenkflächenrand befindliche knöcherne Kante dient als Anheftungszone für die Kapselbänder (25,26). Sowohl radial als auch ulnar weist die Grundgliedbasis knöcherne Rauigkeiten auf, die durch die Anhaftung der Seitenbänder der *Articulatio metacarpophalangealis* (MCP-Gelenk) sowie durch die Ansätze der *Mm. interossei* bedingt sind (25,30). Zwischen den seitlichen Vorsprüngen befindet sich palmar eine seichte Vertiefung für die Beugeschnen und tief dazu befindet sich die Anheftung der palmaren Platte (25,30). Der Grundgliedschaft zeigt in Längsrichtung einen leicht

konkaven palmaren Bogen (25,29,31). Die seitlichen und dorsal konvexen Schaftflächen sind glatt und werden gegenüber der konkaven palmaren Seite durch zwei Knochenkanten abgegrenzt (25,29). An den Knochenkanten ist das Ringband A2 der Flexorenscheide festgeheftet (32–34). Zwischen dem mittleren und distalen Drittel des *Corpus ossis phalangis proximalis* befindet sich im Verlauf der knöchernen Randleisten ein kleiner Höcker mit nach distal gerichteter Spitze (25). Dieser Höcker dient dem *Lig. retinaculare obliquum* (Landsmeer-Band) als Befestigung (35,36). Das *Caput* selbst ist im Sinne einer trapezförmigen Rolle geformt (25,29).

Phalanx media. Abgesehen von der unterschiedlichen Gestaltung der IP-Gelenkflächen ist der Aufbau der *Phalanx media* der der *Phalanx proximalis* sehr ähnlich (25). Im Bereich der *Basis ossis phalangis media* erhebt sich im dorsalen Aspekt die Knochenkante zur proximal gelegenen Gelenkfläche zu einem *Tuberculum*, an welchem die *Pars medialis* des *Tractus intermedius* der *Aponeurosis dorsalis digitorum manus* inseriert (25,29). An der palmaren Knochenkante der Basis setzt die palmare Platte an (25,37). Im Gegensatz zum Grundglied sind jedoch die ulnaren und radialen Knochenkanten des Mittelglieds im Schaftbereich stärker und die palmare Krümmung schwächer ausgeprägt (25,29,31). Die seitlichen Knochenkanten der *Phalanx media* dienen der Befestigung der beiden FDS-Sehnen sowie dem Ringband A4 (25,34,38). Der Fingerknochenkopf des Mittelglieds ist als *Trochlea* gestaltet (29).

Phalanx distalis. Das Fingerendglied ähnelt den beiden anderen Fingerknochen lediglich im Bereich der Basis. Im dorsalen Aspekt der *Basis phalangis distalis* befindet sich proximal ein aufgeworfener Knochenrand für den Ansatz der Endausläufer der *Aponeurosis dorsalis digitorum manus* (25,26,36). Die Basis setzt sich nach distal, spiegelbildlich V-förmig von zwei *Tubercula* begrenzt, auf den Schaft fort (25,26,31). Die seitlichen Höcker dienen als Anheftungszonen für die FDP-Sehnen sowie als Befestigung für das *Lig. phalangeale proprium*, die *Ligg. collateralia*, die Ausläufer der kutanen Cleland-Bänder und für die proximalen seitlichen Ausläufer des Nagelbetts (25,26,39,40). Der in proximodistaler und radioulnarer Richtung konvex gekrümmte Schaft geht distal in eine Verbreiterung (*Tuberositas phalangis distalis*) über, in der sich das Bindegewebe der Fingerbeere verankert (25,26,29). Zusätzlich weist der Nagelkranz zwei nach proximal gerichtete knöchernen Stacheln auf (25,26,41).

1.2.2 Fingergelenke

In diesem Kapitel wird lediglich zu den *Articulationes interphalangeales* Stellung genommen, da sich die Diplomarbeit mit Langfingeramputationen im Bereich der IP-Gelenke beschäftigt. Auf eine Beschreibung der Fingergrundgelenke, welche eingeschränkte Kugelgelenke darstellen (29), wird verzichtet.

Sowohl das proximale Interphalangeal- (PIP-) als auch das distale Interphalangeal- (DIP-) Gelenk sind Scharniergelenke mit einem Freiheitsgrad, welche eine Flexion bzw. Extension ermöglichen (29,42,43). Die rollenförmigen Fingerknochenköpfe (*Caput sive Trochlea phalangis*) der Grund- und Mittiglieder artikulieren mit den Basen der Mittel- und Endglieder, welche mit einer Führungsleiste versehen sind (25,26,29,43). Zu den Bändern und Kapselverstärkungen der IP-Gelenke zählen die *Ligg. collateralia/Ligg. collateralia accessoria* und *Ligg. phalangoglenoidalia*, die Dorsalaponeurose sowie die *Ligg. palmaria* (kleine palmare Platte) (26,29,36,44–46).

1.2.2.1 Articulatio interphalangealis proximalis (PIP-Gelenk)

Das Gelenk wird in Flexionsstellung (bei Beugung über 60°) über die gespannten Kollateralbänder stabilisiert (25,29,45,47). In Streckstellung lässt die Spannung der Kollateralbänder nach und führt somit durch mögliche seitliche Verschiebung der Gelenkpartner im PIP-Gelenk zu einer Instabilität (25,48). Dieser Instabilität wird jedoch durch orthogonal zur Bewegungsachse des Mittelgelenks gerichtete Muskelkräfte (dadurch werden die Gelenkflächen aneinandergedrückt) entgegengewirkt (25,48). Die Überstreckung wird durch das Anspannen des *Lig. collaterale accessorium* (Fixierung der palmaren Platte) verhindert (25,26,29,37,48). Die maximale Beugung im PIP-Gelenk beträgt 100° (25,29,30,43,49,50).

1.2.2.2 Articulatio interphalangealis distalis (DIP-Gelenk)

Das DIP-Gelenk ist ähnlich aufgebaut wie das PIP-Gelenk (25,29,50,51). Die maximale Flexion im DIP-Gelenk beträgt 90° (29). Eine Hyperextension ist bis etwa 10° möglich, da die palmare Platte des DIP-Gelenks keine Anheftung am Knochen besitzt (25,51).

1.2.3 Sehnenanatomie

Die Langfinger selbst sind muskelfrei (25–27,49). Die Bewegungen der oben beschriebenen Gelenke werden durch Muskeln bewerkstelligt, deren überwiegender Anteil im Bereich der Unterarme zu finden sind (32,38,39,43,49). Das extrinsische Muskel-Sehnen-System der Finger entspringt dabei vom Unterarm, während die Muskeln des intrinsischen Systems alle im Bereich der Hand selbst liegen (25,27,32,43,49,52,53). Im Bereich der Langfinger finden sich schließlich die Sehnen einiger dieser Muskeln (29,49,52). Auch wenn es für zielgerichtete Bewegungen einem komplexen Zusammenspiel aus vielen verschiedenen Muskeln bedarf, wird aufgrund der thematischen Relevanz im Folgenden nur auf die entsprechenden Sehnen eingegangen, welche sich strukturell an den Langfingern befinden (extrinsisches System).

1.2.3.1 Beugesehnen der Langfinger

Die Beugesehnen des extrinsischen Muskel-Sehnen-Systems der Finger sind relativ konstant mit dem *Nervus medianus* im Handgelenk angeordnet und variieren hauptsächlich nur dann, wenn Muskel- oder Sehnenanomalien vorliegen. Sie verlaufen alle gemeinsam mit dem *N. medianus* durch den Karpaltunnel (29,49,54–56).

1.2.3.1.1 *M. flexor digitorum superficialis (FDS)*

Der *M. flexor digitorum superficialis* (FDS) ist Teil der zweiten Schicht der ventralen Flexorengruppe des Unterarms und hat drei Köpfe, die als Ursprünge dienen (29,49,55). Das *Caput humerale* hat seinen Ursprung am *Epicondylus medialis humeri*, das *Caput ulnare* am *Processus coronoideus ulnae* und das *Caput radiale* an der Speiche distal der *Tuberositas radii* im Bereich der *Facies anterior radii* (29,49,55).

Die Insertionspunkte des *M. flexor digitorum superficialis* befinden sich an den seitlichen knöchernen Leisten des Mittelglieds der Finger II-V (29,49,55). Bevor die Sehnen jedoch inserieren, spaltet sich jeweils jede Sehne im Bereich des proximalen Drittels der Grundphalanx (*Bifurcatio tendinis*) in zwei laterale Zügel/Schenkel auf (29,49,54,55), welche spiralig verdreht sind (25). So wird der Durchtritt der Sehne des *M. flexor digitorum profundus* (FDP-Sehne) gewährleistet (33,37,48,54). Die in zwei Anteile gespalteten FDS-Sehnen führen jeweils eine Rotation von 180° um die Längsachse durch und vereinigen sich partiell distal der Bifurkationsstelle auf Höhe des Gelenks zwischen

der *Phalanx proximalis* und *Phalanx media*, wodurch eine dünne Sehnenplatte aus sich überziehenden Fasern, das *Chiasma tendinum Camperi*, geformt wird, welches viele Variationen aufweist (29,49,55,57).

Funktionell ist der *M. flexor digitorum superficialis* für die Flexion in den Grund- und Mittelgelenken der Finger II-V zuständig (29,43,49,55). Ebenso dient er als schwacher Beuger im Ellbogengelenk (49). Die Innervation erfolgt durch den *N. medianus* (Segmente: C7-Th1) (29,49,55,56).

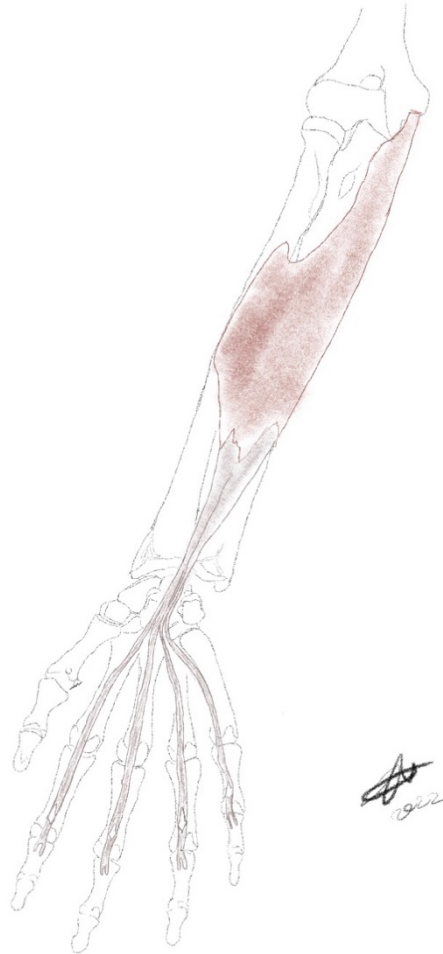


Abbildung 1: *Musculus flexor digitorum superficialis* eines rechten Unterarms von palmar (eigene Skizze)

1.2.3.1.2 *M. flexor digitorum profundus (FDP)*

Der *M. flexor digitorum profundus* (FDP) befindet sich gemeinsam mit dem *M. flexor pollicis longus* in der dritten von insgesamt vier Schichten der ventralen Flexorengruppe des Unterarms und hat seinen Ursprung an den proximalen zwei Dritteln der *Facies anterior ulnae* bzw. der angrenzenden Region der *Membrana interossea* (29,49,55,58). Somit entspringen die FDP-Sehnen etwa in der Mitte des Antebrachiums aus dem kräftigen Muskelbauch (25,49). Der Muskel besteht aus vier parallel angeordneten Muskelbäuchen (25,29,30,49,58), welche als „*M. perforans*“ durch die Sehnenschenkel des *M. flexor digitorum superficialis* auf Höhe der Grundphalanx hindurchtreten (25,49) und an der Basis der *Phalanges distales II-V* palmar ansetzen (25,29,49,55,59), wobei die FDP-Sehne am distalen Ende durch eine Rinne unvollständig geteilt wird (25,49). Im mittleren Abschnitt der Hohlhand fungieren die FDP-Sehnen auch als Ursprung für die *Mm. lumbricales* (29,49,60,61).

Die Funktion der FDP-Sehnen liegen in der Beugung der MCP-, PIP-, und DIP-Gelenke der Finger II-V (29,43,49,55,59). Außerdem ulnarduziert und beugt dieser Muskel in den Handgelenken (29,49,55,62,63). Die nervale Innervation erfolgt durch den *N. medianus* (Finger II und III) aus den Segmenten C7-Th1 und den *N. ulnaris* (Finger IV und V) aus den Segmenten C8-Th1 (29,49,55,56).

Aufgrund der Tatsache, dass die FDP-Sehnen meist einem gemeinsamen Muskelbauch entspringen sowie die Sehnen untereinander verbunden sind, haben die Finger eine gewisse Abhängigkeit voneinander, welche sich durch das *Quadriga*-Phänomen nach *Verdan* (25,64,65), einem Phänomen, das die eingeschränkte Beugefunktion bei Verkürzung/Versteifung, Verwachsung oder Verletzung der Sehne des FDP eines benachbarten Fingers an einem nicht betroffenen Finger beschreibt (63,63,65,66).

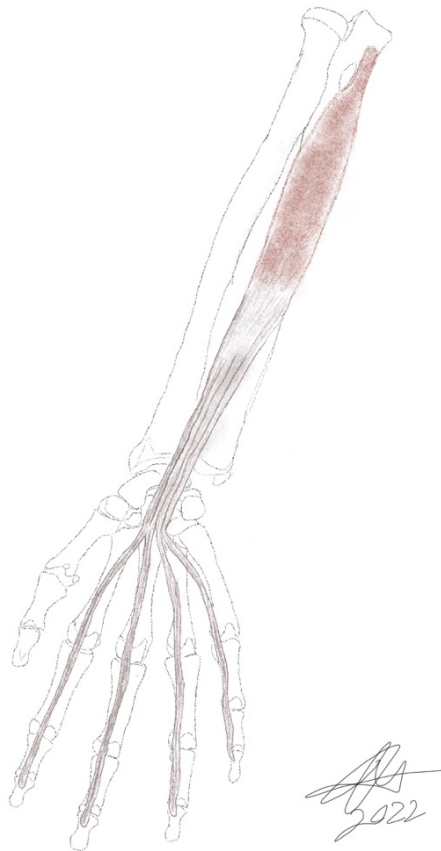


Abbildung 2: *Musculus flexor digitorum profundus* eines rechten Unterarms von palmar (eigene Skizze)

1.2.3.2 Strecksehnen der Langfinger

Wie beim Flexorenapparat unterscheidet man auch bei den Extensoren einen „intrinsischen“ von einem „extrinsischem“ Muskel-Sehnen-Apparat (39,49,53). Die Kombination beider Systeme ist für die Extension in den (Lang-)Fingern und dem Daumen verantwortlich (39,49,53). Der extrinsische Muskel-Sehnen-Apparat des Unterarms wird in eine oberflächliche und in eine tiefe Schicht unterteilt (39,49,58).

1.2.3.2.1 *M. extensor digitorum (communis)*

Der *M. extensor digitorum (communis)* gehört zu den oberflächlichen Extensoren (29,49). Dieser Muskel hat seinen Ursprung - neben der Gelenkkapsel des Ellenbogens und dem aponeurotischen Teil der Unterarmfaszie - am *Epicondylus lateralis humeri* (*Caput*

commune) von welchem er mittels eines Sehnenblatts, das der ganzen Muskelgruppe, der der Muskel angehört (*M. extensor digiti minimi* und *M. extensor carpi ulnaris*) und dem anstoßenden *M. extensor carpi radialis brevis* gemeinsam ist, entspringt (29,49,58,67). Der Muskel setzt an der Streckaponeurose der Finger II-V an, wobei die Sehnen auf Höhe der Köpfe der Metakarpalknochen durch *Connexus intertendinei* verbunden sind (27,29,49,68).

Neben der Streckung der Finger II-V in den Grund-, Mittel-, und Endgelenken (29,49) spreizt (abduziert) der *M. extensor digitorum (communis)* zusammen mit dem *M. extensor indicis* und dem *M. extensor digiti minimi* die Langfinger so lange bis sie in die Richtung der *Metacarpalia* gelangt sind oder diese etwas überschritten haben (43,58,68).

Die nervale Innervation erfolgt über den *Ramus profundus* des *N. radialis* (49,58,69), dessen tiefer Ast auch als *N. interosseus posterior* bezeichnet wird (39,41), mit den dazugehörigen segmentalen Nerven C6, C7 und C8 (49).

1.2.3.2.2 *M. extensor digiti minimi (M. extensor digiti quinti proprius)*

Der langspindelförmige *M. extensor digiti minimi*, auch als *M. extensor digiti quinti proprius* bezeichnet, gehört wie der *M. extensor digitorum (communis)* zur Gruppe der oberflächlichen Extensoren des Antebrachiums (49,58). Er entspringt vom *Caput commune*, welches dem *Epicondylus lateralis humeri* entspricht, und findet nach hindurchtreten durch das fünfte Strecksehnenfach seinen Ansatz in der Dorsalaponeurose des Kleinfingers (36,49,58,70).

Seine Funktionen übt er im Handgelenk im Sinne einer Dorsalextension sowie Ulnarabduktion und im Grund-, Mittel-, und Endgelenk des Kleinfingers als Extension aus (29,49,58). Zusätzlich kann dieser Muskel den Kleinfinger abspreizen (abduzieren) (29,49,58).

Die Innervation erfolgt über den *R. profundus n. radialis* (C6-C8) (49,58,69), dessen Nervenäste proximal und distal vom ulnaren Rand des *M. extensor digitorum (communis)* in das Muskelfleisch des *M. extensor digiti minimi* eintreten (58).

1.2.3.2.3 *M. extensor indicis*

Der *M. extensor indicis (proprius)* gehört zu den tiefen Extensoren (49). Er hat seinen Ursprung an der Dorsalseite der *Ulna* sowie der *Membrana interossea* (29,49). Der Ansatz dieses Muskels entspricht der Insertion der Indexsehne des *M. extensor digitorum*

(*communis*) an der Dorsalaponeurose des Zeigefingers (36,43,49,58). Der Muskel verläuft gemeinsam mit dem *M. extensor digitorum (communis)* durch das vierte Strecksehnenfach im Bereich der Handwurzel (58,61) und übt im Indexfinger im Grund-, Mittel-, und Endgelenk dieselbe Funktion wie der entsprechende Muskel des langen Streckers aus (29,49). Im Handgelenk führt die Kontraktion zu einer Dorsalextension, leichter Ulnarabduktion (58) und wirkt unterstützend bei der Supination (49). Informationen zur Innervation sind aus dem nächsten Kapitel zu entnehmen.

1.2.4 Leitungsbahnen der Finger

Bezüglich der subkutanen Leitungsbahnen kann kurz zusammengefasst werden, dass sich je zwei dorsal und palmar befindliche arterielle sowie nervale subkutane Leitungsbahnen an den Fingern befinden: *Nn. digitales palmares proprii* sowie die *Aa. digitales palmares proprii* und die *Nn. digitales dorsales* sowie die *Aa. digitales dorsales* (29,49).

1.2.4.1 Fingerarterien

Der Großteil der arteriellen Versorgung der Langfinger wird durch den oberflächlichen Hohlhandbogen (*Arcus palmaris superficialis*) gewährleistet (25,49,61,71). Durch Anastomosen mit dem oberflächlichen Hohlhandbogen ist auch der tiefe Hohlhandbogen (*Arcus palmaris profundus*) an der arteriellen Versorgung der Langfinger beteiligt (29,61,72–81).

Zur arteriellen Versorgung der Langfinger zweigt – oft bei bestehender Anastomose zum tiefen Hohlhandbogen - zunächst die *A. digitalis palmaris propria V* für die Versorgung der ulnaren Seite des Kleinfingers aus dem oberflächlichen Hohlhandbogen ab, wobei sich anschließend drei bis vier *Aa. digitales communes* lösen (25,71,81,82). Diese verlaufen zusammen mit den Fingernerven (dabei zu diesen zunächst palmar gelegen) zwischen den Beugesehnen durch Kanäle (gebildet durch die Palmaraponeurose und ihre senkrechten Septen) auf den *Mm. lumbricales* (25,71,81,82). Die *Aa. digitales communes* teilen sich im Bereich der MCP-Gelenke (proximal vom *Lig. metacarpale transversum (Lig. natatorium)* und palmar vom *Lig. metacarpale transversum profundum*) in je zwei *Aa. digitales palmares propriae* zur Versorgung der gegenüberliegenden Fingerseiten der *Digiti II-V* auf, wobei hier häufig Anastomosen mit den *Aa. metacarpales*

palmares existieren (25,71). Da wo sich die Fingerarterien aufteilen geben sie zudem kurze dorsale Äste an das Binde- und Fettgewebe des Zwischenfingerraumes ab und verlaufen fortan – im Gegensatz zu den *Aa. digitales communes* - dorsal der Fingernerven nach distal (25,71). Somit überkreuzen sich die Fingernerven und -arterien in etwa auf Höhe des Grundgelenks der Finger (83).

Fingerendgliedarkaden. Die palmaren Kollateralarterien bilden distal im Bereich des Fingerendglieds, hier vor allem über der Mitte der *Phalanx distalis* und in der Fingerbeere, Arkaden zwischen der radialen und ulnaren Seite (84). Dabei kann die Arkade verschiedenste Formen annehmen wie beispielsweise eine „U-Form“ mit einem Scheitel, der sich in der Mitte der Fingerbeere – etwa 13,7 mm von der Haut des am weitesten distal gelegenen Punkts der Fingerkuppe entfernt (85) – befindet (82), von dem sowohl von der konkaven als auch konvexen Seite des Bogenscheitels kleine Arterienäste zur Fingerbeere und zum Nagelbett zu deren Versorgung abgehen (25,71,86). Auch anastomosierende „Y-“, oder „H-Formen“ wurden beobachtet (82,85).

Dorsaler Aspekt der Langfinger. Ähnlich wie die palmaren Kollateralnerven, versorgen die palmaren Kollateralarterien ebenso die dorsale Seite der Fingermittel- und Fingerendglieder (25) durch Abgabe je eines *R. dorsalis* distal der MCP-Gelenke (29), wohingegen die *Phalanges proximales* von den Metakarpalarterien des *Dorsum manus* erreicht werden, die sich jedoch im Bereich proximal der *Phalanx media* erschöpfen (25,61,71,82). An der dorsalen Seite der Langfinger befinden sich *Aa. digitales dorsales* aus den *Aa. metacarpales dorsales*, welche deutlich schwächer entwickelt sind als die *Aa. digitales palmares proprii* (29,49). Die *Aa. digitales dorsales* verlaufen bis in etwa zum PIP-Gelenk und anastomosieren mit den palmaren Kollateralarterien (87).

1.2.4.2 Fingernerven

Die Digitalnerven werden sowohl vom *N. medianus* als auch von den *Nn. ulnaris et radialis* gespeist und sind so an der (ausschließlich sensiblen) nervalen Versorgung der Finger beteiligt (25,49,61).

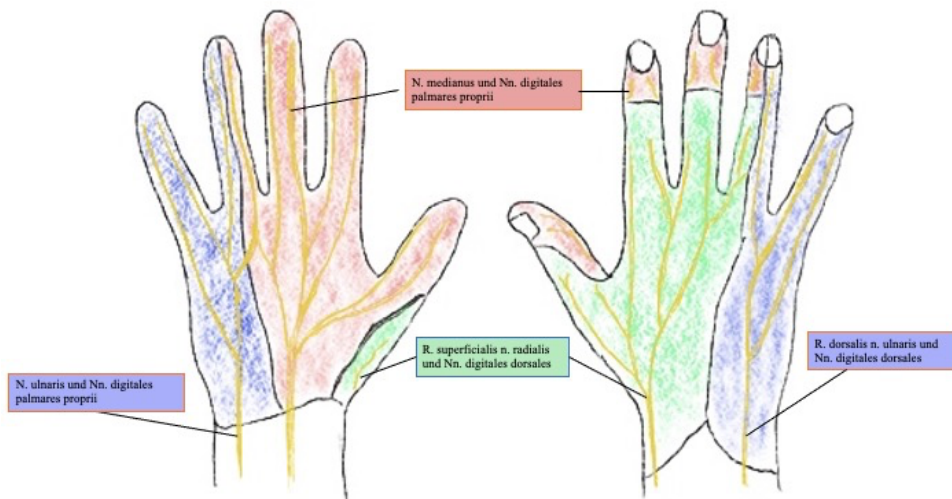


Abbildung 3: Schematische Darstellung der sensiblen Innervation der Hand über Äste des *N. medianus* (rot), *N. ulnaris* (violett) und *N. radialis* (grün). Links: *Palma manus* (rechte Hand). Rechts: *Dorsum manus* (rechte Hand)

1.2.4.2.1 *N. medianus* und *palmare Digitalnerven*

Der *N. medianus* gibt nach seinem Verlauf durch den *Canalis carpi* drei *Nn. digitales palmares communes* ab (25,29,56,61,83). Durch ihre Äste (*Nn. digitales proprii*) versorgt der *N. medianus* die palmaren Anteile der dreieinhalb radialen Finger und deren dorsalen Endabschnitte (87,88).

Zusätzlich zweigt distal der MCP-Gelenke je ein Terminalast nach dorsal (*R. dorsalis*) zur nervalen Versorgung des Mittel- bzw. Endglieds ab (29,87), welcher häufig eine Verbindung mit dem *N. digitalis dorsalis proprius* aufweist (25,61). Weitere Terminaläste sind der *R. subungualis* sowie die Nervengeflechte im Bereich der Fingerkuppen (83). Das autonome Gebiet des *N. medianus* an den Langfingern befindet sich im Bereich der Endglieder (palmar und dorsal) des Index- sowie Mittelfingers (49,88).

1.2.4.2.2 *N. ulnaris*

Der *N. ulnaris* teilt sich bereits im *Guyon-Tunnel* im Bereich des Handgelenks in einen überwiegend sensiblen Ast (*R. superficialis n. ulnaris*) sowie in einen motorischen Ast (*R. profundus n. ulnaris*) auf (29,83,89,90). Das sensible Autonomiegebiet des *N. ulnaris* befindet sich im Bereich des Kleinfingerendglieds palmar und dorsal (49,88).

Ramus superficialis nervi ulnaris. Der *R. superficialis n. ulnaris* teilt sich in zunächst in den *N. digitalis palmaris proprius V* zur ulnaren Versorgung des Kleinfingers sowie einem *N. digitalis communis IV* auf. Der *N. digitalis communis IV* teilt sich wiederum im distalen Mittelhandbereich in zwei Digitalnerven (*Nn. digitales palmares proprii*) zur sensiblen Innervation des Kleinfingers (radial) und Ringfingers (ulnar) auf (29,83,87). Die Fingernerven aus dem *R. superficialis n. ulnaris* ziehen somit zum Kleinfinger sowie zur ulnaren Seite des Ringfingers (25,61,88). Dementsprechend wird über den *R. superficialis n. ulnaris* die Haut der ulnaren eineinhalb Finger palmar versorgt (29,49,88).

Ramus dorsalis nervi ulnaris. Der Ellenerv versorgt die Haut dorso-ulnar über den *R. dorsalis n. ulnaris* und hat häufig eine Verbindung zum *R. superficialis n. radialis* (27,88,91). Der *R. dorsalis n. ulnaris* teilt sich meist in fünf *Nn. digitales dorsales* zur sensiblen Versorgung des ulnaren *Dorsum manus* sowie der streckseitigen Haut der zweieinhalb ulnaren Finger auf (29,49,87).

Neben der erwähnten topographisch-anatomischen Gegebenheiten des *N. medianus* und *N. ulnaris* im Bereich der Hand gibt es ebenso verschiedenste Arten von Verbindungen zwischen diesen beiden Nerven (25,27,61,89,92–95), auf die jedoch an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird.

1.2.4.2.3 *N. radialis (R. superficialis n. radialis)*

Der *R. superficialis n. radialis* befindet sich im Bereich des Unterarms zunächst auf der Beugeseite und zieht entlang seines Leitmuskels (*M. brachioradialis*) gemeinsam mit der *A. radialis* nach distal und wendet sich erst im distalen Drittel des Unterarms zur Dorsalseite des Handgelenks, wo er in der Regel den *R. communicans ulnaris* zum *N. ulnaris* entsendet (25,61,83,88). Aus diesem Hautast gehen in der Regel vier oder fünf *Nn. digitales dorsales* hervor, die die radialen dreieinhalb Finger an deren Dorsalseite sensibel versorgen (29,83,87). Die ersten beiden dorsalen Radialisäste versorgen die Haut des Daumens (49,83). Der dritte *N. digitalis dorsalis* versorgt die radiale Dorsalseite des Zeigefingers und der vierte Radialisast die angrenzenden Dorsalseiten des Zeige- und Mittelfingers (87). Der fünfte dorsale Fingernerv steht mit einem Ast des *N. ulnaris* an der Streckseite in Verbindung und versorgt die angrenzenden Dorsalseiten von Mittel- und Ringfinger, wobei er häufig durch den *N. ulnaris* dorsal abgelöst wird (Überlappungszone) (83,87).

Somit versorgt der *R. superficialis n. radialis* die Haut der radialen zweieinhalb Langfinger auf der Streckseite (88). Die *Nn. digitales dorsales* aus dem *N. radialis* reichen am Indexfinger bis in etwa zur Mitte des Mittelglieds (87). Die dorsalen Fingernerven, die zum Mittelfinger bzw. zum radialen Aspekt des Ringfingers ziehen, reichen meist nicht weiter als bis zum PIP-Gelenk (49,87). Die verbleibenden distalen streckseitigen Hautareale dieser Finger werden typischerweise über die palmaren Fingernerven des *N. medianus* und *N. ulnaris* sensibel versorgt (25,88).

1.3 Fingeramputationen

Der Großteil der Amputationen (90%) ist, neben der Ursache einer Wahloperation, traumatischer Natur (96,97). Dabei sind Verletzungen der Fingerkuppen am häufigsten (96,97). Insbesondere Personen zwischen 20 und 40 Jahren (97) – hierbei vor allem das männliche Geschlecht (4:1) – sind besonders von traumatischen Amputationsverletzungen betroffen (97,98).

Fingeramputationen stellen eine Verletzung der körperlichen Integrität dar (99,100). Da sie exponiert im Sichtfeld der Betroffenen und der Umwelt liegen, führen diese, neben der funktionellen Beeinträchtigung, nicht selten zu Verarbeitungsstörungen im Sinne pathologischer Trauer, Depression, Angst sowie posttraumatischer Belastungsstörung (99,101).

Arbeitsunfälle mit einer Maschine stellen die häufigste Ursache für traumatische Amputationen im Bereich der Hand dar (96,102). Explosionen, Hochdruckverletzungen, Verbrennungen, Erfrierungen sowie Freizeit- oder Verkehrsunfälle können ebenso Ursache traumatischer Fingeramputationen im Zusammenhang mit komplexen Handverletzungen sein (9,96). Seltener können auch selbst zugefügte Verletzungen aufgrund psychischer Krankheit oder Versicherungsbetrug Ursache zu eine (Finger-)Amputation führen (96). Eine weitere Ursache für Amputationen sind chirurgische Amputationen (103). Diese dienen einerseits zur Lebenserhaltung bei Infektionen, malignen Tumoren sowie Zirkulationsstörungen (103) und andererseits können sie auch der Verbesserung der Funktion im Rahmen von kongenitalen Anomalien, traumatischen Läsionen sowie schweren Funktionsstörungen dienen (100,102,103).

1.3.1 Einteilung der Fingeramputationen

Amputationen im Bereich der Hand zählen zu den Mikroamputationsverletzungen der oberen Extremität und können nach dem Verletzungsausmaß, der Verletzungshöhe, der Verletzungslokalisation (Art und Anzahl der Finger) sowie der Verletzungsursache klassifiziert werden (9). Die Einteilung dient nicht nur dem Überblick, sondern ist ebenso für die Therapieentscheidung (Replantation versus Stumpfbildung) von Bedeutung.

Auf eine nähere Erläuterung der Einteilung der Fingeramputationen wird im Folgenden für das Beibehalten des roten Fadens verzichtet.

1.3.2 Grundlagen der Therapiemöglichkeiten

Wie bereits erwähnt, stehen bei akuten traumatischen Fingeramputationsverletzungen grundsätzlich zwei Optionen der Behandlung zur Verfügung; die Entscheidung zwischen einem Replantationsversuch und einer (primären) Stumpfbildung. In diesem Kapitel möchte ich Grundüberlegungen in der Entscheidungsfindung zwischen Replantation und Stumpfbildung sowie deren Indikationen näher beleuchten. Die Replantation wird hierbei nur in einem geringen Ausmaß beschrieben, da sich diese Arbeit primär mit der Stumpfbildung auseinandersetzt. Im darauffolgenden Kapitel wird die primäre Stumpfbildung erörtert.

1.3.2.1 Die Replantation

Vor der Behandlung eines amputierten Fingers ist es wichtig, den Fall zu beurteilen sowie eine Indikation zu stellen (104). Ob primär die Stumpfversorgung oder die Replantation angestrebt wird, hängt von vielen Faktoren - wie den Verletzungseigenschaften, Patient*inneneigenschaften sowie dem Patient*innenwunsch – ab (12,16,105). Die Durchführung und Sinnhaftigkeit einer Replantation ist oft nicht gegeben bzw. ist eine Replantation nur unter gewissen Voraussetzungen möglich und meist mit der Verlagerung in ein handchirurgisches Zentrum verbunden (100,104,105). Außerdem macht ein Replantationsversuch nur dann Sinn, wenn das Amputat entsprechend intakt sowie ohne thermische Schädigung ist (100). Bei korrekter Amputatlagerung ist der Replantationsversuch bis zu 24 Stunden nach dem Amputationsereignis möglich (106). Jedoch kann bereits der inadäquate Transport oder die unsachgemäße Kühlung des Amputats Ursache einer nicht mehr durchführbaren

Replantation sein und erfordert somit die Versorgung mittels Stumpfbildung (9). Auch wenn die Voraussetzungen einer absoluten Indikation hinsichtlich des Replantationsversuchs im Sinne der Verletzungseigenschaften bestehen, kann die Replantation natürlich ebenso nicht erfolgen, wenn das entsprechende Amputat nicht vorhanden ist (9,14,104).

Einerseits sind aktuell sinkende Zahlen hinsichtlich Amputationsverletzungen und der damit verbundenen Erfahrung mit Replantationen in den hochentwickelten Industriestaaten aufgrund der Arbeitssicherheitsmaßnahmen zu beobachten (100). Andererseits hat sich jedoch der Bereich der Mikrochirurgie so stark weiterentwickelt, dass die Präparation sowie Anastomosierung kleinster Gefäße möglich ist (107,108). Umso wichtiger ist es, dass die Entscheidung für bzw. gegen einen Replantationsversuch von jenem Personal, welches die entsprechende Erfahrung in der Replantationschirurgie vorweist, getroffen werden kann und sollte, um die definitive Versorgung adäquat an Patient*innenbedürfnisse sowie Aspekte der Funktion anpassen zu können (100). Schließlich macht bei der Replantation nicht das Überleben des Amputats, sondern die Funktion des Replantats den Erfolg aus (100).

1.3.2.1.1 Indikationen, Kontraindikationen und Komplikationen

In der Literatur werden hinsichtlich der Replantation absolute und relative Indikationen sowie Kontraindikationen beschrieben (14–16,104).

Absolute Indikationen. Die Fälle der absoluten Indikationen des Replantationsversuchs rechtfertigen die aufwendige und langwierige Behandlung aufgrund ihrer Bedeutung (109,110). Zu den absoluten Indikationen für den Replantationsversuch zählen polydigitale (≥ 2) Langfingeramputationen, Amputationsverletzungen mit gleichzeitiger Verletzung mehrerer Finger (Finger II-V), Daumenamputationsverletzungen, Amputationen der Hand, Mittelhand sowie Amputationsverletzungen bei Kindern (9,14,16,100,104).

Relative Indikationen. Verletzungen, welche eine relative Indikation darstellen, fordern ein eingehendes Arzt-Patient*innen-Gespräch um die Replantationswürdigkeit abzuklären (104). Monodigitale (isolierte) Fingeramputationen der *Digiti II-V* bei intakten Nachbarfingern zählen beispielsweise zu den relativen Indikationen der Replantation (104). In Fällen besonderer beruflicher oder persönlicher Situation, in denen dem betroffenen Finger eine besondere Funktion zugewiesen werden kann, sollte somit die Einstufung als absolute Indikation besonders in Erwägung gezogen werden (104). Daher

ist über das chirurgische Therapieverfahren der monodigitalen Amputationsverletzung bei Erwachsenen auf Grundlage individueller Bedürfnisse im Einzelfall zu entscheiden, wobei grundsätzlich periphere Amputationen als eher günstig hinsichtlich funktioneller Aspekte eingestuft werden (100). Einerseits kann die Replantation eines einzelnen Fingers bei bestehenden Einschränkungen der Sensibilität sowie Beweglichkeit einen förderlichen Beitrag zur Gesamtfunktion der Hand leisten (109,111). Andererseits kann sich ebenso ein replantierter Finger mit inadäquater Funktion negativ auf die Gesamtfunktion der Hand auswirken, sodass in solch einem Fall die Stumpfbildung herangezogen werden sollte (19). Weitere relative Indikationen sind Amputationsverletzungen einzelner Endglieder sowie einzelner Finger (*Digiti II-V*) mit zerstörten Grund- oder Mittelgelenken (104). Beispielsweise kann ein im MCP- oder PIP-Gelenk versteifter Finger die verbliebene Handfunktion zusätzlich stören, während einem isoliert abgetrennten Finger für den/die Patient*in solch eine besondere Bedeutung zukommen kann, sodass aus einer relativen Indikation eine absolute Indikation wird (19,100,104).

Kontraindikationen. Zu den Kontraindikationen der Replantation zählen indes unter anderem Amputationsverletzungen bei Zusatzverletzungen von vitaler Bedeutung, unsachgemäßer Behandlung des Amputats, ausgedehnter Zerstörung des Amputats, Amputationen jenseits der Nagelwurzel, und fehlender Replantationswilligkeit/Kooperationsbereitschaft des/der Patient*in (104). Amputationen jenseits der Nagelwurzel stellen dabei eine Art anatomische Grenze der Replantierbarkeit dar, da in diesem Bereich die Nerven in Endäste verzweigt sind und Venen ausreichenden Kalibers fehlen (100,104).

Komplikationen. Neben den Indikationsstellungen muss man bei der Replantation ebenso die damit assoziierten Komplikationen bedenken. Dabei gefährden Frühkomplikationen das Überleben des Replantats und Spätkomplikationen die Gebrauchsfähigkeit des eingehielten Replantats (112). Die häufigsten Frühkomplikationen sind venöse Thrombosen. Weitere Frühkomplikationen sind (arterielle) Thrombosen mit Nekrosen, arteriovenöse Fisteln, Nachblutungen, Nekrosen trotz intakter Anastomosen und Infektionen (112–114). Verwachsungen der Sehnen (Extensoren und Flexoren), Rupturen der Beugesehnen, das Ausbleiben der Reinnervation, Knochenresorptionen und Pseudoarthrosen, Fehlstellungen, Ankylosen sowie instabile Gelenke zählen zu Spätkomplikationen der Replantation (112–114).

1.4 Die (primäre) Stumpfbildung

Betrifft die chirurgische Amputation die Finger (oder den Daumen), so spricht man von einer Stumpfbildung (100). Die primäre Stumpfbildung ist eine der häufigsten Operationen im Bereich der Handchirurgie (115). Zudem ist sie ebenso einer der ältesten beschriebenen, da Aufzeichnungen über Fingeramputationen aus der Altsteinzeit (Paläolithikum) existieren (115,116).

1.4.1 Therapieziele

Die primäre Stumpfbildung sollte unter Beachtung funktioneller Aspekte sowie unter Berücksichtigung ästhetischer und sozialer Aspekte bestmöglich durchgeführt werden (9,96,100,117). Vor allem werden jedoch im funktionellen Aspekt der Hand insbesondere die Greiffunktion sowie Sensibilität berücksichtigt (118). Dabei ist ein gefühlloser Stumpf nur dann nützlich, wenn dieser als wichtiger Bestandteil der Greiffunktion dient (118).

Um dieses Ziel zu erreichen sind folgende Faktoren von entscheidender Bedeutung: Erhalt einer funktionellen Länge des Stumpfs, eine gute Weichteildeckung, eine nützliche Sensibilität bzw. Schmerzfreiheit, Prophylaxe symptomatischer Neurome, keine angrenzenden Gelenkkontrakturen bzw. Erhalt der Integrität sowie Mobilität nicht zerstörter Gelenke zur Optimierung der Handfunktion, Vermeidung/Minimierung von Nageldeformierungen, kurze Ruhigstellungszeit, frühe Mobilisation sowie eine frühe Wiederaufnahme der Alltags-, Freizeit- und Arbeitsaktivitäten (9,22,23,96,119). Neben diesen Aspekten ist zudem darauf zu achten, dass ebenso ein ästhetisch ansprechendes Ergebnis erzielt und soziale Aspekte (Arbeit) berücksichtigt werden (9,99,119). Weitere Informationen zu den Therapiezielen wurden bereits im Kapitel 1.1 beschrieben.

1.4.2 Grundlagen und Grundüberlegungen der primären Stumpfbildung

Die chirurgische Amputation ist für Patient*innen von großer Bedeutung und für Chirurg*innen eine anspruchsvolle Aufgabe (100,120). Für Patient*innen ist die Amputation mit Verlust, Entstellung sowie Funktionsstörung assoziiert (99,120).

Die einzelnen Finger und auch deren Abschnitte haben eine unterschiedliche Bedeutung für die Gesamtfunktion der Hand und weisen somit unterschiedliche Wertigkeiten je nach Amputationshöhe auf (9,10,58,96,100,104). Wie im nächsten Kapitel genauer erläutert, sind die Basen der *Phalanges* als Gelenkkörper besonders wichtige Strukturen in Bezug funktioneller Aspekte und sollten daher möglichst erhalten werden (10,100,120). Die Wichtigkeit der proximalen Hälften – in weiterer Folge kurz „Basis“ genannt - der *Phalanges distales et mediae* zeichnet sich durch ihre Funktion als Ansatz der FDP- bzw. FDS-Sehnen sowie Elemente der Streckaponeurose aus (9,29,49,121). Außerdem tragen die Basen der Endglieder den Nagelbett-Nagel-Komplex (9,29,100).

Neben der Amputationshöhe ist ebenso zu beachten, welche(r) Finger betroffen ist/sind. Um einen kurzen Überblick über die Relevanz der situativen Bewertung an den *Digit*i selbst in diesem Kapitel zu verschaffen, möchte ich dies zusammenfassend anhand von Beispielen erläutern: Indexfingeramputationspatient*innen mit Amputationshöhen distal der *Phalanx distalis* übertragen in den meisten Fällen den Spitz- und Schlüsselgriff sowie das Aufheben kleiner Gegenstände auf die intakte Spitze des *Digitus III* (9,96). In dieser Situation kann somit, um eine adäquate Weichteildeckung zu ermöglichen, der Knochen so weit wie möglich und nötig gekürzt werden (9,10,55,96). Eine Amputation des Mittelfingers distal des FDS-Sehnenansatzes macht ihn nur mehr für den Grobgriff einsatzfähig (9,42,43,49,96). Liegt eine Amputation proximal der Insertion des oberflächlichen Beugers bzw. proximal des Tuberculum dorsale vor, so ist der verbleibende Stumpf nicht mehr aktiv an Flexions- und Extensionsbewegungen im PIP-Gelenk beteiligt (9,10,43,55,96). Obwohl eine Flexion im Fingergrundgelenk durch die *Mm. lumbricales et interossei* möglich ist (27,83), ist die Erhaltung solch eines übriggebliebenen Stumpfs somit mehr Diskussion der Ästhetik anstatt der Funktion (9,10,100,122). Die Wichtigkeit der Ring- und Kleinfingerlänge ergibt sich durch deren Bedeutung für den Zangen- und Grobgriff (43,49,96,123,124). Daher sollte deren Länge so gut wie möglich für die Handfunktion erhalten werden (9,105).

Gelingt die Revaskularisation bei einem schwer geschädigten Finger (z.B. im Rahmen einer Avulsionsverletzung, bei schwerer Quetschung oder bei ausgefranst und

verschmutzten Wunden), so kann dies aufgrund des schweren Gewebeschadens oft in einem steifen und nutzlosen Finger resultieren (96,104). Daher ist die Erhaltung allein nicht als brauchbare Funktion anzusehen, obwohl amputierte Teile oft mit Erfolg revaskularisiert werden können (125). In gewissen Fällen ist somit eine Replantation zwar möglich, doch die Ergebnisse der chirurgischen Amputation können vorteilhafter sein (42,126).

Wie aus vorigen Kapiteln hervorgeht sind chirurgische Amputationen von Fingern nicht selten und schwere Verletzungen stellen die Hauptindikation einer primären Amputation dar (9,10,14,100,105,120,127). Zudem besteht die Indikation zur Stumpfversorgung insbesondere dann, wenn eine monodigitale Amputation oder ein Amputationsverletzung von maximal zwei Fingern vorliegt und keine zusätzlichen Schäden der anderen Finger bestehen (9,126). Des Weiteren ist die primäre Stumpfbildung dann indiziert, wenn weniger als die Hälfte des Nagelbett-Nagel-Komplexes ohne Aussicht auf funktionelle oder ästhetische Nagelrekonstruktion vorhanden ist (9).

Sekundäre Amputationen sind wiederum indiziert, wenn die Funktion nach der Erstversorgung nicht wiederkehrt und rekonstruktive Maßnahmen nicht möglich sind oder keinen Erfolg versprechen (118). Beispiele sekundärer Amputationen sind Zustände nach misslungener Replantation bzw. Erhaltungsversuchen oder bei gangränösem Zustandsbild mit drohender Sepsis (118).

Wilson und *Carter-Wilson* beschrieben die Unumgänglichkeit der Amputation, indem sie ihre Überlegungen auf sechs Basiskomponenten stützten (Zirkulation, Haut, Nerven, Knochen, Gelenke und Sehnen) (125). Bei einer schweren Verletzung und dem Verlust von mindestens fünf Basiskomponenten ist laut den Autoren eine Amputation unumgänglich (125). Außerdem stellt, der Literatur zufolge, die chirurgische Amputation bei Zerstörung von vier oder mehr inhärenten Strukturen der Finger– also Haut, Sehnen, Knochen, Gelenke, Nerven und Gefäße – typischerweise die praktikabelste Option dar (42).

Im Zuge von subtotal amputierten Fingern stellt die irreversible Devaskularisation eine absolute Indikation zur Amputation dar (96,104). Die Erhaltung ist unwahrscheinlicher, desto weiter proximal die subtotale Amputation liegt, sodass die Prognose im Bereich der Endphalanx eines Fingers am günstigsten ist (96,100,104). Ohnehin stellt die Replantation im Bereich distal der Nagelwurzel – wie in Kapitel 1.3.2.1.1 erwähnt – eine Kontraindikation dar (104).

Liegt eine Amputationsverletzung mehrerer Finger vor, so ist die Bedeutung der verbleibenden Finger umso größer (42,43,96). In solch einem Fall kann beispielsweise auch ein eventuell steif gewordener Finger als Gegenpol brauchbar sein, jedoch wäre bei diesem Fall – bei angenommen gleichartiger Verletzung eines Fingers - die Amputation unter Umständen in anderen Gesichtspunkten vorteilhafter, da dadurch die Behandlungszeit signifikant verkürzt und die Gesamtfunktion der Hand verbessert werden könnte (42,96,104,126).

Die chirurgische Fingeramputation (Stumpfbildung) hat prinzipiell im Gesunden zu erfolgen (120) und der grundlegende Anspruch besteht im Erhalt eines möglichst langen funktionellen Fingerstumpfs (15,100). Voraussetzung für eine aktive Beweglichkeit der erhaltenen Gelenke sowie eine adäquate Stabilität der Weichteile des/der verkürzten Finger(s) ist eine sorgfältige Operationstechnik (10,96,100,105). Man geht bei Amputationen von Langfingern aus, dass die Narben möglichst außerhalb der Belastungszone liegen sollten, randständige Finger (Indexfinger und Kleinfinger) funktionell wichtiger sind als mittlere Finger, eine gute Weichteildeckung wichtiger ist als die Länge des Stumpfs sowie die Sensibilität wichtiger ist als die Beweglichkeit (10,100,105,118,128).

1.4.2.1 Somatische Folgen der (primären) Stumpfbildung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es nicht die einzelnen Schritte der primären Stumpfbildung genauestens zu beschreiben. Es wurde bereits in den vorigen Kapiteln versucht einen anatomischen Überblick über wichtige Strukturen sowie Grundüberlegungen dieser komplexen Thematik zu beschreiben. Daher werden im Folgenden lediglich die möglichen Folgen der chirurgischen Versorgung erläutert. Genauere Informationen zum chirurgischen Vorgehen sind dementsprechend der Diskussion (Kapitel 4) zu entnehmen.

Zu den allgemeinen Komplikationen zählt der Phantomschmerz, die inadäquate funktionelle Stumpflänge sowie das limitierte Bewegungsausmaß aufgrund der Versteifung von Gelenken oder des Stumpfs selbst (39,49,55,68,129).

1.4.2.1.1 Kraftverlust und eingeschränkte Beugefunktion

Amputationen im Bereich der Hand gehen mit einem unvermeidbaren Funktionsverlust einher, der von den Verletzungseigenschaften wie der Schwere des Ausmaßes sowie der anatomischen Lokalisation des Substanzverlusts abhängt (100). Beispielsweise ist die Stumpfbildung einer monodigitalen Fingeramputation auf Höhe der *Phalanx media* mit einer Kraftminderung des Grobgriffs um 25-33% und auf Höhe der *Phalanx proximalis* um 26-47% vergesellschaftet, während die Stumpfbildung an mehreren Fingern zu einer Kraftminderung des Grobgriffs um etwa 54% führt (130). Erfolgt die Stumpfbildung im Bereich des Zeigefingers auf Höhe der *Phalanx proximalis*, so wurde eine Kraftminderung des Grobgriffs um 29-34% und ein Kraftverlust bei Feingriffen von 32% festgestellt (131).

Hinsichtlich der Komplikationen im Bereich der Beugesehnen sei hier das sogenannte *Quadrige*-Phänomen erwähnt. Das *Quadrige*-Phänomen beschreibt die eingeschränkte Beugefunktion eines nicht betroffenen Fingers bei Verletzung, Adhäsion, Versteifung oder Verkürzung der FDP-Sehne eines benachbarten Fingers aufgrund der Abhängigkeit der Finger voneinander durch das Entspringen eines gemeinsamen Muskelbauchs (65,121,132). Im Rahmen einer Amputationsverletzung kann somit dieses Phänomen in Erscheinung treten, wenn die durchtrennte proximale FDP-Sehne im Zuge einer Tenodese beispielsweise über das Ringbandsystem distaler als an ihrer natürlichen Position befestigt wird (121,132). Dementsprechend, aufgrund der funktionellen Abhängigkeit der FDP-Sehnen (Finger III-V), würde in jedem Finger nur so viel Bewegung zugelassen werden, wie in der kürzesten Sehne möglich (121,132). Das hätte somit zur Folge, dass sowohl der amputierte als auch unbeteiligte Finger an der gemeinsamen Flexion gehindert würden und somit eine zusätzliche (neben den unvermeidbaren funktionellen Folgen) Abnahme der Griffkraft (Faustschluss) resultieren würde (65,121,132).

1.4.2.1.2 Weichteildeckung und Hautverschluss

Zu Komplikationen der inadäquaten Stumpfversorgung bezüglich der Weichteildeckung sowie des Hautverschlusses zählen:

- instabiles Widerlager beim Greifen und unharmonische Form der Stumpfkappe (96,100,132),
- Hypästhesie im Bereich der Stumpfkappe (9),

- Wundheilungsstörungen mit Beeinträchtigung der Belastungsfähigkeit des Stumpfs (10,100,120,122),
- überschießende Narbenbildung und Schmerzen im Bereich des Stumpfs (9).

Zusätzlich sollte aus ästhetischen Aspekten darauf geachtet werden, dass (sofern aus funktionellen Gesichtspunkten möglich) weder die beugeseitige Leistenhaut nach dorsal noch die streckseitige Felderhaut nach palmar über die Stumpfspitze hinaus geschlagen werden sollte (100). Neben der Beachtung der genannten Aspekte, kann im Rahmen der Weichteildeckung überschüssige Haut („dog ears“) vorhanden sein, welche exzidiert werden können, um ein möglichst ansprechendes Ergebnis zu erzielen (100). Eine adäquate Weichteildeckung des Stumpfs ist unabdingbar, dementsprechend wird in den meisten Fällen der Fingerstumpf so weit zurückgekürzt, dass ein spannungsfreier Hautverschluss möglich ist (10,100,120,122).

1.4.2.1.3 Neurome

Neurome stellen ein abnormales Wachstum von Nervengewebe dar, das aus einer desorganisierten Architektur von Axonen, Schwann-Zellen, Makrophagen und Fibroblasten als Ergebnis der biologischen Reaktion auf ein Nerventrauma oder einer erfolglosen Nervenreparatur besteht (133). Neurome im Bereich der Finger entstehen am häufigsten im Rahmen von Amputationsverletzungen (133,134). Im Zuge jeder Stumpfbildung entstehen Neurome an den amputierten Nervenenden, da die Nervenheilung reaktiv über Neuombildung erfolgt (100,135). Ziel im Rahmen der Stumpfbildung ist jedoch die Prävention der Entwicklung symptomatischer Neurome. Man sollte daher darauf achten, dass die Nervenenden nicht im Bereich der Stumpfkappe zu liegen kommen bzw. dorthin verlagert werden, um Dysästhesien und Schmerzen am Stumpf zu vermeiden (132,136).

2 Material und Methoden

2.1 Fragestellung

In der Studie von *Li et al.* (8) hat sich herausgestellt, dass sich die Herangehensweisen bei der primären Stumpfbildung bzw. chirurgischen Amputation von Langfingern in gewissen Aspekten beträchtlich zwischen amerikanischen Handchirurg*innen unterscheiden. Ziel dieser Arbeit war es somit, mittels einer Online-Expertenumfrage, einen Überblick über chirurgische Vorgehensweisen im Rahmen der primären Stumpfbildung nach traumatischen nicht-infizierten Langfingeramputationen ohne Möglichkeit der Replantation zu gewinnen, einen möglichen Konsens zu finden, mögliche Unterschiede herauszufiltern und die synthetisierten Ergebnisse mit der aktuellen Literatur zu vergleichen sowie zu diskutieren. Die Fragestellung dieser Arbeit lautet somit: „Gibt es im deutschsprachigen Raum (DACH-Länder) einen wesentlichen Unterschied im operativen Vorgehen der primären Stumpfbildung bei traumatischen, nicht-infizierten Amputationsverletzungen der Langfinger auf Höhe der IP-Gelenke?“

2.2 Kollektiv der Expert*innen

Die Rekrutierung der Expert*innen erfolgte durch das Aussenden von E-Mails über die Sekretariate der jeweiligen Gesellschaft an die entsprechenden Mitglieder. Als Einschlusskriterium galt die Mitgliedschaft bei mindestens einer der folgenden Gesellschaften: Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie (DGH), Schweizerische Gesellschaft für Handchirurgie (SGH), Österreichische Gesellschaft für Handchirurgie (ÖGH).

2.3 Studienablauf

Bei der Durchführung der Studie wurden die Deklaration von Helsinki und die International Conference on Harmonisation-Good Clinical Practice (ICH-GCP) in der jeweils geltenden Fassung beachtet. Ein Votum der zuständigen Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz wurde eingeholt (EK-Nummer: 34-050 ex 21/22).

Ein Fragebogen wurde in deutscher Sprache erstellt. Dieser wurde auf die elektronische Umfrageplattform *SurveyMonkey* (SurveyMonkey Europe UC, Dublin, Irland) geladen und konnte so zusammen mit einer Präambel als Internet-Link zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen des Fragebogens wurden weder Namen noch das Geburtsdatum erfragt, sodass keine eindeutige Personenzuordnung durchgeführt werden kann. Die Beteiligung an der Umfrage war freiwillig und es wurden durch das Projektteam keine Internetprotokoll-Adressen gespeichert.

Der Inhalt des Fragebogens bezog sich auf die Vorgehensweise bei der primären Stumpfbildung ohne Möglichkeit der Replantation im Rahmen von traumatischen nicht-infizierten Langfingeramputationen auf Höhe der IP-Gelenke. Darüber hinaus wurden allgemeine Informationen wie Alter, Geschlecht, Stammgesellschaft und chirurgische Berufserfahrung erfragt.

Kontaktiert wurden Mitglieder der DGH (Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie), SGH (Schweizerische Gesellschaft für Handchirurgie) sowie der ÖGH (Österreichische Gesellschaft für Handchirurgie) per E-Mail über die jeweiligen Sekretariate mit einer Präambel - in welcher der wissenschaftliche Hintergrund, die geplante Dauer zur Durchführung des Fragebogens (maximal vier Minuten) sowie die Information bezüglich der Datensammlung auf anonymer und vertraulicher Basis beschrieben wurde - und dem Internet-Link zur Onlineumfrage. Hierdurch wurde gewährleistet, dass Expert*innen aus dem Bereich der Handchirurgie angesprochen wurden.

Damit das Aussenden der Online-Fragebögen an die Expert*innen durchgeführt werden konnte, wurden vorab die Sekretariate der jeweiligen Gesellschaften per E-Mail kontaktiert und bezüglich des Einverständnisses für die Durchführung des Vorhabens befragt; alle drei Gesellschaften willigten ein. Die Online-Fragebögen wurden am 10. Jänner 2022 versendet und Ende Februar 2022 (28.02.2022) zur statistischen Auswertung herangezogen.

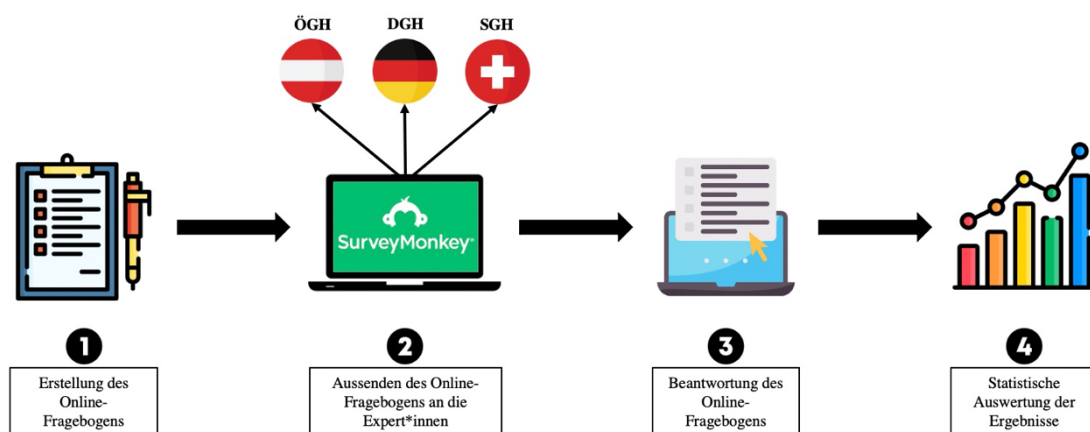


Abbildung 4: Grafische Darstellung des Studienablaufs

Die Fallzahlplanung richtete sich nach einer Vorstudie (8), in welcher bei 2970 angeschriebenen Expert*innen eine Antwortrate von 19.93% erreicht wurde. Daher hatte diese Studie eine Antwortrate von knapp 20% zum Ziel, wobei, unabhängig von der Antwortrate, das Einfließen jeder Antwort in die Auswertung geplant war.

2.4 Zielgrößen

Die primären Zielgrößen wurden durch insgesamt zehn Fragen (siehe Anhang) erfragt, welche folgende Bereiche umfassten: (F5) Aspekte der Weichteilsituation, des maximalen Längenerhalts und Funktion im Rahmen der primären Stumpfversorgung; (F6) Technik zur (Nach-)Amputation wie Exartikulation oder Resektion durch den Knochen; (F7) Durchführung einer Glättung der Knochenkanten bei transossärer Resektion; (F8) Umgang mit dem residualen Gelenkknorpel bei Exartikulation; (F9) Reduktion des Phalangealkopfes im Rahmen einer Exartikulation; (F10) Beachtung der Kollateralnerven je nach Lokalisation im Sinne von dorsal und palmar; (F11) Versorgungstechnik der Kollateralnerven; (F12) Techniken zur Neuromprävention; (F13) Versorgung der Beugesehnen; (F14) Versorgung der Strecksehnen.

Wurde im Zuge der Frage 6 (F6) die *Exartikulation* als Antwort gegeben, so waren die Fragen F8 und F9 zusätzlich zu beantworten. Wurde F6 jedoch mit *Resektion durch den Knochen* oder *Sonstiges* beantwortet, so war zusätzlich F7 zu beantworten.

Bei F11 stellte die Antwort *Spezifische Techniken zur Prävention schmerzhafter Neurome*, eine Option dar, nach welcher zusätzlich die Frage 12 (F12) zu beantworten war.

Somit wurden alle Expert*innen zu den Fragen F5-F6, F10-11 und F13-14 befragt. Die Fragen F7-9 sowie F12 erschienen als zusätzliche Fragen je nach gegebener Antwort.

Neben den Hauptzielgrößen wurden im Rahmen des Online-Fragebogen allgemeine Parameter wie Alter (F1), Geschlecht (F2), Stammgesellschaft (F3) und chirurgische Berufserfahrung (F4) erfragt.

2.5 Inhalt des Fragebogens

Der genaue Aufbau des Fragebogens ist dem (Kapitel 7.2) zu entnehmen.

2.6 Datenerhebung und Statistik

Die Analyse erfolgte anhand des von Expert*innen der jeweiligen Gesellschaften beantworteten Online-Fragebogens, der auf die elektronische Umfrageplattform *SurveyMonkey* (SurveyMonkey Europe UC, Dublin, Irland) geladen wurde. Alle gewonnenen Daten wurden hierbei auf der Umfrageplattform anonymisiert und ohne Speicherung von Internetprotokoll-Adressen gesammelt. Eine weitere zusätzliche Bearbeitung der Daten im Sinne der deskriptiven Statistik erfolgte mittels Microsoft® Excel (Version 16.57) und der Version 27 des Statistik-Programms SPSS-Software (Statistical Package of Social Sciences). Resultate mit $\geq 75\%$ Übereinstimmung wurden als Konsens definiert (137).

Um Unterschiede zwischen den Antworten der Mitglieder der jeweiligen Gesellschaften sowie Differenzen zwischen Handchirurg*innen, basierend auf der chirurgischen Berufserfahrung (≤ 20 Jahre chirurgische Berufserfahrung vs. > 20 Jahre chirurgische Berufserfahrung) zu eruieren, wurden die Daten mittels SPSS (Version 27) induktiv-statistisch ausgewertet. Da es sich um nominale Daten handelt, wurden hierzu Chi-Quadrat-Tests für unabhängige Stichproben herangezogen. Dabei wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0.05$ angenommen. Die Interpretation der Daten erfolgte auf Basis des Pearson-Chi-Quadrat-Tests oder Exakter Test nach Fisher mit dem Erwartungswert auf Basis von Cramer-V (φ_c). Variablen und damit assoziierte Fragen, welche sich als Vierfeldertafel präsentierten, wurden entsprechend mittels Kontinuitätskorrektur und dem symmetrischen Maß Phi (φ) interpretiert. Wurde ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt, so wurde bei Bedarf ergänzend eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt, um festzustellen, zwischen welchen Spaltenanteilen (Antworten) die Unterschiede signifikant waren.

3 Ergebnisse – Resultate mit graphischen Darstellungen

Zwischen Jänner 2022 und Februar 2022 wurden insgesamt in etwa 1670 Mitglieder (ÖGH: n = 257, DGH: n ≈ 1200, SGH: n = 213) der jeweiligen Gesellschaften für Handchirurgie in den DACH-Ländern adressiert. Die allgemeine Antwortrate lag mit 213 an der Umfrage beteiligten Expert*innen bei 12.75%. Die effektive Antwortrate unterschied sich abhängig von der Frage (siehe Tabelle 1)

Tabelle 1: Anzahl der Befragten, welche den Fragebogen beantwortet haben. F1-F4, F7-F8 und F12 wurden von allen Teilnehmer*innen beantwortet. Die Fragen F7-F9 sowie F12 wurden entsprechend einer Logik abgefragt.

	Zulässig [n]	Abgestimmt [n]	Effektive Antwortrate [%]	Übersprungen [n]	Nicht befragt [n]
F1	213	213	100,00%	0	0
F2	213	213	100,00%	0	0
F3	213	213	100,00%	0	0
F4	213	213	100,00%	0	0
F5	213	211	99,06%	2	0
F6	213	211	99,06%	2	0
F7	83	83	100,00%	0	130
F8	128	128	100,00%	2	83
F9	128	128	100,00%	2	83
F10	213	209	98,12%	4	0
F11	213	208	97,65%	5	0
F12	86	86	100,00%	0	127
F13	213	207	97,18%	6	0
F14	213	207	97,18%	6	0

3.1 *Demographie der allgemeinen Parameter*

Alle vier Fragen zu den allgemeinen Parametern wurden vollständig beantwortet (n = 213).

3.1.1 **Alter (F1)**

Der größte Anteil der Expert*innen war zwischen 40 und 49 Jahre alt (n = 72, 33.80%), knapp gefolgt von der Altersgruppe der 50- bis 59-Jährigen (n = 61, 28.64%). Einundvierzig Studienteilnehmer*innen (19.25%) waren zwischen 30 und 39 Jahre alt, während 38 Teilnehmer*innen (17.84%) mindestens 60 Jahre alt waren. Den geringsten Anteil bildete die Altersgruppe unter 30 Jahre mit 0.47% (n = 1).

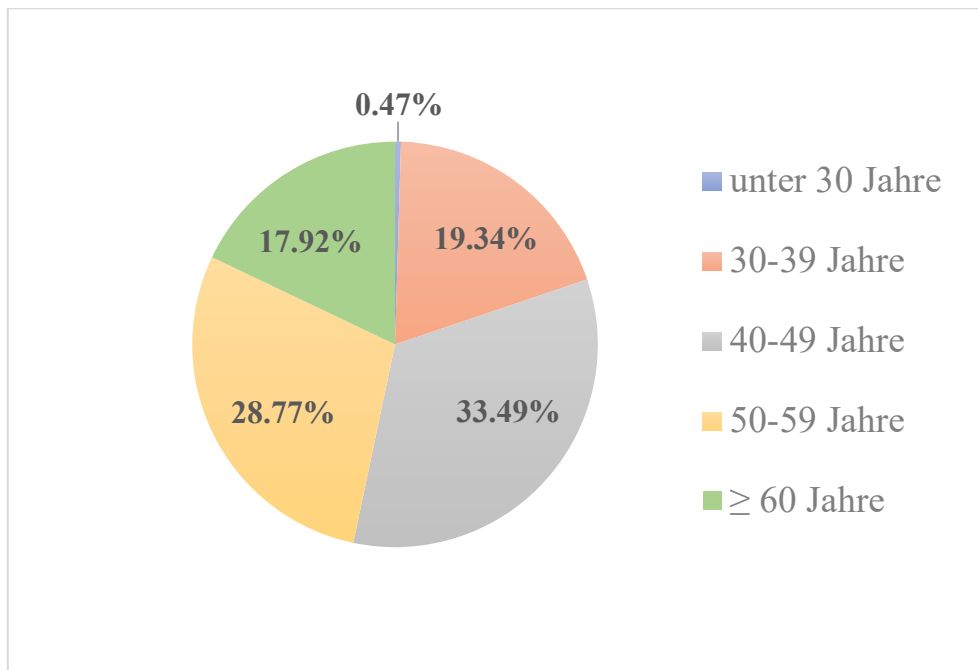


Abbildung 5: Grafische Darstellung der Altersverteilung der Studienteilnehmer*innen (Kreisdiagramm)

3.1.2 Geschlecht (F2)

Das männliche Geschlecht war an der Teilnahme der Onlineumfrage mit 75.59% (n=161) prädominant; zweiundfünfzig weibliche Studienteilnehmerinnen (24.41%) beantworteten den Online-Fragebogen. Keine Person (0.00%) klassifizierte sich als non-binär.

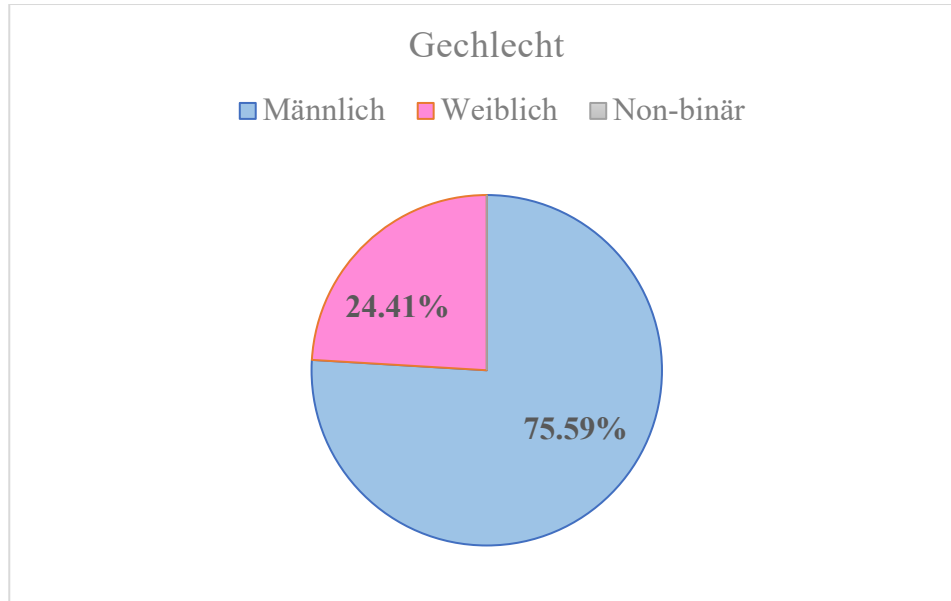


Abbildung 6: Geschlechterverteilung unter den Befragten

3.1.3 Stammgesellschaft (F3)

Von insgesamt 213 Teilnehmer*innen waren 71 Personen (33.33%) der ÖGH, 112 Personen (52.58%) der DGH und 30 Personen der SGH (14.08%) zugehörig.

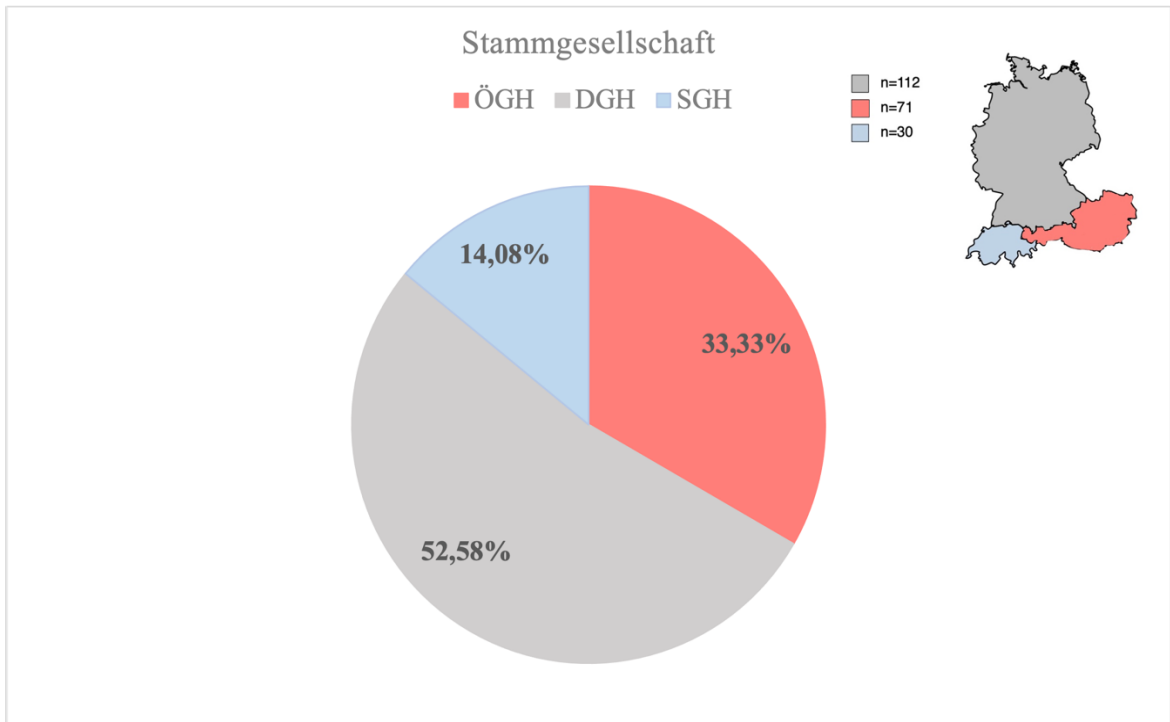


Abbildung 7: Anteil (in Prozent) der Mitglieder in Abhängigkeit der Zugehörigkeit zur Stammgesellschaft.

In Summe wurden insgesamt 1670 Mitglieder adressiert (ÖGH: $n = 257$, SGH: $n = 213$, DGH: $n \approx 1200$). Die Antwortrate der ÖGH-Mitglieder betrug 27.63% und jene der Mitglieder der SGH 14.08%. Mitglieder der DGH wiesen mit 9.33% die geringste Antwortrate auf.

3.1.4 Chirurgische Berufserfahrung (F4)

Knapp die Hälfte (n = 105, 49.30%) der Handchirurg*innen wies eine chirurgische Berufserfahrung von mehr als 20 Jahren auf, gefolgt von 33.80% (n = 72) der Teilnehmer*innen mit 11 bis 20 Jahren Berufserfahrung. Weniger als die Hälfte davon (n = 31, 14.55%) gab eine Berufserfahrung von sechs bis zehn Jahren an. Lediglich fünf Personen (2.35%) berichteten von einer chirurgischen Berufserfahrung zwischen null und fünf Jahren.

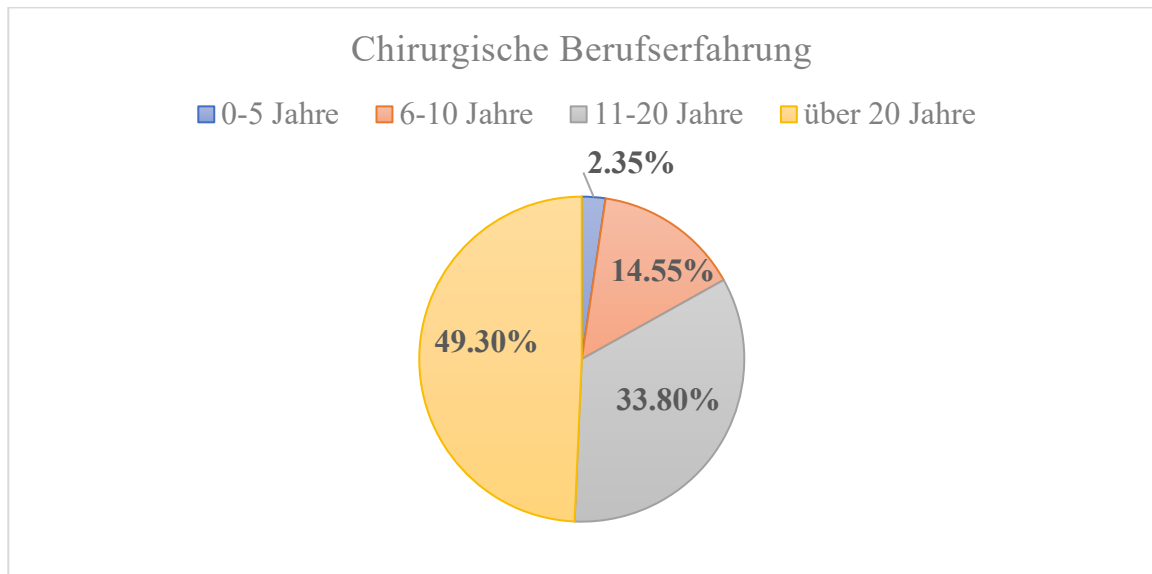


Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der chirurgischen Berufserfahrung

3.2 Hauptzielgrößen

3.2.1 Deskriptive Statistik

3.2.1.1 Aspekte der primären Stumpfbildung (F5)

Zweihundertelf von 213 Teilnehmer*innen (99.06%) beantworteten die Frage 5 (F5) des Fragebogens. Dabei gaben 206 von 211 (97.63%) der Befragten an, dass sie die primäre Stumpfbildung unter Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximalem Längenerhalt mit Beachtung funktioneller Aspekte durchführen. Fünf von 211 (2.37%) Expert*innen führen die primäre Stumpfbildung rein unter Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximalem Längenerhalt ohne Beachtung funktioneller Aspekte durch.

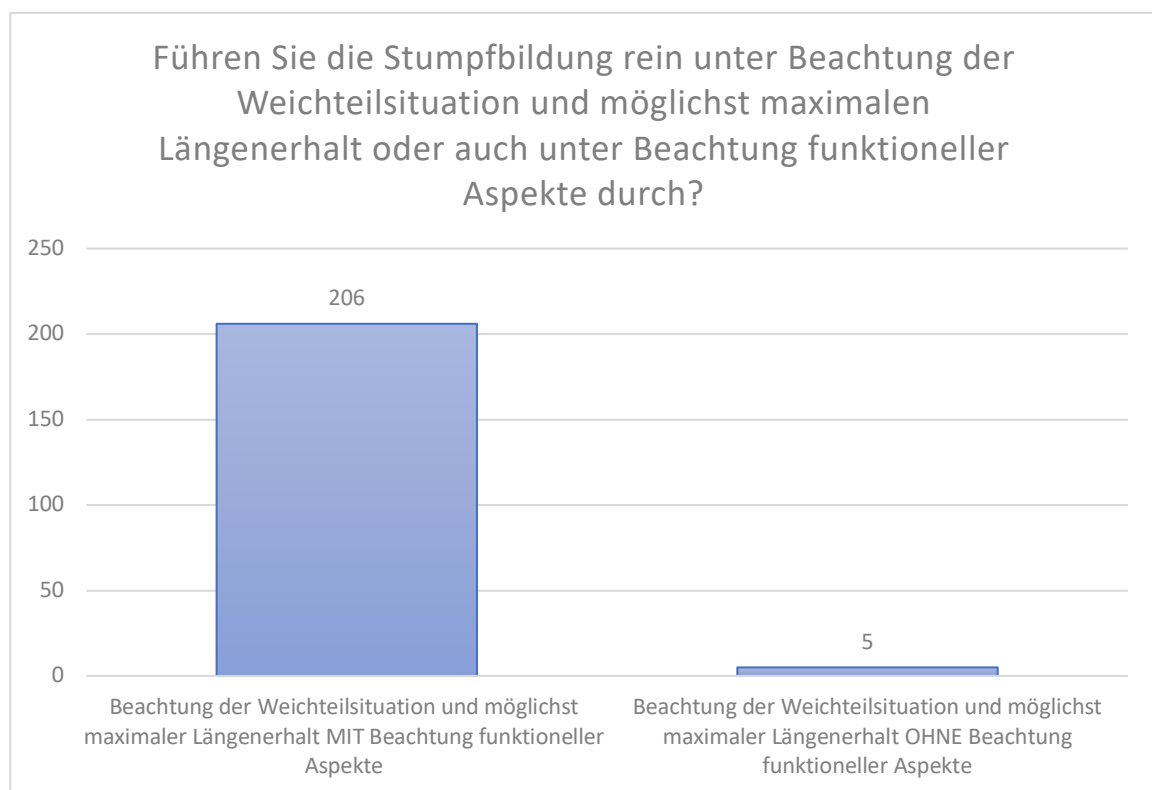


Abbildung 9: Beachtung der Weichteilsituation unter maximalen Längenerhalt mit/ohne Beachtung funktioneller Aspekte. Grafische Darstellung mittels Balkendiagramm und Angabe der Antworten in absoluten Zahlen.

3.2.1.2 Technik der (Nach-)Amputation (F6)

Die zweite Hauptzielgröße wurde – ebenso wie die Frage im vorangegangenen Kapitel – von 99.06% (n = 211) beantwortet.

Der Großteil der Befragten, 60.66% (n = 128), präferiert bei der primären Stumpfbildung von nicht-infizierten traumatischen Langfingeramputationen auf Höhe der IP-Gelenke die Exartikulation, während 35.55% (n = 75) eine Resektion durch den Knochen (transossäre Resektion) bevorzugen.

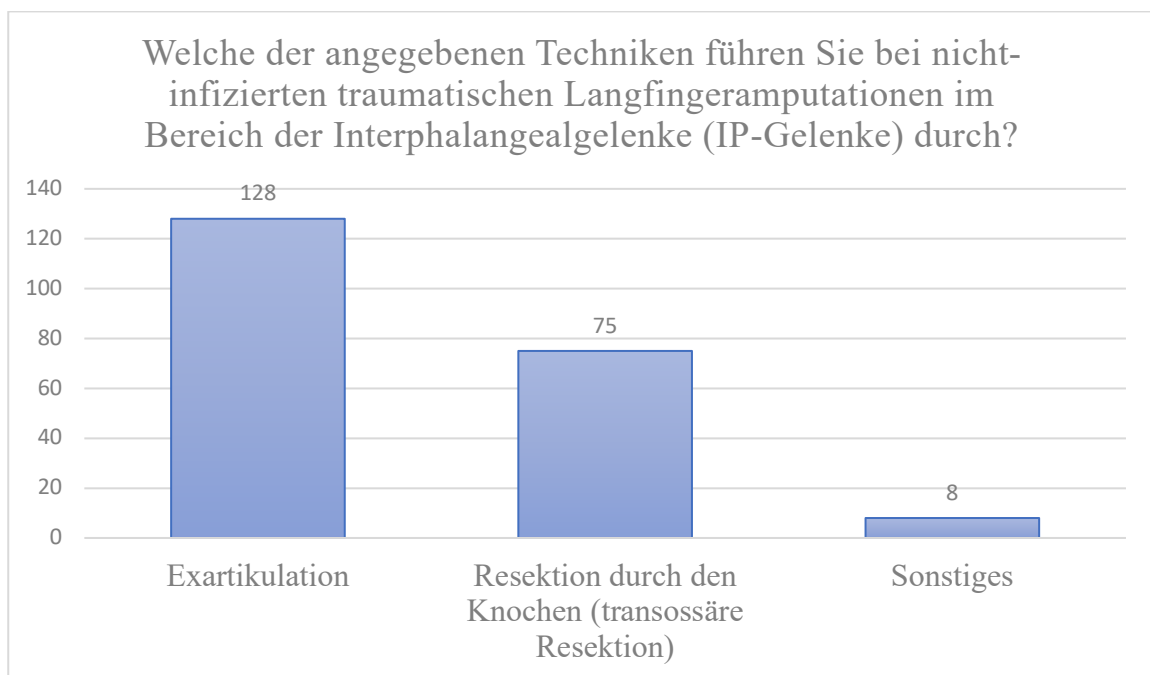


Abbildung 10: Grafische Darstellung der präferierten Technik zur (Nach-)Amputation in absoluten Zahlen.

Acht Personen (3.79%) gaben andere als die zur Verfügung gestandenen Antworten an (= Sonstiges) .

Davon gaben zwei Mitglieder der ÖGH folgende Antworten als Freitext an: „*Je nach Lokalisation der Verletzung führe ich im Hinblick auf die Funktion sowohl die Exartikulation als auch die transossäre Resektion durch.*“ (= Je nach Weichteilsituation und/oder Lokalisation der Verletzung); „*Exartikulation, zusätzlich Abschrägen der Trochlearänder.*“.

Ein Mitglied der DGH beantwortete die Frage 6 mit „*Exartikulation plus Entknorpelung*“.

Fünf Mitglieder der SGH beantworteten F6 mittels Freitextes wie folgt:

- „Beide Optionen je nach Verletzung. Falls möglich, Erhalt der P3 Basis, sodass eine bessere Kraftübertragung da ist.“ (= Je nach Weichteilsituation und/oder Lokalisation der Verletzung)
- „Exartikulation unter Resektion der Condylen und des Knorpels.“
- „Je nach Weichteilsituation Exartikulation oder transossäre Resektion mit dem Ziel einer direkten Weichteildeckung.“ (= Je nach Weichteilsituation und/oder Lokalisation der Verletzung)
- „Exartikulation wenn möglich, mit Resektion der Kondylen.“
- „Je nach Weichteilsituation.“ (= Je nach Weichteilsituation und/oder Lokalisation der Verletzung)

Insgesamt wurde von vier Expert*innen (1.90%) angegeben, dass sie die Technik abhängig von der Weichteilsituation und Lokalisation der Verletzung durchführen. Die weiteren vier Freitextantworten (je 0.47%) sind in der folgenden Abbildung (Abbildung 13) ersichtlich.

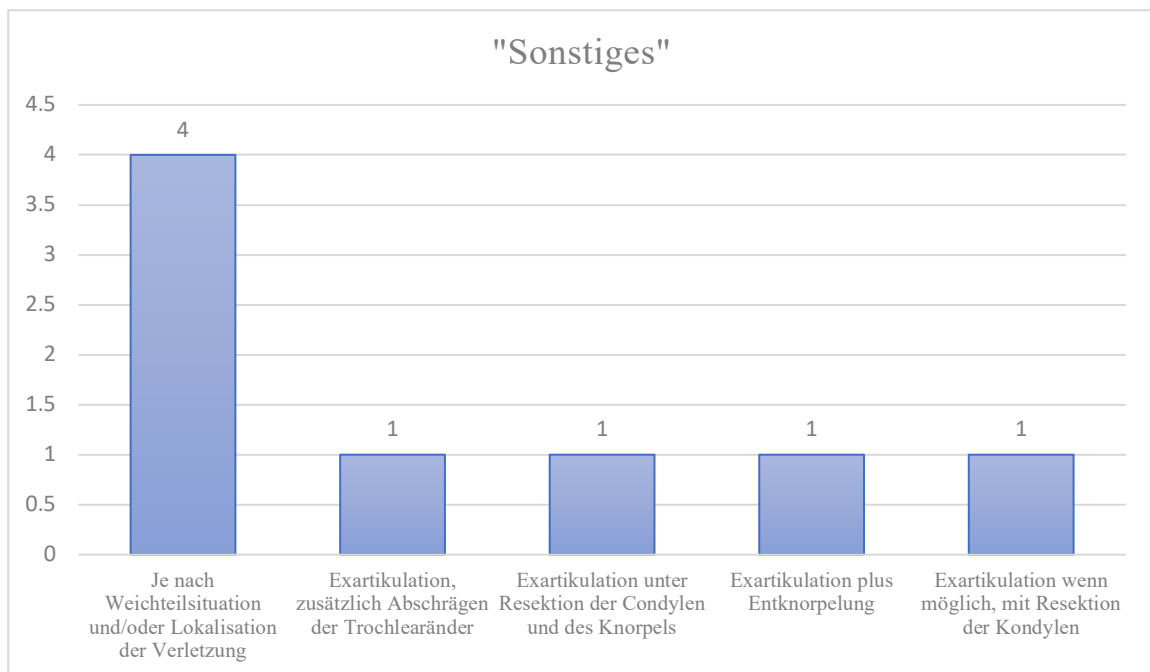


Abbildung 11: Darstellung der insgesamt 8 von 210 unter "Sonstiges" als Freitext angegebenen Antworten in absoluten Zahlen in Bezug auf Frage 6 (F6)

3.2.1.3 Zusätzliche Glättung der Knochenkanten bei transossärer Resektion (F7)

Zweiundachtzig von 83 Studienteilnehmer*innen (98.80%) führen eine zusätzliche Glättung der Knochenkanten im Rahmen einer transossären Resektion durch. Eine Person (1.20%) gab an, keine zusätzliche Glättung der Knochenkanten durchzuführen (siehe Abbildung 14).

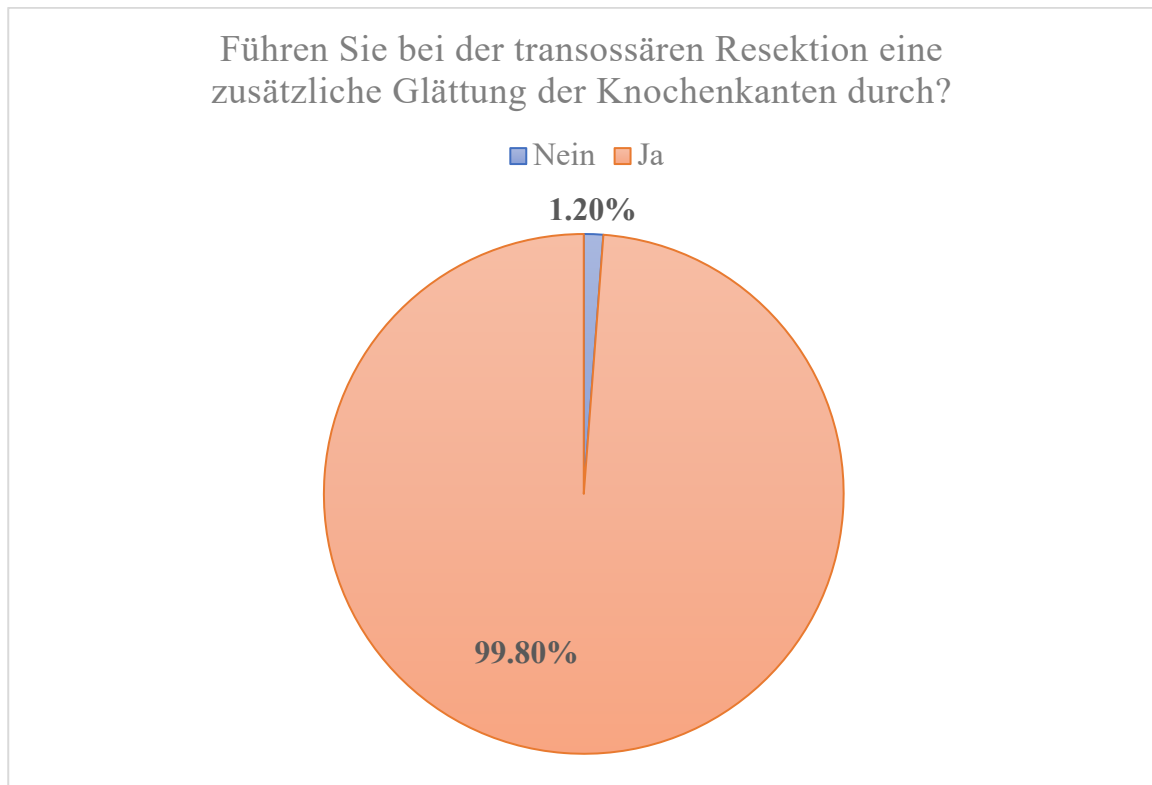


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Angaben (in Prozent) bezüglich der zusätzlichen Knochenglättung bei transossärer Resektion (Kreisdiagramm).

3.2.1.4 Management des residualen Gelenkknorpels bei Exartikulation (F8)

Von 128 Personen, welche die Exartikulation präferieren, entfernen 78.91% (n = 101) den Gelenkknorpel, während 21.09% (n = 27) angaben, dies nicht zu tun.

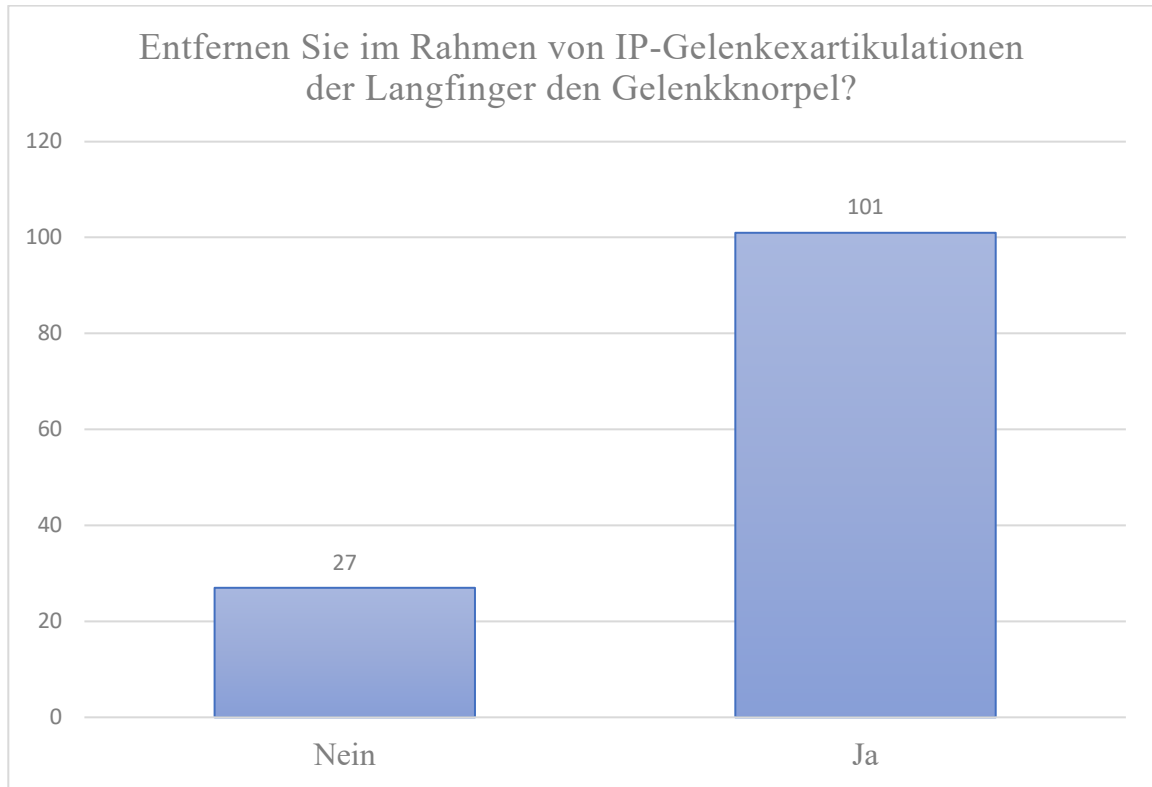


Abbildung 13: Anzahl der Expert*innen, welche den Gelenkknorpel im Rahmen von IP-Gelenkexartikulationen der Langfinger entfernen.

3.2.1.5 Reduktion des Phalangealkopfes bei Exartikulation (F9)

Mit 63.28% (n = 81) gab die Mehrheit von 128 Studienteilnehmer*innen an, die Größe des residualen Phalangealkopfes im Zuge der IP-Gelenkexartikulation zu reduzieren. Siebenundvierzig Personen (36.72%) führen demnach keine Reduktion des verbliebenen Phalangealkopfes durch.

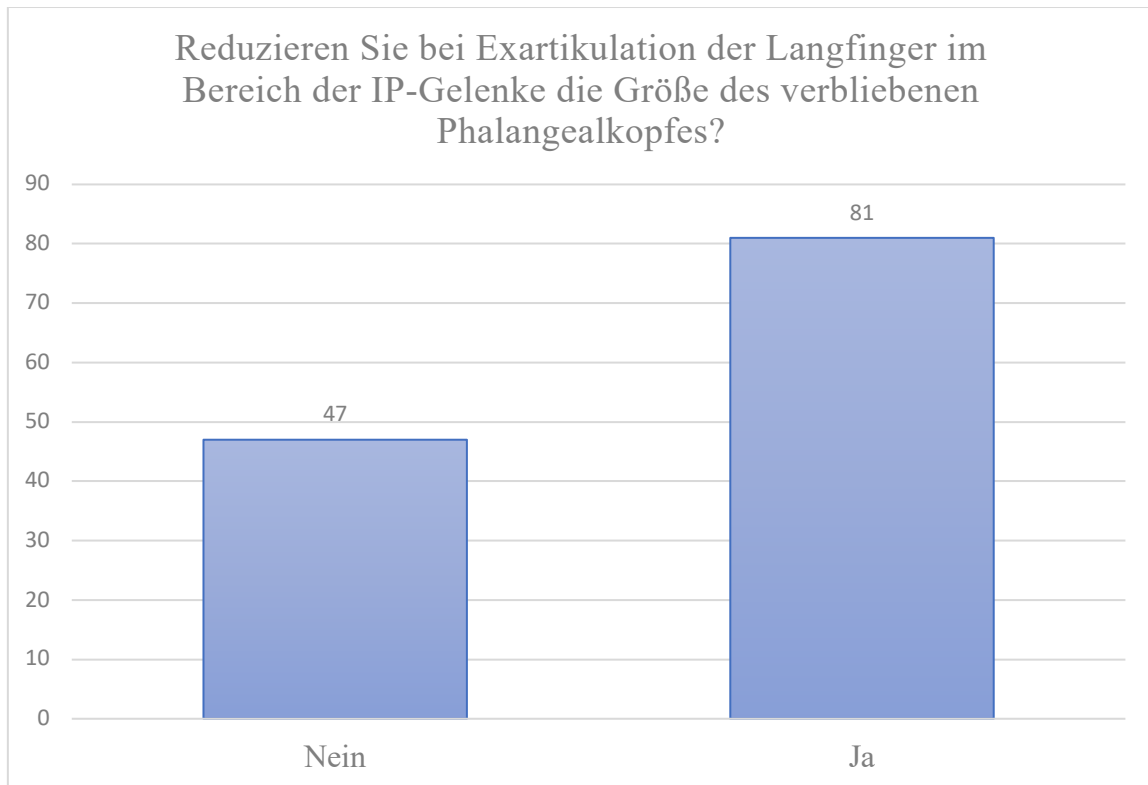


Abbildung 14: Anzahl an Expert*innen, welche eine Reduktion des residualen Phalangealkopfes bei der IP-Gelenkexartikulation durchführen bzw. nicht durchführen.

3.2.1.6 Beachtung/Behandlung der Kollateralnerven (F10)

Von 213 Befragten wurde diese Frage von insgesamt 209 (98.12%) Teilnehmer*innen beantwortet.

Dreiundsechzig (30.14%) von 209 Personen, welche die Frage 10 beantworteten, gaben an, die dorsalen und palmaren Kollateralnerven zu beachten/behandeln, während 69.86% (n = 146) dies nur bei den palmaren Kollateralnerven tun. Keiner/Keine der Studienteilnehmer*innen berichteten demnach lediglich die dorsalen Kollateralnerven zu beachten/behandeln.

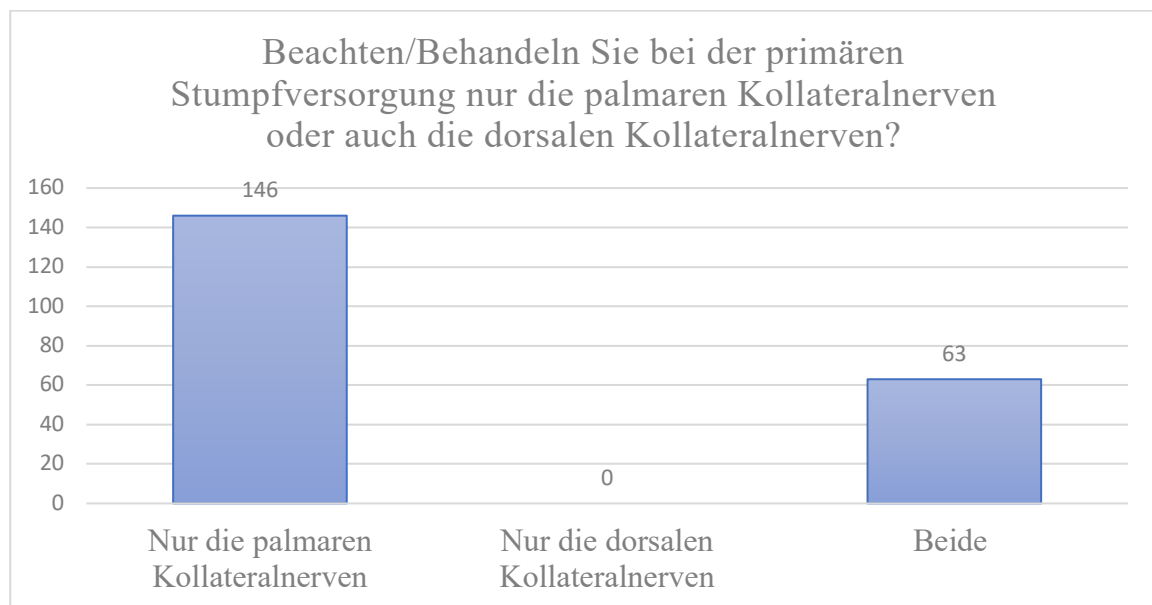


Abbildung 15: Anzahl der Expert*innen, welche nur die palmaren, nur die dorsalen, oder beide Kollateralnerven beachten/behandeln.

3.2.1.7 Versorgungstechnik der Kollateralnerven (F11)

Zweihundertacht von 213 Personen (97.65%) haben die Frage 11 nach der Versorgungstechnik der Kollateralnerven beantwortet.

Der Großteil der Befragten, 54.81% (n = 114), führt eine weitere Kürzung der Nerven unter axialem Zug („*pull and resect*“) durch, während 39.90% (n = 83) spezifische Techniken zur Prävention schmerzhafter Neurome verwenden. Weitere 3.85% (n = 8) führen keine weitere Kürzung durch.

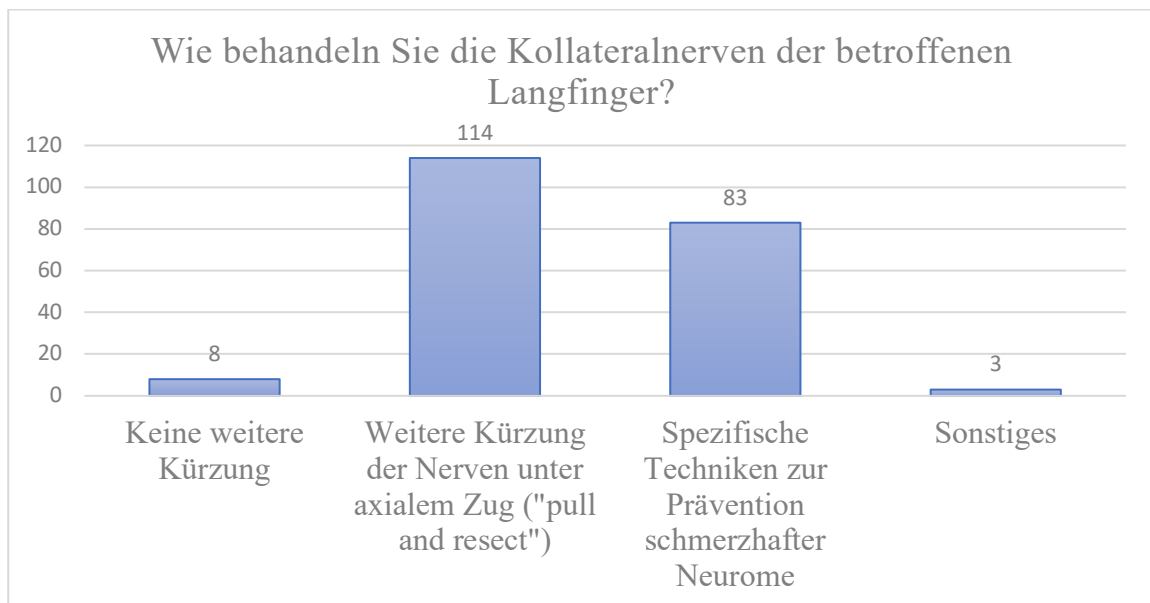


Abbildung 16: Techniken zur Behandlung der Kollateralnerven. Dargestellt sind die Antworten in absoluten Zahlen.

Drei von 208 Personen (1.44%) gaben andere Antworten mittels Freitextes an. Davon wurden folgende Techniken je ein Mal angegeben: Koagulation der (Nerven-)Enden (ÖGH-Mitglied), Exhairese (DGH-Mitglied) und „*pull and resect*“ mit Elektrokoagulation (SGH-Mitglied).

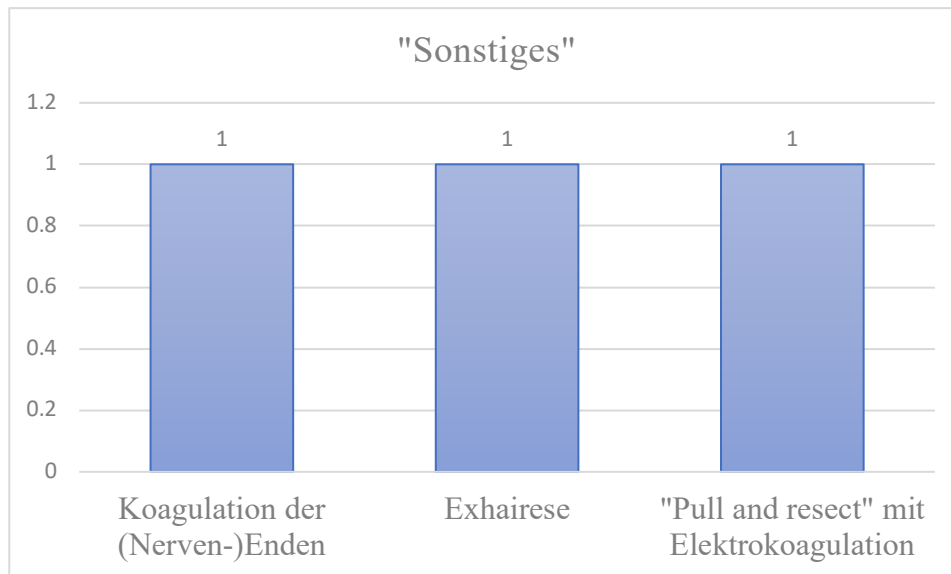


Abbildung 17: Mittels Freitextes unter "Sonstiges" angegebene Techniken zur Behandlung der Kollateralnerven in absoluten Zahlen.

3.2.1.8 Spezifische Techniken zur Neuromprävention (F12)

Achtunddreißig Personen (44.19%) gaben an, die Nervenenden weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent) zu verlagern; weitere 30 von 86 (34.88%) an der Frage 12 teilgenommenen Personen verlagern die Nervenenden weg vom Nahtbereich. Je 6.98% (je 6 Expert*innen) entschieden sich für die folgenden beiden Antwortoptionen: Verlagerung der Nervenenden in den Knochen, primäre Koaptation der Nervenenden miteinander (Loopbildung). Fünf Personen (5.81%) gaben an, eine Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf vorzunehmen. Ein Mitglied (1.16%) der DGH gab mittels Freitextes die *Exhairese* als Technik der Wahl an.

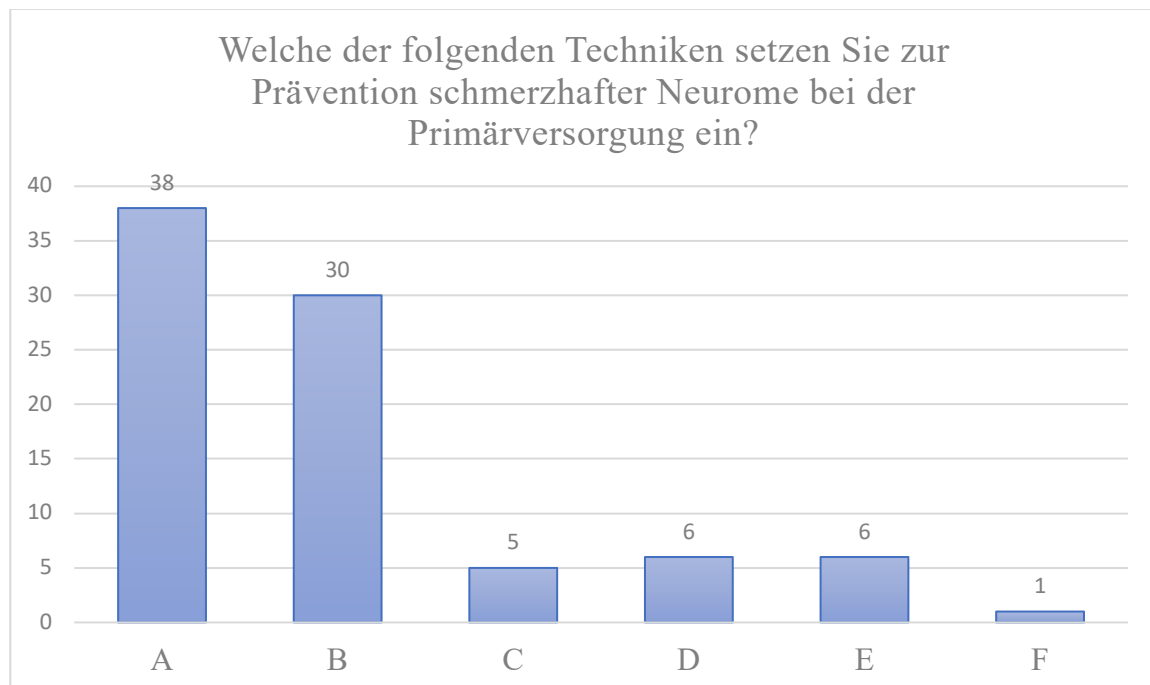


Abbildung 18: Angaben der spezifischen Technik zur Prävention schmerzhafter Neurome in absoluten Zahlen: A = Verlagerung der Nervenenden weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent); B = Verlagerung der Nervenenden weg vom Nahtbereich; C = Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf; D = Verlagerung der Nervenenden in den Knochen; E = Primäre Koaptation der Nervenenden miteinander (Loopbildung); F = Sonstiges (Exhairese)

3.2.1.9 Versorgung der Beugesehnen (F13)

Insgesamt 207 von 213 Teilnehmer*innen (97.18%) beantworteten die Frage 13. Der Großteil der 207 Expert*innen (n = 168, 81.16%) gab an, die Beugesehnen mittels weiterer Sehnenkürzung unter axialem Zug zu versorgen, während 12.56% (n = 26) keine weitere Kürzung der Beugesehnen vornehmen. In 3.38% (n = 7) wird die Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen präferiert und in 1.93% (n = 4) das Vernähen der Beugesehne mit dem Strecksehnenstumpf.

Zwei Personen (0.97%) gaben je eine Antwort als Freitext (*Sonstiges*) an: Hierbei beschrieb ein Mitglied der DGH die Fixierung der FDS-Sehne am Knochen, um die Beweglichkeit im PIP-Gelenk zu erhalten und alternativ die komplette Resektion. Ein SGH-Mitglied schilderte wiederum, dass sie/er je nach Situation die Beugesehne fixiert, kürzt oder vernäht.

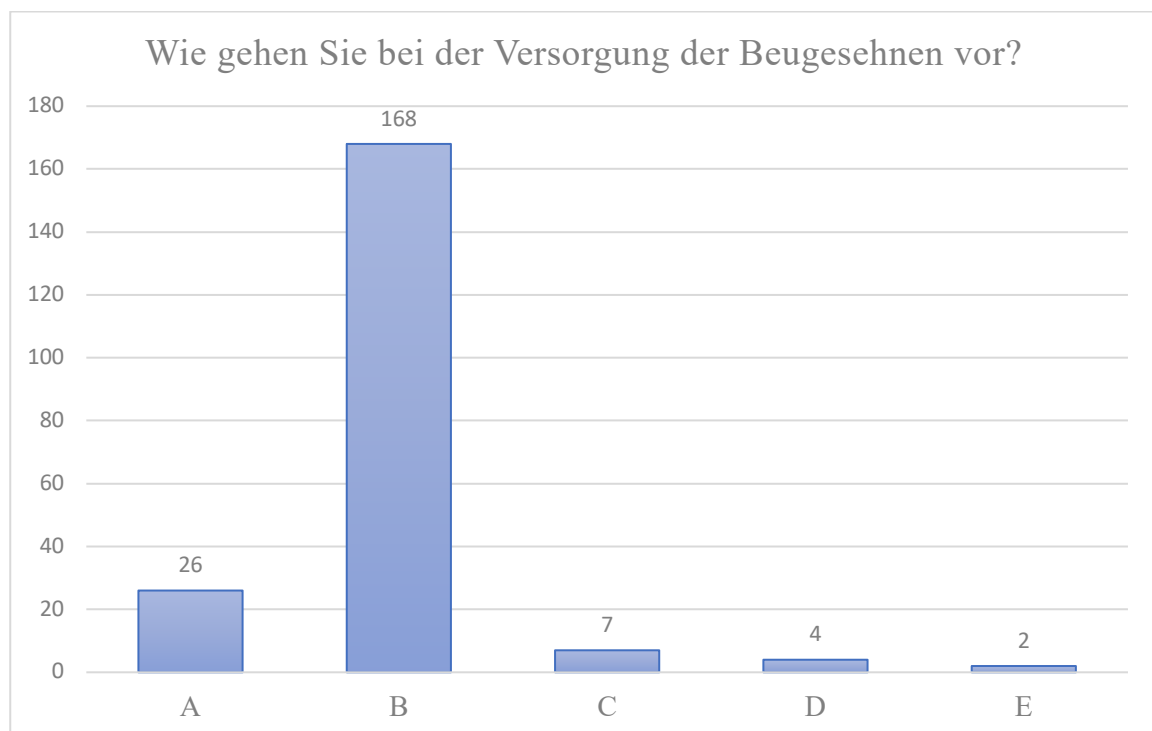


Abbildung 19: Technik zur Versorgung der Beugesehnen: A = Keine weitere Kürzung der Sehne; B = Weitere Sehnenkürzung unter axialem Zug; C = Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen; D = Vernähen mit dem Strecksehnenstumpf; E = Sonstiges.

3.2.1.10 Versorgung der Strecksehnen (F14)

Wie bei F13, wurde F14 durch 207 von 213 Personen (97.18%) beantwortet. Der Großteil der Befragten (n = 191, 92.27%) der Befragten belässt die Situation der Strecksehnen (Keine weitere Sehnenkürzung). Währenddessen bevorzugen 3.86% (n = 8) die Fixierung des Strecksehnenstumpfs am Knochen und 1.45% (n = 3) vernähen die Strecksehne mit dem Beugesehenstumpf.

Fünf Expert*innen (2.42%) beschrieben weitere Techniken (Sonstiges) zur Versorgung der Strecksehnen: Ein ÖGH-Mitglied beschrieb, dass er/sie die Technik abhängig von der Situation durchführe, wobei die Beuge- und Strecksehnen nicht miteinander verwachsen können sollten. Ein DGH-Mitglied gab an, dass er/sie eine Fixierung am Knochen je nach Höhe der notwendigen Amputation durchführe. Drei Expert*innen (DGH: n = 2, SGH: n = 1) präferieren die Kürzung/lokale Resektion der Strecksehnen.

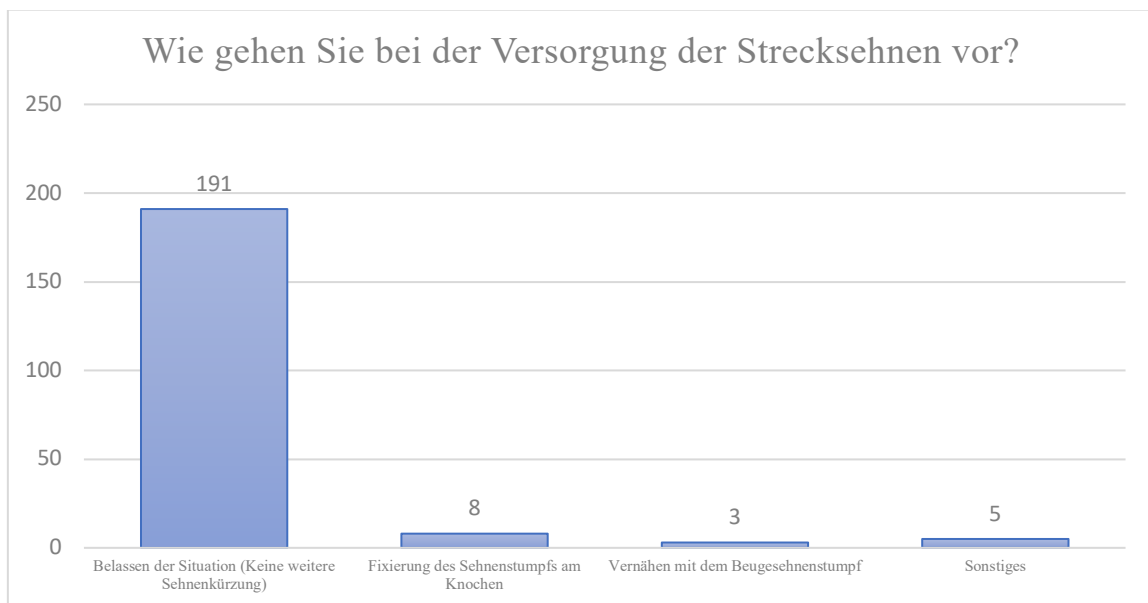


Abbildung 20: Angaben der bevorzugten Technik zur Versorgung der Strecksehnen.

3.2.2 Induktive Statistik

Insgesamt wurden 208 Personen für die induktiv statistische Auswertung herangezogen. Fünf Personen wurden aufgrund der insuffizienten Beantwortung der Fragen nach den primären Zielgrößen nicht in der statistischen Auswertung berücksichtigt.

3.2.2.1 Unterschiede in Abhängigkeit der Stammgesellschaft

Die statistische Auswertung (Chi-Quadrat-Tests) bezüglich der Unterschiede in zwischen den jeweiligen Stammgesellschaften ist in Tabelle 17 ersichtlich.

Tabelle 2: Unterschiede in Abhängigkeit der Stammgesellschaft (Chi-Quadrat-Tests); ^aPearson-Chi Quadrat, ^bExakter Test nach Fisher-Freeman-Halton

	ÖGH		DGH		SGH		p-Wert
	n	%	n	%	n	%	
Altersgruppe [in Jahren]							0.348 ^a
<30	1	1,43%	0	0,00	0	0,00%	
30-39	15	21,43%	19	17,43%	5	17,24%	
40-49	18	25,71%	40	36,70%	12	41,38%	
50-59	18	25,71%	34	31,19%	9	31,03%	
≥60	18	25,71%	16	14,68%	3	10,34%	
Geschlecht							0.808 ^a
Männlich	53	75,71%	85	77,98%	21	72,41%	
Weiblich	17	24,29%	24	22,02%	8	27,59%	
Chirurgische Berufserfahrung [in Jahren]							0.014^b
0-5	4	5,71%	1	0,92%	0	0,00%	
6-10	14	20,00%	12	11,01%	4	13,79%	
11-20	13	18,57%	44	40,37%	13	44,83%	
>20	39	55,71%	52	47,71%	12	41,38%	
F5							0.201 ^b
Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximaler Längenerhalt MIT Beachtung funktioneller Aspekte	70	100,00%	105	96,33%	29	100,00%	
Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximaler Längenerhalt MIT Beachtung funktioneller Aspekte	0	0,00%	4	3,67%	0	0,00%	
F6							0.012^b
Exartikulation	41	58,57%	71	65,14%	15	51,72%	
Resektion durch den Knochen (transossäre Resektion)	27	38,57%	37	33,94%	9	31,03%	
Sonstiges	2	2,86%	1	0,92%	5	17,24%	
F7							1.000 ^b

Nein	0	0,00%	1	2,63%	0	0,00%	
Ja	29	100,00%	37	97,37%	14	100,00%	
F8							0.148^a
Nein	5	11,90%	17	23,94%	5	33,33%	
Ja	37	88,10%	54	76,06%	10	66,67%	
F9							0.077^a
Nein	12	28,57%	32	45,07%	3	20,00%	
Ja	30	71,43%	39	54,93%	12	80,00%	
F10							0.004^a
Nur die palmaren Kollateralnerven	39	55,71%	86	78,90%	20	68,97%	
Nur die dorsalen Kollateralnerven	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	
Beide	31	44,29%	23	21,10%	9	31,03%	
F11							0.066^b
Keine weitere Kürzung	2	2,86%	6	5,50%	0	0,00%	
Weitere Kürzung der Nerven unter axialem Zug (" <i>pull and resect</i> ")	47	67,14%	55	50,46%	12	41,38%	
Spezifische Techniken zur Prävention schmerzhafter Neurome	20	28,57%	47	43,12%	16	55,17%	
Sonstiges	1	1,43%	1	0,92%	1	3,45%	
F12							0.050^b
Verlagerung der Nervenenden weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent)	14	66,67%	14	29,17%	10	58,82%	
Verlagerung der Nervenenden weg vom Nahtbereich	3	14,29%	20	41,67%	7	41,18%	
Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf	0	0,00%	5	10,42%	0	0,00%	
Verlagerung der Nervenenden in den Knochen	2	9,52%	4	8,33%	0	0,00%	
Primäre Koaptation der Nervenenden miteinander (Loopbildung)	2	9,52%	4	8,33%	0	0,00%	
Sonstiges	0	0,00%	1	2,08%	0	0,00%	
F13							0.003^b
Keine weitere Kürzung der Sehnen	14	20,00%	7	6,48%	5	17,24%	
Weitere Sehnenkürzung unter axialem Zug	50	71,43%	97	89,81%	21	72,41%	
Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen	2	2,86%	3	2,78%	2	6,90%	
Vernähen mit dem Strecksehnenstumpf	4	5,71%	0	0,00%	0	0,00%	
Sonstiges	0	0,00%	1	0,93%	1	3,45%	
F14							0.041^b
Belassen der Situation (Keine weitere Sehnenkürzung)	60	85,71%	103	95,37%	28	96,55%	
Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen	7	10,00%	1	0,93%	0	0,00%	
Vernähen mit dem Beugesehnenstumpf	2	2,86%	1	0,93%	0	0,00%	
Sonstiges	1	1,43%	3	2,78%	1	3,45%	

3.2.2.1.1 Statistisch signifikante Unterschiede in Bezug auf die Stammgesellschaft

Chirurgische Berufserfahrung (F4). Bezogen auf die chirurgische Berufserfahrung (F4) konnten mittels Chi-Quadrat-Test statistisch signifikanten Unterschiede in den folgenden Altersgruppen zwischen den Mitgliedern der jeweiligen Gesellschaften eruiert werden: 0-5 Jahre, 6-10 Jahre und über 20 Jahre. Die Anzahl der DGH- und SGH-Mitglieder mit 11-20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung (DGH: n = 44, 40.4%; SGH: n = 13, 44.8%) ist jedoch statistisch signifikant größer als jene der ÖGH-Mitglieder (n = 13, 18.6%). Die Interpretation erfolgte mittels Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton, da vier Zellen (33.3%) eine erwartete Häufigkeit kleiner 5 hatten ($p = 0.014$).

Technik der (Nach-)Amputation (F6). Während bei Frage 6 (F6) mittels Chi-Quadrat-Test (Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton) keine statistisch signifikanten Unterschiede bei den Antworten Exartikulation und Resektion durch den Knochen (transossäre Resektion) festgestellt werden konnten, beantworteten jedoch signifikant weniger Mitgliedern der ÖGH und SGH die Frage 6 mit Sonstiges als DGH-Mitglieder ($p = 0.012$).

Beachtung/Behandlung der Kollateralnerven (F10). Es konnten statistisch signifikante Unterschiede (Interpretation mittels Pearson-Chi Quadrat) zwischen den Mitgliedern der ÖGH und DGH bei den Antworten Nur die palmaren Kollateralnerven sowie Beide festgestellt werden ($p = 0.004$). Während mehr ÖGH-Mitglieder (44.3% vs. 21.1%) beide Kollateralnerven beachten/behandeln, werden nur die palmaren Kollateralnerven von mehr DGH-Mitgliedern beachtet/behandelt (78.9% vs. 55.7%). Die Antworten der SGH-Mitglieder unterschieden sich nicht signifikant von den Mitgliedern der anderen Stammgesellschaften.

Versorgung der Beugesehnen (F13). Statistisch signifikante Unterschiede (Interpretation mittels Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton) bei F13 zwischen Mitgliedern der ÖGH und DGH wurden bei der folgenden Antwortoption festgestellt ($p = 0.003$): Keine weitere Kürzung der Sehnen. Signifikant mehr ÖGH-Mitglieder (20.00%) führen keine weitere Sehnenkürzung durch als DGH-Mitglieder (6.48%). Der Anteil an SGH-Mitgliedern lag zwischen denen der ÖGH sowie DGH und zeigte somit keine statistisch signifikanten Unterschiede. Ein weiterer statistisch signifikanter Unterschied (Interpretation mittels Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton) zwischen ÖGH- und

SGH-Mitgliedern im Vergleich zu Mitgliedern der DGH zeigte sich bei folgender Antwort ($p = 0.003$): Weitere Sehnenkürzung unter axialem Zug. Dabei behandeln signifikant weniger Mitglieder der ÖGH (71.4%) sowie SGH (72.4%) die Beugesehnen mittels weiterer Sehnenkürzung unter axialem Zug als DGH-Mitglieder (89.8%). Vier ÖGH-Mitglieder (5.7%) gaben an, die Beugesehne mit der Strecksehne zu vernähen. Dies ist ein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0.003$) verglichen zu den Mitgliedern der DGH sowie SGH (jeweils 0.0%). Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Mitgliedern der Stammgesellschaft in Hinblick auf jene Mitglieder, die eine Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen vornehmen sowie bei der Anzahl an Mitgliedern, welche die Freitextoption (Sonstiges) wählten.

Versorgung der Strecksehnen (F14). Bei der statistischen Auswertung der Daten (Interpretation mittels Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton) zur Frage 14 wurde ein statistisch signifikanter Unterschied ($p = 0.041$) zwischen den Gesellschaftsmitgliedern festgestellt. Dabei nehmen mehr ÖGH-Mitglieder (10.00%) eine Fixierung des Strecksehnenstumpfs am Knochen vor als Mitglieder der DGH (0.93%). Bei den übrigen Antwortoptionen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Keine statistisch signifikanten Unterschiede zeigten sich bei den übrigen Fragen (F5, F7-F9, F11-12).

3.2.2.2 Unterschiede in Abhängigkeit der chirurgischen Berufserfahrung

Um Unterschiede in Abhängigkeit der chirurgischen Berufserfahrung zu eruieren, wurden die Expert*innen in zwei Gruppen unterteilt (≤ 20 Jahre chirurgische Berufserfahrung vs. > 20 Jahre chirurgische Berufserfahrung). Die Ergebnisse der statistischen Auswertung sind in Tabelle 18 ersichtlich.

Tabelle 3: Daten der statistischen Auswertung (Chi-Quadrat-Tests) zur Unterscheidung der Antworten zwischen Mitgliedern mit ≤ 20 oder > 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung; ^aExakter Test nach Fisher-Freeman-Halton, ^bKontinuitätskorrektur.

	≤ 20 [Jahre]		> 20 [Jahre]		p-Wert
	n	%	n	%	
F5					1.000 ^a
Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximaler Längenerhalt MIT Beachtung funktioneller Aspekte	103	98,10%	101	98,06%	
Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximaler Längenerhalt MIT Beachtung funktioneller Aspekte	2	1,90%	2	1,94%	
F6					0.341 ^a
Exartikulation	68	64,76%	59	57,28%	
Resektion durch den Knochen (transossäre Resektion)	32	30,48%	41	39,81%	
Sonstiges	5	4,76%	3	2,91%	
F7					0.457 ^a
Nein	1	2,70%	0	0,00%	
Ja	36	97,30%	44	100,00%	
F8					0.078 ^a
Nein	10	14,49%	17	28,81%	
Ja	59	85,51%	42	71,19%	
F9					0.669 ^b
Nein	27	39,13%	20	33,90%	
Ja	42	60,87%	39	66,10%	
F10					0.319 ^b
Nur die palmaren Kollateralnerven	39	55,71%	86	78,90%	
Beide	31	44,29%	23	21,10%	
F11					0.047 ^a
Keine weitere Kürzung	1	0,95%	7	6,80%	
Weitere Kürzung der Nerven unter axialem Zug (" <i>pull and resect</i> ")	57	54,29%	57	55,34%	
Spezifische Techniken zur Prävention schmerzhafter Neurome	44	41,90%	39	37,86%	
Sonstiges	3	2,86%	0	0,00%	
F12					0.034 ^a
Verlagerung der Nervenden weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent)	25	53,19%	13	33,33%	

Verlagerung der Nervenenden weg vom Nahtbereich	17	36,17%	13	33,33%	
Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf	0	0,00%	5	12,82%	
Verlagerung der Nervenenden in den Knochen	2	4,26%	4	10,26%	
Primäre Koaptation der Nervenenden miteinander (Loopbildung)	2	4,26%	4	10,26%	
Sonstiges	1	2,13%	0	0,00%	
F13					0.005^a
Keine weitere Kürzung der Sehnen	6	5,77%	20	19,42%	
Weitere Sehnenkürzung unter axialem Zug	91	87,50%	77	74,76%	
Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen	2	1,92%	5	4,85%	
Vernähen mit dem Strecksehnenstumpf	3	2,88%	1	0,97%	
Sonstiges	2	1,92%	0	0,00%	
F14					0.761^a
Belassen der Situation (Keine weitere Sehnenkürzung)	97	93,27%	94	91,26%	
Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen	3	2,88%	5	4,85%	
Vernähen mit dem Beugesehnenstumpf	1	0,96%	2	1,94%	
Sonstiges	3	2,88%	2	1,94%	

3.2.2.2.1 Statistisch signifikante Unterschiede in Bezug auf die chirurgische Berufserfahrung

Versorgungstechnik der Kollateralnerven (F11). Bei Frage 11, welche sich auf die Behandlung der Kollateralnerven bezieht, wurde bezüglich der Antwortoption Keine weitere Kürzung ein statistisch signifikanter Unterschied (Interpretation mittels Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton) festgestellt. Eine signifikant größere Anzahl an Expert*innen mit mehr als 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung führt bei der Behandlung der Kollateralnerven keine weitere Kürzung durch als Handchirurg*innen mit weniger (≤ 20 Jahre) chirurgischer Berufserfahrung (6.80% vs. 0.95%; $p = 0.047$).

Spezifische Techniken zur Neuromprävention (F12). Signifikant mehr Chirurg*innen mit > 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung führen eine Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf durch als Chirurg*innen mit ≤ 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung (12.82% vs. 0.00%; $p = 0.034$).

Versorgung der Beugesehnen (F13). Bei der chirurgischen Technik zur Behandlung der Beugesehnen (F13) konnten statistisch signifikante Unterschiede (Interpretation mittels Exakter Test nach Fisher-Freeman-Halton) zwischen den beiden Gruppen ($p = 0.005$) festgestellt werden. Signifikant mehr Expert*innen mit mehr als 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung (19.42%) führen keine weitere Kürzung der Sehnen durch als Personen mit weniger Berufserfahrung (5.77%). Umgekehrt verhält es sich bei der weiteren Sehnenkürzung unter axialem Zug. Diese wird von signifikant mehr

Mitgliedern mit weniger Berufserfahrung (87.50%) durchgeführt als von Mitgliedern mit mehr als 20 Jahren Erfahrung (74.76%).

Bei den übrigen Fragen und Antwortoptionen (F5-F10, F14) konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede in Bezug auf die chirurgische Berufserfahrung festgestellt werden.

4 Diskussion

Die hier vorliegende und auf einer Online-Umfrage basierte Arbeit hatte zum Ziel, einen Überblick über chirurgische Vorgehensweisen im Rahmen der primären Stumpfbildung bei traumatischen nicht-infizierten Langfingeramputationen auf Höhe der IP-Gelenke ohne Möglichkeit der Replantation zu gewinnen. Dabei lagen die Techniken zur Behandlung der Knochen, Gelenkknorpel, Kollateralnerven sowie Beuge- und Strecksehnen im Vordergrund. Der Fragebogen orientierte sich hierbei an dem von *Li et al.* (8), um eine gewisse Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

4.1 Die „ideale“ Technik der Stumpfversorgung

Anhand unserer Ergebnisse lässt sich eine Technik beschreiben, welche die häufigsten Antworten der Befragten im Deutschsprachigen Raum zusammenfasst. Demnach wählt der theoretische Operateur folgende auf eine Online-Umfrage basierende Techniken im Rahmen der primären Stumpfversorgung: Unter Beachtung funktioneller Aspekte führt der/die theoretische Operateur*in bei traumatischen nicht-infizierten Amputationsverletzungen der Langfinger auf Höhe der IP-Gelenke eine Exartikulation durch. Dabei erfolgt im Zuge der Exartikulation die Entfernung des Gelenkknorpels sowie eine Reduktion des Phalangealkopfes. Die palmaren Kollateralnerven werden unter axialem Zug gekürzt. Zur Neuromprävention werden die Kollateralnerven weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent) oder weg vom Nahtbereich verlagert. Die Beugeschienen werden unter axialem Zug gekürzt und die Strecksehnen werden keiner spezifischen Behandlung zugeführt.

Amputationen der Fingerspitze, welche den Großteil der Amputationsverletzungen an den Fingern ausmachen, wurden in diesem Fragebogen nicht thematisiert. Es sei dennoch erwähnt, dass ein allgemeiner Konsens darin besteht, dass die Nagelanlage inklusive der germinativen Nagelmatrix komplett entfernt werden sollte, wenn der Fingernagel nicht erhalten werden kann, um das Wachstum von Nagelresten sowie dadurch verursachte Infektionen zu vermeiden (23,100,138).

Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass die in der Umfrage angegebenen Antworten keineswegs „richtig“ oder „falsch“ und nicht kompetitiv zu werten sind. Jede Antwortmöglichkeit hat ihre Berechtigung und wird im Einzelnen im folgenden Abschnitt erläutert.

4.2 Diskussion der einzelnen Aspekte

4.2.1 Beachtung funktioneller Aspekte

Unseren Ergebnissen nach beachten 97.63% im Rahmen der primären Stumpfbildung bei Langfingeramputationen - neben der Beachtung der Weichteilsituation unter maximalem Längenerhalt - ebenso funktionelle Aspekte. Dieses Resultat ist in Übereinstimmung mit dem in der Literatur beschriebenen Ziel des möglichst langen funktionellen Stumpfs (22,23,96,100,105). Die Bedeutung der Länge macht sich vor allem im Bereich des Indexfingers bemerkbar, da dieser zusammen mit dem Mittelfinger an akkuraten Bewegungen der Hand und Finger beteiligt ist und somit dessen Länge eine entscheidende Rolle spielt (25,49,58,61). Unter dem Aspekt der Funktion sollte somit ebenso die Amputationshöhe berücksichtigt werden, da ein funktionsloser Stumpf benachbarte Finger im Bewegungsausmaß einschränken würde (10,96).

4.2.2 Technik der (Nach-)Amputation

Die Technik der (Nach-)Amputation sollte sich nach funktionellen, sozialen und ästhetischen Aspekten richten (9,96,100,117), wobei eine weitere Kürzung des Knochens nach proximal zur Verbesserung der Funktion gerechtfertigt sein kann (9).

Li et al. zufolge präferiert die Mehrheit der Handchirurg*innen (56%) in den Vereinigten Staaten von Amerika die Exartikulation bei Amputationsverletzungen im Bereich der IP-Gelenke (8). Diese Tendenz spiegelt sich in unseren Resultaten wider. Im deutschsprachigen Raum präferieren 60.66% der Handchirurg*innen die Exartikulation im Bereich der IP-Gelenke, während 35.55% der Befragten die transossäre Resektion bevorzugen. Unter den Freitextoptionen wurde vier Mal zusätzlich die Exartikulation angegeben, wodurch theoretisch 62.56% der Befragten die Exartikulation bevorzugen. Obwohl unsere Ergebnisse denen von *Li et al.* (8) ähneln, kann hier lediglich von einer Tendenz ausgegangen werden, da die Technik der (Nach-)Amputation abhängig vom betroffenen Finger sowie der Amputationshöhe selbst ist (9,10,100,122,139).

Die Entscheidungsfindung in Abhängigkeit von der Lokalisation der Amputationsverletzung zeigt sich in den Freitextangaben zur Frage 6 (F6). Prinzipiell ist bei Amputationsverletzungen im Bereich der IP-Gelenke auf den Erhalt der Basen der

Mittel- bzw. Endphalanx zu achten, da in jenem Bereich die Beugesehnen ansetzen (9,10,100). Sind die Ansätze der FDP- und FDS-Sehnen erhalten, so ist demnach die Erhaltung der End- oder Mittelgliedbasis bei Durchtrennung mittels transossärer Resektion sinnvoll, da dadurch die Kraft und die Beweglichkeit besser erhalten bleiben (120) und Fehlstellungen des endständigen Gelenks bei Erhaltung der korrespondierenden Strecksehneninsertionsstellen (*Tubercula dorsales*) verhindert werden können (9,10,100). Sind die Ansätze der Beuge- und Strecksehnen nicht zu erhalten, so ist demnach die Erhaltung der Fingerendglied- bzw. Fingermittelgliedbasis aus funktioneller Sicht wenig sinnvoll. Da der Fragebogen lediglich den Bereich der IP-Gelenke als betroffenes Areal nannte, ist zu erwarten, dass die Exartikulation bevorzugt wird, wenn der Erhalt der Basen - unter der Prämisse einer adäquat durchführbaren Weichteildeckung sowie einem funktionell resultierendem Stumpf - nicht möglich ist.

Im Zuge der Exartikulation ist jedoch darauf zu achten, dass das entsprechende IP-Gelenk gebeugt und durch einen glatten Querschnitt unter Berücksichtigung der anatomischen Strukturen eröffnet wird. Hierbei soll die Inzision nicht über dem Maximum der Flexion des IP-Gelenks erfolgen, da man bedenken muss, dass sich der Gelenkspalt distal der Beugung unterhalb des *Caput phalangis proximalis* befindet (9). Um bereits zu Beginn der Operation solch einen Fehler zu vermeiden, sollte man daher durch Flexion und Extension den Gelenkspalt palpieren und sich somit einen Überblick schaffen (9). Nach breiter Eröffnung des Gelenkspalts und Durchtrennung der Kollateralbänder, wird das Messer orthogonal verkantet und nach distal unter engem Kontakt mit der palmaren Seite des Knochens schräg an die Oberfläche der Beugeseite geführt (9). Wurden die Schritte ordnungsgemäß durchgeführt, so entsteht hierdurch ein palmarer Lappen, der zur Weichteildeckung der Stumpfspitze herangezogen werden kann (9,10,100).

Um eine adäquate Weichteildeckung gewährleisten zu können, stehen unterschiedliche Techniken zur Verfügung. Die chirurgische Amputation wird häufig im Sinne einer „fischmaulartigen“ Inzision (V-förmige mediolaterale Inzision beidseits) durchgeführt, welche in einem gleich großen palmaren und dorsalen Weichteillappen resultiert und somit die Stumpfspitze adäquat decken kann (10,120). Auch ist eine ovale Inzision unter Bildung eines beugeseitigen Hautlappens, der die Spitze des Stumpfs bedecken sollte, möglich (10,120). Die Bildung eines palmaren Hautlappens liegt im Faktum begründet, dass die Haut palmar eine bessere Sensibilität sowie eine höhere Beanspruchbarkeit aufweist (9). Die Narbe bei Bildung eines palmaren Hautlappens kommt dabei auf der Streckseite des Stumpfs zu liegen, um die Narbe fern der

Belastungszone zu platzieren und so Wundheilungsstörungen zu vermeiden (9,100). Abhängig von der Lokalisation stehen ebenso lateral oder dorsal gestielte Hautlappen sowie freie Hauttransplantate zur Verfügung, wenn eine weitere funktionseinschränkende Knochenverkürzung zu vermeiden ist (9,10,122). Angesichts der Wichtigkeit der adäquaten Weichteildeckung und wie bereits zuvor beschrieben, ist somit die Weichteilsituation ein wichtiger Faktor für die Entscheidung über Exartikulation vs. transossäre Resektion, sodass die knöcherne Rückkürzung in der Regel in einem Ausmaß erfolgt, in dem die Stumpfspitze spannungsfrei und ausreichend mittels präpariertem Weichteilmantel vernäht werden kann (10,100).

4.2.3 Aspekte bei der transossären Resektion

4.2.3.1 Knochenglättung

Im Konsens mit der Literatur (8,10,100,138–140) führt die Mehrheit (98.80%) der in dieser Studie befragten Personen eine zusätzliche Glättung der Knochenkanten im Rahmen einer transossären Resektion durch. Die Vorteile der Knochenglättung ergeben sich dadurch, dass damit symmetrische Stumpfkappen und ein ästhetisch ansprechenderes Ergebnis erzielt sowie Schmerzen und Druckstellen verhindert werden können (10,100,120). Eine einfache Form der Knochenglättung stellt beispielsweise Bearbeitung der Knochenenden der Fingerbasen mit einer Luer-Zange dar (9).

4.2.4 Aspekte bei der Exartikulation

4.2.4.1 Gelenkknorpel

Ob der verbliebene Gelenkknorpel im Rahmen der Exartikulation entfernt werden soll oder nicht wird kontrovers diskutiert (8,10,100,141–143). Einerseits wird eine Entfernung der residualen *Cartilago articularis* aufgrund einer möglichen Nekrose derselben sowie eines zu weichen bzw. schmerzempfindlichen Stumpfs bei belassenem Gelenkknorpel empfohlen (100,138). Andererseits wurden weniger entzündliche Reaktionen sowie eine bessere Flexibilität des Fingerstumpfs bei Belassen des Gelenkknorpels beobachtet (141,142). Außerdem berichten *Conolly* und *Goulston*, dass der Gelenkknorpel physiologisch dafür geformt sei, eine schmerzfreie Kraftübertragung zu ermöglichen (23). Im Vergleich zu den Ergebnissen von *Li et al.* (8), bei welchen 57% der

Handchirurg*innen den Gelenkknorpel entfernen, zeigt sich bei unserer Studie eine stärkere Tendenz zur Entfernung der *Cartilago articularis* (78.91%). Die Präferenz der Entfernung unterscheidet sich in der hier vorliegenden Studie weder in Abhängigkeit der Stammgesellschaft noch in Abhängigkeit der chirurgischen Berufserfahrung statistisch signifikant voneinander. Momentan liegen nach wie vor zu wenige Daten für oder gegen die Entfernung des Gelenkknorpels vor, als dass eine klare Empfehlung diesbezüglich ausgesprochen werden kann.

4.2.4.2 Umgang mit dem Phalangealkopf

Mühdorfer-Fodor et al. sowie weiteren Autoren zufolge scheint es einen Konsens bezüglich der Knochenglättung bzw. Reduktion des verbliebenen Phalangealkopfes im Zuge der Exartikulation zu geben (9,10,100), der auch von *Li et al.* (8) bestätigt wird, indem sie berichten, dass 82% der amerikanischen Handchirurg*innen eine Reduktion des Phalangealkopfes bei Exartikulation durchführen. Im Vergleich zu den amerikanischen Kolleg*innen, zeigen die Ergebnisse unserer Umfrage (63.28%) jedoch eine weniger starke Tendenz. Dass der Großteil eine Reduktion des verbliebenen Phalangealkopfes durchführt, liegt vermutlich darin begründet, dass ein residualer Phalangealkopf ohne Reduktion unter anderem als ästhetisch nicht ansprechend, zu breit ausladend und funktionell inadäquat beschrieben wird (9,138,139) und somit eine Knochenglättung mit dem Resultat eines kegelförmigem Stumpfs berechtigt zu sein scheint (8,23,100). Zudem kann die Reduktion ebenso als notwendige Maßnahme für eine ausreichende Weichteildeckung dienen (9).

4.2.5 Kollateralnerven

Interessanterweise wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Mitgliedern der DGH und ÖGH bei der Beachtung/Behandlung der Kollateralnerven festgestellt. Während mehr ÖGH-Mitglieder (44.3% vs. 21.1%, $p = 0.004$) beide Kollateralnerven beachten/behandeln, tendieren DGH-Mitglieder dazu, nur die palmaren Kollateralnerven zu beachten/behandeln (78.9% vs. 55.7%, $p = 0.004$). Da der Großteil der Studienpopulation aus DGH-Mitgliedern bestand, ist jedoch die Tendenz zur Beachtung/Behandlung der palmaren Kollateralnerven im Rahmen dieser Studie die präferierte Vorgehensweise. Diesbezüglich ist kein Vergleich zur Studie von *Li et al.* (8) möglich, da sie nicht zwischen dorsalen und palmaren Kollateralnerven in der

Fragestellung differenzierten. Obwohl lediglich 3.85% keine weitere Kürzung der Kollateralnerven durchführen, tun dies mehr Chirurg*innen mit > 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung als Expert*innen mit ≤ 20 Jahren Erfahrung (6.80% vs. 0.95%, p = 0.047).

4.2.6 Neuromprävention

Die Entwicklung symptomatischer Neurome im Rahmen von Amputationsverletzungen ist mitunter eine der größten Sorgen bei Nervenrestgewebe und kann für Patient*innen sowohl physisch als auch psychisch sehr einschränkend sein (8,99,133). Patient*innen berichten nach Amputationsverletzungen der Finger in 2.7% bis 30% der Fälle von der Entwicklung eines schmerzhaften Neuoms (134,144). Da Nervenenden unter reaktiver Neurombildung zu heilen versuchen, ist die Prävention von Neuomen selbst eigentlich nicht möglich. Der Terminus „Neuomprävention“ bezieht sich daher auf die Prävention schmerzhafter Neurome.

Es existieren über 150 verschiedene chirurgische und nicht-chirurgische Methoden zur Neurombehandlung und nach wie vor ist die optimale Behandlung bzw. das optimale Vorgehen zur Prävention schmerzhafter Neurome nicht geklärt (133). Die Existenz einer großen Vielfalt an chirurgischen Techniken, die zur Behandlung von symptomatischen Neuomen verfügbar sind, legt nahe, dass es keinen Goldstandard gibt, um alle schmerzhaften Neurome effektiv zu behandeln (133). Die Neuomexzision ist eine der ältesten beschriebenen chirurgischen Verfahren (133). *Tupper* und *Booth* berichten sogar in 68% von exzellenten oder zufriedenstellenden Ergebnissen nach einer Neuomexzision (145). *Guse* und *Moran* verglichen retrospektiv bei 56 Patient*innen mit einem peripheren Neurom distal des Ellbogens die Ergebnisse unterschiedlicher Methoden zur Neurombehandlung miteinander (Nerventransposition in Knochen oder Muskeln vs. einfache Neuomexzision vs. Nervenreparatur) (146). Dabei stellten sie fest, dass die Rate an Revisionen bei einer Transposition in den Knochen oder Muskel bei 36% lag, bei einer Exzision bei 47% und bei einer Nervenreparatur bei 11% (146). Somit sprechen sich die Autoren gegen die einfache Nervenresektion aus (146). Zudem berichteten *Tay et al.* bei einem Rattenmodell über eine verringerte Neurombildung wenn der durchtrennte Nerv mit kurzer (4 Sekunden) oder langer (10 Sekunden) mono- oder bipolarer Elektrokoagulation versorgt wurde (147). In ihrer Studie diente eine unbehandelte Kontrollgruppe als Vergleichsgruppe (147). Dabei wurde eine Neuombildungs-Inzidenz von 83% bis 100%

in der Kontrollgruppe beobachtet, während sowohl die kurz als auch lang mittels monopolarer Elektrokoagulation behandelten Gruppen eine signifikant geringere Rate an Neuomen (30%) vorwiesen (147). Bezüglich der Verwendung von bipolarer Elektrokoagulation konnte lediglich ein signifikanter Unterschied bei langer Verwendung festgestellt werden (147).

Zu den Grundsätzen der Prävention schmerzhafter Neurome zählt, dass die Nervenenden weg vom Bereich vorhersehbaren Traumas, weg vom Bereich der chirurgischen Inzision und entfernt von Narbenbereichen sowie der Stumpfkappe zu liegen kommen und außerdem vom Kollateralarterienstumpf separiert werden sollen (10,23,100,136,138,139,148). In diesem Zusammenhang konnten wir einen statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich der Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf feststellen, die insgesamt 5.81% laut unserer Umfrage durchführen. Dabei führen signifikant mehr Chirurg*innen mit > 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung eine Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf durch als Expert*innen mit ≤ 20 Jahren chirurgischer Berufserfahrung (12.82% vs. 0.00%, $p = 0.034$). Dieser Umstand kann womöglich damit erklärt werden, dass durch die Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf eine bessere Mobilisierung des Nervenendes erreicht und dieses somit effektiver mittels „*pull and resect*“ Technik axial rückgekürzt werden kann.

Grundsätzlich wird empfohlen, die beiden Gefäß-Nerven-Bündel bis etwa 10 mm proximal der Amputationsstelle freizupräparieren, zu mobilisieren und nach durchgeführter Elektrokoagulation auf jenem Amputationsniveau abzusetzen (100). Empirisch erfolgt dennoch in den meisten Fällen eine ausreichende sensible Versorgung der Stumpfspitze (100,149). Des Weiteren kann alternativ ein Herausziehen und Kürzen der Nervenenden eine Retraktion der Nervenenden weg vom Wundverschluss - in einen Bereich, in welchem die Neuome nicht symptomatisch werden – ermöglichen (10). Zusätzlich kann das Nervenende mittels Gewebekleber versiegelt werden (120,150,151).

In unserer Umfrage gaben 6.98% ($n = 6$) Teilnehmer*innen an, eine primäre Koaptation der Nervenenden (Loopbildung) zur Prävention schmerzhafter Neuroma durchzuführen. *Belcher* und *Pandya* verglichen in ihrer prospektiven randomisierten Studie die primäre Koaptation der Nervenenden (Loopbildung) mit der „*pull and resect*“ Technik unter bipolarer Koagulation bei Patient*innen mit Amputationsverletzungen der Langfinger (152). Sie stellten dabei fest, dass die End-zu-End-Koaptation der Nervenenden (Loopbildung) zu einer signifikant verminderten Stumpfsensibilität, aber zu einer

Verbesserung der Neurom-assoziierten Schmerzsymptomatik führt (152). Die Studie von *Belcher* und *Pandya* wurde ebenso in einer rezenten Übersichtsarbeit (153) eingeschlossen, in der mehrere Methoden der Neuromprävention bei Fingeramputationsverletzungen miteinander verglichen wurden. Die Loopbildung unter End-zu-End-Koaptation der Nervenenden wurde hierbei als beste Option zur Vermeidung von Neurom-assoziierten Schmerzen beschrieben (153). Dennoch sind nach wie vor weitere Studien notwendig, um diese Annahme zu unterstützen. Zusätzlich sind weitere Untersuchungen, die die Loopbildung mit der „*pull and resect*“ Technik unter bipolarer Koagulation vergleichen, notwendig, um weiterführende Vorteile aufzudecken. Interessant wäre beispielsweise, inwiefern sich Patient*innenzufriedenheit zwischen beiden Methoden unterscheidet, da die Loopbildung im Vergleich zur axialen Rückkürzung unter bipolarer Koagulation mit einer Reduktion des Stumpfschmerzes, aber auch der Stumpfsensibilität assoziiert ist (152).

Eine weitere Möglichkeit der Neuromprävention besteht in der Verlagerung der Nervenenden in den Knochen (154). *Hazari* und *Elliot* führten im Rahmen ihrer Studie bei Vorhandensein eines Neuroms im Bereich der Grund- oder Mittelphalanx das Neurom durch den *M. interosseus* und verlagerten es an der dorsoradialen Oberfläche des Mittelhandknochens in ein Bohrloch (154). In 98% der Fälle wurde durch eine proximale Verlagerung eine vollständige Schmerzlinderung an der primären Lokalisation erreicht (154). Dennoch führte dies bei 17% zu Schmerzen an der Stelle, wohin die Nervenenden verlagert wurden; in 23% waren mehrere chirurgische Eingriffe notwendig (154). Um ein Trauma zu minimieren und mögliche Verbindungen zwischen den palmaren und dorsalen sensorischen Nerven – vor allem im Bereich der Mitte der proximalen Phalanx (95) - zu vermeiden, empfahlen die Autoren zudem, zwei knöcherne Segmente nach proximal zu verlagern (154).

Unsere Ergebnisse sind mit den Resultaten von *Li et al.* (8) vergleichbar: 54.81% (n = 114) der Befragten dieser Umfrage führt eine weitere Kürzung der Nerven unter axialem Zug („*pull and resect*“) zur Behandlung der Kollateralnerven durch, während bei 39.90% (n = 83) primär Techniken zur Prävention schmerzhafter Neurome im Vordergrund stehen. Im Konsens mit der Literatur (10,23,100,136,138,139,148) werden zur Neuromprävention die Nervenenden zumeist weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent) (44.32%) bzw. entfernt vom Nahtbereich (34.09%) verlagert. Die Durchführung der Elektrokoagulation wurde im Zuge der Freitextoption ebenso von zwei Handchirurg*innen beschrieben. Eine stärkere Tendenz in der Behandlung der Kollateralnerven bzw. der Technik zur Neuromprävention hätte vermutlich durch eine

Mehrfachnennung erfolgen können. Nichtsdestotrotz stellt die Resektion der Nervenenden mittels „*pull and resect*“ Technik, wie bei der Untersuchung von *Li et al.* (8), die bevorzugte Technik zur Behandlung der Kollateralnerven dar. In der Vorstudie (8) wurde jedoch die primäre Koaptation von Nervenenden, welche einer aktuellen Übersichtsarbeit (153) nach als beste Option zur Vermeidung von Neurom-assoziierten Schmerzen deklariert wurde, nicht erwähnt.

4.2.7 Beugesehnen

Wie bereits beschrieben, sollten der Literatur zufolge, wenn möglich, die Insertionspunkte der Sehnen erhalten werden. Können sie nicht erhalten werden, besteht ein allgemeiner Konsens bei der Versorgung der Langfingerbeugesehnen darin, dass diese herausgezogen und gekürzt werden sollen, um Bewegungsstörungen, *Quadriga*-Phänomene sowie Sehendysbalancen zu vermeiden (10,23,42,100,138,139). Diese Tendenz spiegelt sich auch in unserer Umfrage wider, da der Großteil der Expert*innen (81.16%) angab, die Beugesehnen mittels „*pull and resect*“ Technik zu versorgen. Dabei wurde jedoch ein statistisch signifikanter Unterschied in Abhängigkeit der Stammgesellschaft festgestellt. Mehr DGH-Mitgliedern versorgen die Beugesehnen mittels weiterer Kürzung unter axialem Zug im Vergleich zu Mitgliedern der ÖGH und SGH (89.81% vs. 71.43% vs. 72.41%, $p = 0.003$). Zudem wird diese Technik von mehr Chirurg*innen durchgeführt, welche eine chirurgische Berufserfahrung < 20 Jahre aufweisen als jene, die ≥ 20 Jahre Erfahrung haben (87.50% vs. 74.76%, $p = 0.005$).

Dass der Großteil der Befragten zur „*pull and resect*“ Technik tendiert, liegt womöglich auch darin begründet, dass die FDP-Sehne bei Amputationsverletzungen auf Höhe des DIP-Gelenks bei nicht eindeutiger Längenposition eher unter axialem Zug gekürzt anstatt (nach distal gezogen und) an einer extraanatomischen fixiert werden soll, da die funktionelle Beeinträchtigung eines *Quadriga*-Phänomens schwerwiegender ist als die eines *Lumbricalis-Plus*-Syndroms (63,132). Zudem ist bekannt, dass bei Beugesehnen, deren anatomischer Insertionspunkt distal des Amputationsniveaus liegt, diese - um eine Bewegungsstörung durch narbige Verwachsungen (z.B. narbige Verwachsung der desinserierten FDP-Sehne mit der noch intakten FDS-Sehne oder durch die Fehlfunktion des betreffenden *M. lumbricalis*) zu verhindern – im Zuge der „*pull and resect*“ Technik so weit proximal wie möglich abgesetzt werden sollten (100).

Zudem konnten wir feststellen, dass signifikant mehr Chirurg*innen mit > 20 Jahren Berufserfahrung keine weitere Beugesehnenkürzung vornehmen als Expert*innen mit ≤ 20 Jahren Erfahrung (19.42% vs. 5.77%, $p = 0.005$). Das Vernähen der Beuge- mit der Strecksehne über der Knochenspitze sollte laut *Mühldorfer-Fodor et al.* (100) vermieden werden, da ansonsten die Funktion beider Sehnen sowie die Funktion der übrigen Finger (*Quadrige*-Phänomen) beeinträchtigt werden können (9,10,65,100,155). Unseren Ergebnissen nach gaben 1.93% der Befragten an, diese Technik durchzuführen; dies könnte darin begründet sein, dass mittels dieser Technik ein Abpolstern an der Knochenspitze gewährleistet werden kann. Nichtsdestotrotz sollte der Literatur zufolge im Zuge des Vernähens beider Sehnenstümpfe miteinander an mögliche negative Konsequenzen funktioneller Aspekte (*Quadrige*-Phänomen) gedacht werden (63,65,100,132).

Es wird ebenso beschrieben, dass ein *Quadrige*-Phänomen mit Beeinträchtigung der Griffkraft auch eine Folge der Fixation der FDP-Sehne an extraanatomischen Lokalisationen, wie beispielsweise Knochenresten, sein kann (100,138,139). Dieses Phänomen kann somit in Erscheinung treten, wenn die durchtrennte proximale FDP-Sehne im Zuge einer Tenodese beispielsweise über das Ringbandsystem distaler als an ihrer natürlichen Position befestigt wird (121,132). Dementsprechend, aufgrund der funktionellen Abhängigkeit der FDP-Sehnen (Finger III-V), würde in jedem Finger nur so viel Bewegung zugelassen werden, wie in der kürzesten Sehne möglich (121,132). Das hätte somit zur Folge, dass sowohl der amputierte als auch unbeteiligte Finger an der gemeinsamen Flexion gehindert würden und somit eine zusätzliche (neben den unvermeidbaren funktionellen Folgen) Abnahme der Griffkraft (Faustschluss) resultieren würde (65,121,132).

Unsere Resultate zeigen, dass 3.38% der an der Umfrage beteiligten Personen eine Fixierung des Beugesehnenstumpfs am Knochen präferieren. Dies ist womöglich darauf zurückzuführen, dass der Fragebogen nicht explizit zwischen FDS- und FDP-Sehnen differenzierte und somit die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind. Zudem gab ein/eine Handchirurg*in an, dass er/sie die FDS-Sehne am Knochen fixiert, um die Beweglichkeit im PIP-Gelenk zu erhalten. Außerdem sollte, sofern möglich, im Bereich des DIP-Gelenks die FDP-Insertionsstelle erhalten werden, um die Länge des Fingers und die Beweglichkeit des DIP-Gelenks zu erhalten sowie für eine adäquate „*pinch*“-Stabilität zu sorgen (10). Dieser Umstand unterstreicht erneut, dass die Interpretation der Ergebnisse wertfrei erfolgen sollte.

4.2.8 Strecksehnen

In Bezug auf die Strecksehnen wird in der Literatur beschrieben, dass diese lediglich auf Wundrandhöhe oder nur bis knapp proximal des Amputationsniveaus gekürzt werden sollen (100,120). Entsprechend dieser Empfehlung besteht, unseren Ergebnissen nach, folgender Konsens in der Versorgung der Strecksehnen: Der Großteil (92.27%) gab an, die Situation der Strecksehnen zu belassen bzw. keine weitere Kürzung der Strecksehnen vorzunehmen. Dies ist im Konsens mit der in der Literatur angegebenen Behandlung der Strecksehnen, wobei beschrieben wird, dass Strecksehnen in Wundrandhöhe bzw. nur bis knapp proximal der Amputationshöhe gekürzt werden müssen (100,120). Obwohl lediglich 3.86% (n = 8) der Befragten eine Fixierung des Strecksehnenstumpfs am Knochen vornehmen, führen dies interessanterweise signifikant mehr ÖGH-Mitglieder durch als Mitglieder der DGH (10.00% vs. 0.93%, $p = 0.041$). SGH-Mitglieder unterschieden sich in diesem Aspekt nicht signifikant von Mitgliedern der ÖGH und DGH.

4.3 Limitationen der Studie

Der in dieser Studie verwendete Fragebogen beinhaltete lediglich Single-Choice sowie Freitexte als Antwortoptionen, um Präferenzen zu erfragen, welche nicht pauschalisiert werden können und sollen, wodurch Mehrfachnennungen nicht vorgesehen waren. Dementsprechend sind alle Angaben der Umfrageteilnehmer*innen nicht als absolut bzw. richtig oder falsch, sondern als wertfreie Präferenzen zu interpretieren. Daher sind die im Fragebogen inkludierten Einfachnennungen als inhaltliche Limitation der Untersuchung zu werten, die jedoch aus formaler Sicht eine differenzierte Aussage hinsichtlich Tendenzen ermöglichen.

Durch die Anlehnung an das Fragenformat einer Vorstudie (8) wurden im Rahmen dieser Untersuchung wichtige Kofaktoren, wie die exakte Amputationshöhe sowie Patientenfaktoren und genauere Verletzungseigenschaften, die in der Entscheidungsfindung miteinfließen, nicht berücksichtigt. Der Fragebogen war dementsprechend in gewissen Aspekten zu unspezifisch, um Empfehlung aussprechen zu können. Die Ergebnisse folglich mit Vorsicht und keinesfalls absolut zu interpretieren.

Zusätzlich weist die hier vorliegende Studie eine sehr geringe Antwortrate auf, die möglicherweise auf die unzureichende Differenzierung in der Fragestellung sowie dem Zeitpunkt der Aussendung zurückzuführen ist. Die Fragen bezogen sich hierbei mehr auf eine „ideale“ Situation bei einem „idealen“ Patienten mit der Erfragung einer Tendenz. Ein

weiterer Grund für die relativ niedrige Antwortrate könnte darin begründet sein, dass die Fallzahlen an Fingeramputationsverletzungen im deutschsprachigen Raum aufgrund der Arbeitsschutzeinrichtungen, die mittlerweile auch in Amateurgeräten Einsatz finden, drastisch zurückgegangen sind. Dies würde mitunter erklären, warum der überwiegende Teil der Studienteilnehmer*innen (83.10%) eine chirurgische Berufserfahrung von ≥ 11 Jahren hatte.

Eine geographische Limitation ergibt sich dadurch, dass der Fragebogen lediglich Mitglieder der ÖGH, DGH und SGH adressierte. Diese geographische Limitation war jedoch intendiert, um die Resultate im DACH-Raum zu vergleichen. Insgesamt sind die Ergebnisse dieser Umfrage somit nicht als konkurrierend und „richtig“ oder „falsch“, sondern als informativ zu interpretieren.

Nichtsdestotrotz sehen wir unsere Ergebnisse als eine Ergänzung zur Vorstudie von *Li et al.* (8), die in dieser Form zugunsten der Vergleichbarkeit beabsichtigt war. Unseres Wissens ist dies die erste Studie, die die präferierten Techniken der primären Stumpfbildung bei Langfingeramputationen im deutschsprachigen Raum eruiert hat. Zudem gibt unsere Studie einen Überblick über die aktuellen Herangehensweisen in der primären Stumpfbildung bei Langfingeramputationen auf Höhe der IP-Gelenke. Außerdem können die Ergebnisse dieser Studie als Grundlage zur Hypothesengenerierung für weitere Studien dienen.

5 Schlussfolgerung

Obwohl die primäre Stumpfbildung keine moderne operative Methode ist, sind dennoch einige Unterschiede in den chirurgischen Techniken deskriptiv und induktiv-statistisch feststellbar. Während zwar gewisse Konsense eruiert werden konnten, bestand dieser in einigen Fällen nicht.

Folgende Konsense der primären Stumpfbildung bei traumatischen und nicht-infizierten Langfingeramputationsverletzungen konnten auf Höhe der IP-Gelenke eruiert werden: (1) neben der Weichteilsituation und dem maximalen Längenerhalt werden ebenso funktionelle Aspekte berücksichtigt; (2) im Rahmen einer transossären Resektion wird eine Knochenglättung durchgeführt; (3) im Zuge einer Exartikulation soll der Gelenkknorpel entfernt werden; (4) Beugesehnen werden mittels „*pull and resect*“ Technik behandelt; (5) bei den Strecksehnen erfolgt keine weitere Sehnenkürzung bzw. wird die Situation belassen.

Kein Konsens (137) konnte in folgenden Aspekten festgestellt werden: (1) Art der (Nach-)Amputation (Exartikulation vs. transossäre Resektion); (2) Reduktion des Phalangealkopfes bei Exartikulation; (3) Behandlung der Kollateralnerven und Neuromprävention. Bei der Technik der (Nach-)Amputation konnte eine leichte Tendenz hinsichtlich der Durchführung einer Exartikulation anstatt einer transossären Resektion beobachtet werden. Im Rahmen der Exartikulation besteht die Tendenz zur Reduktion des residualen Phalangealkopfes. Zusätzlich werden meist nur die palmaren Kollateralnerven berücksichtigt und das von signifikant mehr DGH-Mitgliedern als von Mitgliedern der ÖGH (78.90% vs. 55.71%, $p = 0.004$). Die Kollateralnerven werden zum größten Teil mittels „*pull and resect*“ Technik behandelt, welche von einem signifikant größerem Anteil an DGH-Mitgliedern durchgeführt wird als von Mitgliedern der ÖGH und SGH (89.81% vs. 71.43% vs. 72.41%, $p = 0.003$). Die häufigsten Techniken zur Neuromprävention sind die Verlagerung der Nervenenden weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent) oder weg vom Nahtbereich.

Unsere Ergebnisse indizieren, dass weitere wissenschaftliche Untersuchungen – insbesondere hinsichtlich der Versorgung der Fingernerven und Neuromprävention – für die Etablierung eines verbesserten Vorgehens bei der primären Stumpfbildung von Langfingeramputationen auf Höhe der IP-Gelenke wünschenswert sind. Diese sollten idealerweise im Rahmen von prospektiv, randomisierten, kontrollierten Studien mit großen Vergleichsgruppen erfolgen.

6 Literaturverzeichnis

1. Yeo CJ, Sebastin SJ, Chong AKS. Fingertip injuries. *Singapore Med J.* 2010 Jan;51(1):78–86; quiz 87.
2. Larsen MT, Eldridge-Allegra I, Wu J, Jain SA. Patients admitted for treatment of traumatic finger amputations: Characteristics, causes, and prevention. *J Clin Orthop Trauma.* 2019 Oct;10(5):949–53.
3. Hannah SD. Psychosocial issues after a traumatic hand injury: facilitating adjustment. *J Hand Ther.* 2011 Jun;24(2):95–102; quiz 103.
4. Urbaniak JR, Roth JH, Nunley JA, Goldner RD, Koman LA. The results of replantation after amputation of a single finger. *J Bone Joint Surg Am.* 1985 Apr 1;67(4):611–9.
5. Morrison WA, O'Brien BM, MacLeod AM. Evaluation of digital replantation--a review of 100 cases. *Orthop Clin North Am.* 1977 Apr;8(2):295–308.
6. Crowe CS, Massenburg BB, Morrison SD, Chang J, Friedrich JB, Abady GG, et al. Global trends of hand and wrist trauma: a systematic analysis of fracture and digit amputation using the Global Burden of Disease 2017 Study. *Inj Prev.* 2020 Oct;26(Supp 1):i115–24.
7. Zhang L, Azmat CE, Buckley CJ. Digit Amputation. *Orthopedic Emergencies.* 2021 Jul 25;231–5.
8. Li A, Meunier M, Rennekampff HO, Tenenhaus M. Surgical amputation of the digit: an investigation into the technical variations among hand surgeons. *Eplasty.* 2013;13:e12.
9. Friedel R. Die komplexe Handverletzung und Mikroamputationsverletzungen. In: Towfigh H, Hierner R, Langer M, Friedel R, editors. *Handchirurgie Bd 2.* Berlin Heidelberg: Springer; 2011. p. 1057–100.
10. Kakar S. Digital amputations. In: Wolfe SW, Hotchkiss RN, Pederson WC, Kozin SH, Cohen MS, editors. *Green's operative hand surgery Volume 2.* Seventh edition. Philadelphia, PA: Elsevier; 2017. p. 1708–52.
11. Mulders MAM, Neuhaus V, Becker SJE, Lee SG, Ring DC. Replantation and revascularization vs. amputation in injured digits. *Hand (New York, NY).* 2013 Sep;8(3):267.
12. Maroukis BL, Shauver MJ, Nishizuka T, Hirata H, Chung KC. Cross-cultural variation in preference for replantation or revision amputation: Societal and surgeon views. *Injury.* 2016 Apr;47(4):818–23.
13. Woo SH, Kim YW, Cheon HJ, Nam HJ, Kang DH, Kim JM, et al. Management of complications relating to finger amputation and replantation. *Hand Clinics.* 2015 May 1;31(2):319–38.
14. Kaplan FT, Raskin KB. Indications and surgical techniques for digit replantation. *Bull Hosp Jt Dis.* 2001 2002;60(3–4):179–88.

15. Welman T, Popova D, Vamadeva SV, Pahal GS. Management of amputated digits. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2020 Nov 2;81(11):1–8.
16. Mulders MAM, Neuhaus V, Becker SJE, Lee SG, Ring DC. Replantation and revascularization vs. amputation in injured digits. *Hand (N Y)*. 2013 Sep;8(3):267–73.
17. Dautel G, Barbary S. Mini replants: fingertip replant distal to the IP or DIP joint. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2007;60(7):811–5.
18. Datiashvili RO, Knox KR, Kaplan GM. Solutions to challenging digital replantations. *Clin Plast Surg*. 2007 Apr;34(2):167–75, vii.
19. Prucz RB, Friedrich JB. Upper extremity replantation: current concepts. *Plast Reconstr Surg*. 2014 Feb;133(2):333–42.
20. Ozer K, Kramer W, Gillani S, Williams A, Smith W. Replantation versus revision of amputated fingers in patients air-transported to a level 1 trauma center. *J Hand Surg Am*. 2010 Jun;35(6):936–40.
21. Yoon AP, Mahajani T, Hutton DW, Chung KC, Finger Replantation and Amputation Challenges in Assessing Impairment, Satisfaction, and Effectiveness (FRANCHISE) Group. Cost-effectiveness of Finger Replantation Compared With Revision Amputation. *JAMA Netw Open*. 2019 Dec 2;2(12):e1916509.
22. Louis DS, Hunter LY, Keating TM. Painful neuromas in long below-elbow amputees. *Arch Surg*. 1980 Jun;115(6):742–4.
23. Conolly WB, Goulston E. Problems of digital amputations: a clinical review of 260 patients and 301 amputations. *Aust N Z J Surg*. 1973 Sep;43(2):118–23.
24. Kawaiyah A, Thakur M, Garg S, Kawasmi SH, Hassan A. Fingertip Injuries and Amputations: A Review of the Literature. *Cureus*. 2020 May 26;12(5):e8291.
25. Schmidt HM, Lanz U, editors. Finger: palmar. In: *Chirurgische Anatomie der Hand*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart New York: Thieme; 2003. p. 173–212.
26. Panchal-Kildare S, Malone K. Skeletal anatomy of the hand. *Hand Clin*. 2013 Nov;29(4):459–71.
27. Schmidt HM, Lanz U, editors. Finger: dorsal. In: *Chirurgische Anatomie der Hand*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart New York: Thieme; 2003. p. 241–54.
28. George R. Human finger types. *The Anatomical Record*. 1930;46(2):199–204.
29. Streicher J, Pretterklieber ML. Membrum superius, obere Extremität. In: Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band*. 19., vollst. überarb. und aktualisierte Auflage. Berlin: de Gruyter; 2012. p. 205–94. (Waldeyer A, editor. De Gruyter Studium).

30. Schmidt HM, Lanz U, editors. Übergang Unterarm - Handrücken. In: Chirurgische Anatomie der Hand. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart New York: Thieme; 2003. p. 213–40.
31. Schulter-Ellis FP, Lazar GT. Internal morphology of human phalanges. *J Hand Surg Am.* 1984 Jul;9(4):490–5.
32. Merle M, Jaeger T, Lim A. Flexor Tendon Injuries. In: Merle M, Dautel G, editors. *Emergency Surgery of the Hand.* Philadelphia, PA: Elsevier; 2017. p. 269–302.
33. Doyle JR. Anatomy of the finger flexor tendon sheath and pulley system. *J Hand Surg Am.* 1988 Jul;13(4):473–84.
34. Zafonte B, Rendulic D, Szabo RM. Flexor pulley system: anatomy, injury, and management. *J Hand Surg Am.* 2014 Dec;39(12):2525–32; quiz 2533.
35. Landsmeer JMF. A diagonal band in the dorsal aponeurosis of the human finger. *Ned Tijdschr Geneesk.* 1949 Jul 2;93(27):2265–8.
36. Landsmeer JMF. The anatomy of the dorsal aponeurosis of the human finger and its functional significance. *Anat Rec.* 1949 May;104(1):31–44.
37. Bowers WH. The proximal interphalangeal joint volar plate. II: a clinical study of hyperextension injury. *J Hand Surg Am.* 1981 Jan;6(1):77–81.
38. Vargas A, Chiapas-Gasca K, Hernández-Díaz C, Canoso JJ, Saavedra MÁ, Navarro-Zarza JE, et al. Clinical anatomy of the hand. *Reumatol Clin.* 2012 Jan;8 Suppl 2:25–32.
39. von Schroeder HP, Botte MJ. Anatomy and functional significance of the long extensors to the fingers and thumb. *Clin Orthop Relat Res.* 2001 Feb;(383):74–83.
40. Zwanenburg RL, Werker PMN, McGrouther DA. The anatomy and function of Cleland's ligaments. *J Hand Surg Eur Vol.* 2014 Jun;39(5):482–90.
41. Doyle JR. *Surgical Anatomy of the Hand and Upper Extremity.* Lippincott Williams & Wilkins; 2003. 736 p.
42. Moran SL, Berger RA. Biomechanics and hand trauma: what you need. *Hand Clin.* 2003 Feb;19(1):17–31.
43. Duncan SFM, Saracevic CE, Kakinoki R. Biomechanics of the hand. *Hand Clin.* 2013 Nov;29(4):483–92.
44. Gratzner J, Vökt CA, Brenner P. [Morphological and functional interface between palmar plates of metacarpophalangeal joints and intrinsic muscles of the hand]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2001 Sep;33(5):299–309.
45. Allison DM. Anatomy of the collateral ligaments of the proximal interphalangeal joint. *J Hand Surg Am.* 2005 Sep;30(5):1026–31.

46. Carlo J, Dell PC, Matthias R, Wright TW. Collateral Ligament Reconstruction of the Proximal Interphalangeal Joint. *J Hand Surg Am.* 2016 Jan;41(1):129–32.
47. Leibovic SJ, Bowers WH. Anatomy of the proximal interphalangeal joint. *Hand clinics.* 1994;10(2):169–78.
48. Leibovic SJ, Bowers WH. Anatomy of the proximal interphalangeal joint. *Hand Clin.* 1994 May;10(2):169–78.
49. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, editors. Obere Extremität. In: Prometheus Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 183 Tabellen. 4., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart New York: Thieme; 2014. p. 240–409.
50. Craig SM. Anatomy of the joints of the fingers. *Hand Clin.* 1992 Nov;8(4):693–700.
51. Gigis PI, Kuczynski K. The distal interphalangeal joints of human fingers. *J Hand Surg Am.* 1982 Mar;7(2):176–82.
52. Close JR, Kidd CC. The functions of the muscles of the thumb, the index, and long fingers. Synchronous recording of motions and action potentials of muscles. *J Bone Joint Surg Am.* 1969 Dec;51(8):1601–20.
53. van Beek N, Stegeman DF, van den Noort JC, H E J Veeger D, Maas H. Activity patterns of extrinsic finger flexors and extensors during movements of instructed and non-instructed fingers. *J Electromyogr Kinesiol.* 2018 Feb;38:187–96.
54. Gonzalez MH, Nikoleit J, Weinzeig N. The chiasma of the flexor digitorum superficialis tendon. *J Hand Surg Br.* 1998 Apr;23(2):234–6.
55. Breier S. Verletzungen der Beugesehnen. In: Waldner-Nilsson B, Breier S, Diday-Nolle AP, Eigenheer AR, Saur I, editors. *Handrehabilitation: Für Ergotherapeuten und Physiotherapeuten Band 2: Verletzungen.* 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 241–317.
56. Soubeyrand M, Melhem R, Protais M, Artuso M, Crézé M. Anatomy of the median nerve and its clinical applications. *Hand Surg Rehabil.* 2020 Feb;39(1):2–18.
57. Dinç U, Şengezer E, Beger O, Yılmaz MŞ, Kurtoğlu Olgunus Z. Morphological features of the chiasma tendinum and its relation with surface landmarks and pulleys: a cadaveric study. *Surg Radiol Anat.* 2021 Oct;43(10):1623–33.
58. Braus H, Elze C. Die freie Gliedmaße (Arm und Hand). In: *Bewegungsapparat.* Springer-Verlag; 1929. p. 276–431.
59. Chepla KJ, Goitz RJ, Fowler JR. Anatomy of the flexor digitorum profundus insertion. *J Hand Surg Am.* 2015 Feb;40(2):240–4.
60. Palti R, Vigler M. Anatomy and function of lumbrical muscles. *Hand Clin.* 2012 Feb;28(1):13–7.

61. Schmidt HM, Lanz U, editors. *Hohlhand*. In: *Chirurgische Anatomie der Hand*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart New York: Thieme; 2003. p. 136–9.
62. Garkisch A, Schmitt S, Kim N, Fischer DC, Prommersberger KJ, Mühldorfer-Fodor M. Influence of the flexor digitorum superficialis tendon transfer on grip strength. *J Hand Surg Eur Vol*. 2022 Apr;47(4):405–9.
63. Horton TC, Sauerland S, Davis TRC. The effect of flexor digitorum profundus quadriga on grip strength. *J Hand Surg Eur Vol*. 2007 Apr;32(2):130–4.
64. Verdan CE. Half a century of flexor-tendon surgery. Current status and changing philosophies. *J Bone Joint Surg Am*. 1972 Apr;54(3):472–91.
65. Verdan C. Syndrome of the quadriga. *Surg Clin North Am*. 1960 Apr;40:425–6.
66. Smith RJ. Balance and kinetics of the fingers under normal and pathological conditions. *Clin Orthop Relat Res*. 1974 Oct;(104):92–111.
67. Yamine K. The prevalence of the extensor digitorum communis tendon and its insertion variants: a systematic review and meta-analysis. *Clin Anat*. 2014 Nov;27(8):1284–90.
68. von Schroeder HP, Botte MJ. Functional anatomy of the extensor tendons of the digits. *Hand Clin*. 1997 Feb;13(1):51–62.
69. Henke R, Friedrich U. [Lesion of the ramus profundus of the radial nerve]. *Z Arztl Fortbild (Jena)*. 1976 Jul 15;70(13–14):726–8.
70. Abellan Lopez M, Cegarra-Escolano M, Faglin P, Legré R. Extensor digiti minimi muscular flap: From a clinical case to an anatomical study. *Hand Surg Rehabil*. 2019 Sep;38(4):268–72.
71. Zarzecki MP, Popieluszko P, Zayachkowski A, Pękala PA, Henry BM, Tomaszewski KA. The surgical anatomy of the superficial and deep palmar arches: A Meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2018 Nov;71(11):1577–92.
72. Cobb TK, Cooney WP, An KN. Clinical location of hook of hamate: a technical note for endoscopic carpal tunnel release. *J Hand Surg Am*. 1994 May;19(3):516–8.
73. Cobb TK, Cooney WP, An KN. Relationship of deep structures of the hand and wrist to topographical landmarks. *Clinical Anatomy*. 1993;6(5):300–7.
74. Lee DH, Masear VR, Meyer RD, Stevens DM, Colgin S. Endoscopic carpal tunnel release: a cadaveric study. *J Hand Surg Am*. 1992 Nov;17(6):1003–8.
75. Mestdagh H. [Arcus carpeus palmaris; blood supply to the carpal bones]. *Verh Anat Ges*. 1977;(71 Pt 1):745–52.
76. Mestdagh H, Bailleul JP, Chambon JP, Laraki A. The dorsal arterial network of the wrist with reference to the blood supply of the carpal bones. *Acta Morphol Neerl Scand*. 1979 Feb;17(1):73–80.

77. Jelacic N, Gajisin S, Zbrodowski A. Arcus palmaris superficialis. *Acta Anat (Basel)*. 1988;132(3):187–90.
78. Jaschtschinski SN. Morphologie und Topographie des arcus volaris sublimis und profundus des Menschen. *Anatomische Hefte*. 1896 Nov;7(2):161–88.
79. Lippert H, Pabst R. *Arterial Variations in Man* [Internet]. 1st ed. J.F. Bergmann-Verlag Munich; 1985 [cited 2022 Aug 12]. VI, 122. Available from: <https://link.springer.com/book/9783642805103>
80. Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Weller S, editors. *Chirurgische Operationslehre; Teil: 9 : Schädel, Haltungs- und Bewegungsapparat., Schultergürtel, obere Extremität*. Stuttgart New York: Thieme; 1995. 457 p.
81. Sabri O, Kliche A, Schmidt HM. Der Opponenskanal: Klinische Anatomie der Verbindung zwischen der Guyon'schen Loge und der tiefen Hohlhand. Referat presented at: 32. Symposium der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie (DAH); 1991; Bern.
82. Brunelli F, Brunelli G. Vascular anatomy of the distal phalanx. Fingertip and nailbed injuries. 1991;7.
83. Schmitt R, Hahn P. Anatomie der Mittelhand und Finger. In: Schmitt R, Lanz U, editors. *Bildgebende Diagnostik der Hand*. 3., vollständig überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2015. p. 152–83.
84. Chaudakshetrin P, Kumar VP, Satku K, Pho RW. The arteriovenous pattern of the distal digital segment. *J Hand Surg Br*. 1988 May;13(2):164–6.
85. Smith DO, Oura C, Kimura C, Toshimori K. Artery anatomy and tortuosity in the distal finger. *J Hand Surg Am*. 1991 Mar;16(2):297–302.
86. Zbrodowski A, Gajisin S, Grodecki J. The anatomy of the digitopalmar arches. *J Bone Joint Surg Br*. 1981 Feb;63-B(1):108–13.
87. Birch R. PECTORAL GIRDLE AND UPPER LIMB. In: *Standing S, editor. Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice*. Forty-first edition. New York: Elsevier Limited; 2016. p. 862–94.
88. Spindler V, Waschke J. In: Waschke J, Böckers TM, Paulsen F, editors. *Anatomie: das Lehrbuch: Sobotta*. 2. Auflage. München: Elsevier; 2019. p. 184–205.
89. Ferrari GP, Gilbert A. The superficial anastomosis on the palm of the hand between the ulnar and median nerves. *J Hand Surg Br*. 1991 Dec;16(5):511–4.
90. Waschke J, Böcker T, Paulsen F. *Sobotta Lehrbuch der Anatomie*. 2. Auflage. München: Elsevier; 2019. 184–205 p.
91. Uerpairojkit C, Kittithamvongs P, Puthiwara D, Anantaworaskul N, Malungpaishorpe K, Leechavengvongs S. Surgical anatomy of the dorsal cutaneous branch of the ulnar nerve and its clinical significance in surgery at the ulnar side of the wrist. *J Hand Surg Eur Vol*. 2019 Mar;44(3):263–8.

92. Riveros A, Olave E, Nicholson C, Schorwer K, Torres H. Communicating Branches Between the Median and Ulnar Nerves. Proposal for Inclusion in Terminologia Anatomica. *International Journal of Morphology*. 2019;37, no. 3, pp. 1192–1196.
93. Stancić MF, Mićović V, Potocnjak M. The anatomy of the Berrettini branch: implications for carpal tunnel release. *J Neurosurg*. 1999 Dec;91(6):1027–30.
94. Meals RA, Shaner M. Variations in digital sensory patterns: a study of the ulnar nerve-median nerve palmar communicating branch. *J Hand Surg Am*. 1983 Jul;8(4):411–4.
95. Bas H, Kleinert JM. Anatomic variations in sensory innervation of the hand and digits. *J Hand Surg Am*. 1999 Nov;24(6):1171–84.
96. Waldner-Nilsson B. Amputationen, Replantationen und komplexe Handverletzungen. In: Waldner-Nilsson B, Breier S, Diday-Nolle AP, Eigenheer AR, Saur I, editors. *Handrehabilitation: Für Ergotherapeuten und Physiotherapeuten Band 2: Verletzungen. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 569–638.
97. Olivett B. Conventional fitting of adult amputee. In: Hunter JM, Schneider LH, Mackin EJ, Callahan AD, editors. *Rehabilitation of the hand*. 4th edition. St. Louis: Mosby; 1995.
98. Chang DH, Ye SY, Chien LC, Ma H. Epidemiology of digital amputation and replantation in Taiwan: A population-based study. *J Chin Med Assoc*. 2015 Oct;78(10):597–602.
99. Skoff H, Skoff H. The Psychological and Somatic Consequences of Digital Amputation. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2022 Jun;10(6):e4387.
100. Mühldorfer-Fodor M, Dimitrova P, Prommersberger KJ. [Amputations of fingers and the hand]. *Unfallchirurg*. 2022 Apr;125(4):275–81.
101. Peterson SL, Peterson EL, Wheatley MJ. Management of Fingertip Amputations. *Journal of Hand Surgery*. 2014 Oct 1;39(10):2093–101.
102. Millrose M, Gesslein M, Eisenschenk A. [Traumatic finger amputation]. *MMW Fortschr Med*. 2012 Jun 28;154(12):57.
103. Nigst H. Amputationen. In: Nigst H, Buck-Gramcko D, Millesi H, editors. *Handchirurgie, Bd II*. Stuttgart: Thieme; 1983.
104. Rudigier J, Meier R. Amputationsverletzungen. In: *Kurzgefasste Handchirurgie: Klinik und Praxis*. 6., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2015. p. 274–5.
105. Woo SH, Kim YW, Cheon HJ, Nam HJ, Kang DH, Kim JM, et al. Management of complications relating to finger amputation and replantation. *Hand Clin*. 2015 May;31(2):319–38.
106. Sefrin P. Extremitäten- und Amputationsverletzungen. In: Prommersberger K, Lanz U, editors. *Notfalltherapie*. München: Urban & Schwarzenberg; 1999. p. 338–42.

107. Acciaro AL, Colzani G, Della Rosa N, Starnoni M, Adani R. Digital Replantations: Comparison Veins Anastomoses first versus Arteries Anastomoses first. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2021 Sep;53(5):488–93.
108. Özkan B, Uysal AÇ, Markal Ertas N. Successful Replantation of Tamai Zone I Amputation with Delayed Vein Repair. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2021 Sep;53(5):494–7.
109. Zhu H, Bao B, Zheng X. A Comparison of Functional Outcomes and Therapeutic Costs: Single-Digit Replantation versus Revision Amputation. *Plast Reconstr Surg.* 2018 Feb;141(2):244e–9e.
110. Ono S, Chung KC. Efficiency in Digital and Hand Replantation. *Clin Plast Surg.* 2019 Jul;46(3):359–70.
111. Yoon AP, Wang Y, Wang L, Chung KC, FRANCHISE Group. Patient-reported outcomes after digit replantation and revision amputation: when is maximum recovery attained? *J Hand Surg Eur Vol.* 2021 May;46(4):426–30.
112. Rudigier J, Walde H, Grönninger J, Wendling P. Beurteilung und Behandlung postoperativer Komplikationen nach Mikrochirurgischen Replantationen. *Chir Prax.* 1980;27:691–709.
113. Krylov VS, Stepanov GA, Akchurin RS, Milanov NO. [Microsurgery of the vessels in severe injuries to the fingers and hand]. *Ortop Travmatol Protez.* 1978 Jan;(1):9–13.
114. Biemer E, Duspiva W. *Rekonstruktive Mikrogefäßchirurgie.* Berlin; Heidelberg; New York: Springer; 1980. 151 p.
115. Scott JE. Amputation of the finger. *Br J Surg.* 1974 Jul;61(7):574–6.
116. Sahly A. The mutilation of prehistoric hands. *JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY-BRITISH VOLUME.* 1963;45(2):426.
117. Blair JW, Moskal MJ. Revision amputation achieving maximum function and minimizing problems. *Hand Clin.* 2001 Aug;17(3):457–71, ix.
118. Martini AK. Operative Therapie. In: Martini AK, Assmus H, editors. *Ellenbogen, Unterarm, Hand: 92 Tabellen.* Stuttgart New York: Thieme; 2003. p. 79–106. (Orthopädie und orthopädische Chirurgie / hrsg. von Carl Joachim Wirth und Ludwig Zichner).
119. Peterson SL, Peterson EL, Wheatley MJ. Management of fingertip amputations. *J Hand Surg Am.* 2014 Oct;39(10):2093–101.
120. Martini AK. *Orthopädische Handchirurgie: Manual für Klinik und Praxis.* 2., überarb. Aufl. Darmstadt: Steinkopff; 2008. 246 p.
121. Momeni A, Grauel E, Chang J. Complications after flexor tendon injuries. *Hand Clin.* 2010 May;26(2):179–89.

122. Knobloch K. Amputationen an der oberen Extremität. In: Vogt PM, editor. Praxis der Plastischen Chirurgie: Plastisch-rekonstruktive Operationen - Plastisch-ästhetische Operationen - Handchirurgie - Verbrennungschirurgie. 2011th ed. Berlin Heidelberg: Springer; 2011. p. 245–51.
123. Zhang L, Azmat CE, Buckley CJ. Digit Amputation. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538153/>
124. Dawson-Amoah K, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Hand Intrinsic Muscles. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539810/>
125. Wilson RL, Carter-Wilson MS. Rehabilitation after amputations in the hand. *Orthop Clin North Am.* 1983 Oct;14(4):851–72.
126. Chung KC, Yoon AP, Malay S, Shauver MJ, Wang L, Kaur S, et al. Patient-Reported and Functional Outcomes After Revision Amputation and Replantation of Digit Amputations: The FRANCHISE Multicenter International Retrospective Cohort Study. *JAMA Surg.* 2019 Jul 1;154(7):637–46.
127. Pomares G, Coudane H, Dap F, Dautel G. Epidemiology of traumatic upper limb amputations. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018 Apr;104(2):273–6.
128. Marquardt E, Martini AK. [Amputation surgery of the upper extremities]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1979 Aug;117(4):622–31.
129. Moura VL, Faurot KR, Gaylord SA, Mann JD, Sill M, Lynch C, et al. Mind-body interventions for treatment of phantom limb pain in persons with amputation. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012 Aug;91(8):701–14.
130. Chow SP, Ng C. Hand function after digital amputation. *J Hand Surg Br.* 1993 Feb;18(1):125–8.
131. Karle B, Wittemann M, Germann G. Funktion und Patientenzufriedenheit nach Strahlamputation versus subkapitaler Grundgliedamputation des Zeigefingers. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2002 Jan;34(1):30–5.
132. Ramirez MA, Means KR. Digital soft tissue trauma: a concise primer of soft tissue reconstruction of traumatic hand injuries. *Iowa Orthop J.* 2011;31:110–20.
133. Regal S, Tang P. Surgical Management of Neuromas of the Hand and Wrist. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019 May 15;27(10):356–63.
134. van der Avoort DJJC, Hovius SER, Selles RW, van Neck JW, Coert JH. The incidence of symptomatic neuroma in amputation and neurorrhaphy patients. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2013 Oct;66(10):1330–4.
135. Träger G, Nast-Kolb D. Amputationen und Prothesenversorgung der oberen Extremität. *Chirurg.* 2000 Jun 1;71(6):727–42.

136. Watson J, Gonzalez M, Romero A, Kerns J. Neuromas of the hand and upper extremity. *J Hand Surg Am.* 2010 Mar;35(3):499–510.
137. Diamond IR, Grant RC, Feldman BM, Pencharz PB, Ling SC, Moore AM, et al. Defining consensus: a systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies. *J Clin Epidemiol.* 2014 Apr;67(4):401–9.
138. Thompson RV. Essential Details in the Technique of Finger Amputation. *Medical Journal of Australia.* 1963;2(1):14–8.
139. Chase RA. Functional Levels of Amputation in the Hand. *Surgical Clinics of North America.* 1960 Apr 1;40(2):415–23.
140. Swanson AB. LEVELS OF AMPUTATION OF FINGERS AND HAND--CONSIDERATIONS FOR TREATMENT. *Surg Clin North Am.* 1964 Aug;44:1115–26.
141. Whitaker LA, Graham WP, Riser WH, Kilgore E. Retaining the articular cartilage in finger joint amputations. *Plast Reconstr Surg.* 1972 May;49(5):542–7.
142. Graham WP, Pataky PE, Whitaker LA, Kilgore ES, Riser WA, Buda M, et al. Transarticular joint amputations: the value of preserving articular cartilage. *J Surg Res.* 1973 Jun;14(6):524–37.
143. Graham WP, Kilgore ES, Whitaker LA. Transarticular digital joint amputations: preservation of the articular cartilage. *Hand.* 1973 Feb;5(1):58–62.
144. Martins RS, Siqueira MG, Heise CO, Yeng LT, de Andrade DC, Teixeira MJ. Interdigital direct neuroorrhaphy for treatment of painful neuroma due to finger amputation. *Acta Neurochir (Wien).* 2015 Apr;157(4):667–71.
145. Tupper JW, Booth DM. Treatment of painful neuromas of sensory nerves in the hand: a comparison of traditional and newer methods. *J Hand Surg Am.* 1976 Sep;1(2):144–51.
146. Guse DM, Moran SL. Outcomes of the surgical treatment of peripheral neuromas of the hand and forearm: a 25-year comparative outcome study. *Ann Plast Surg.* 2013 Dec;71(6):654–8.
147. Tay SC, Teoh LC, Yong FC, Tan SH. The prevention of neuroma formation by diathermy: an experimental study in the rat common peroneal nerve. *Ann Acad Med Singap.* 2005 Jun;34(5):362–8.
148. Murray JF, Carman W, MacKenzie JK. Transmetacarpal amputation of the index finger: a clinical assessment of hand strength and complications. *J Hand Surg Am.* 1977 Nov;2(6):471–81.
149. Wang K, Sears ED, Shauver MJ, Chung KC. A systematic review of outcomes of revision amputation treatment for fingertip amputations. *Hand (N Y).* 2013 Jun;8(2):139–45.

150. Edds MV. Prevention of nerve regeneration and neuroma formation by caps of synthetic resin. *J Neurosurg.* 1945 Nov;2:507–9.
151. Martini AK. Die operative Behandlung des Amputationsneuroms. *Operat Orthop Traumatol.* 1990 Nov 1;2(4):263–70.
152. Belcher HJCR, Pandya AN. Centro-Central Union for the Prevention of Neuroma Formation after Finger Amputation. *Journal of Hand Surgery.* 2000 Apr;25(2):154–9.
153. de Lange JWD, Hundepool CA, Power DM, Rajaratnam V, Duraku LS, Zuidam JM. Prevention is better than cure: Surgical methods for neuropathic pain prevention following amputation – A systematic review. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery.* 2022 Mar;75(3):948–59.
154. Hazari A, Elliot D. Treatment of end-neuromas, neuromas-in-continuity and scarred nerves of the digits by proximal relocation. *J Hand Surg Br.* 2004 Aug;29(4):338–50.
155. Schreuders T a. R. The quadriga phenomenon: a review and clinical relevance. *J Hand Surg Eur Vol.* 2012 Jul;37(6):513–22.

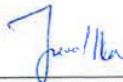
Weiters machen wir darauf aufmerksam, dass der Kommission unverzüglich zu melden sind:

- Abweichungen vom Protokoll aus Sicherheitsgründen oder Protokolländerungen
- Änderungen, die das Risiko der Teilnehmer/-innen erhöhen oder die Durchführung der Studie wesentlich beeinflussen
- Mutmaßliche unerwartete schwerwiegende Nebenwirkungen - SUSARs (AMG-Studien ab 1.5.2004) oder schwerwiegende unerwünschte Ereignisse - SAEs (andere Studien)
- Jegliche Information über sonstige Umstände, die die Sicherheit der Teilnehmer/-innen oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen können

zusätzliche Auflagen: Die behördlich vorgeschriebenen Maßnahmen hinsichtlich der COVID-19 Pandemie müssen beachtet werden. Der Prüfer und der Sponsor müssen in ihrem jeweiligen Wirkungskreis unter allfälliger Beachtung von Leitlinien gewährleisten, dass keine zur Bekämpfung der Pandemie benötigten Ressourcen gebunden werden bzw. ausreichend Personal vorhanden ist und die TeilnehmerInnen durch ihre Studienteilnahme keiner zusätzlichen Infektionsgefahr ausgesetzt werden.

Dieses Votum gilt für ein Jahr ab dem Datum der Ausstellung. Bei längerer Studiendauer ist rechtzeitig vor Ablauf der Gültigkeit des Votums ein Zwischenbericht vorzulegen (Berichtsformular), um eine etwaige Verlängerung zu erlangen.

Graz, 22. Dezember 2021



Univ. Prof. DI Dr. Josef Haas
Vorsitzender



Univ. Prof. Dr. Hans Peter Dimai
Stv. Vorsitzender

Achtung: Bitte bei allen das Projekt betreffende Schreiben oder telefonischen Anfragen die EK-Nummer angeben!

7.2 Inhalt des Fragebogens

F1 Wie alt sind Sie?

- a) unter 30 Jahre
- b) 30-39 Jahre
- c) 40-49 Jahre
- d) 50-59 Jahre
- e) \geq 60 Jahre

F2 Sind Sie...?

- a) Männlich
- b) Weiblich
- c) Non-binär

F3 In welcher der folgenden Gesellschaften sind Sie Mitglied?

- a) Österreichische Gesellschaft für Handchirurgie (ÖGH)
- b) Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie (DGH)
- c) Schweizerische Gesellschaft für Handchirurgie (SGH)

F4 Wie viele Jahre haben Sie chirurgische Berufserfahrung?

- a) 0-5 Jahre
- b) 6-10 Jahre
- c) 11-20 Jahre
- d) $>$ 20 Jahre

F5 Führen Sie die Stumpfbildung rein unter Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximalem Längenerhalt oder auch unter Beachtung funktioneller Aspekte durch?

- a) Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximaler Längenerhalt MIT Beachtung funktioneller Aspekte
- b) Beachtung der Weichteilsituation und möglichst maximaler Längenerhalt OHNE Beachtung funktioneller Aspekte

F6 Welche der angegebenen Techniken führen Sie bei nicht-infizierten traumatischen Langfingeramputationen im Bereich der Interphalangealgelenke (IP) durch?

- a) Exartikulation
- b) Resektion durch den Knochen (transossäre Resektion)
- c) Sonstiges (bitte angeben)

F7 Führen Sie bei transossären Resektionen eine zusätzliche Glättung der Knochenkanten durch?

- a) Nein
- b) Ja

F8 Entfernen Sie im Rahmen von IP-Gelenkexartikulationen der Langfinger den Gelenkknorpel?

- a) Nein
- b) Ja

F9 Reduzieren Sie bei Exartikulation der Langfinger im Bereich der IP-Gelenke die Größe des verbliebenen Phalangealkopfes?

- a) Nein
- b) Ja

F10 Beachten/Behandeln Sie bei der primären Stumpfversorgung nur die palmaren Kollateralnerven oder auch die dorsalen Kollateralnerven?

- a) Nur die palmaren Kollateralnerven
- b) Nur die dorsalen Kollateralnerven
- c) Beide

F11 Wie behandeln Sie die Kollateralnerven der betroffenen Langfinger? Keine weitere Kürzung der Nerven

- a) Weitere Kürzung der Nerven unter axialem Zug („pull and resect“)
- b) Spezifische Techniken zur Prävention schmerzhafter Neurome
- c) Sonstiges (bitte angeben)

F12 Welche der folgenden Techniken setzen Sie zur Prävention schmerzhafter Neurome bei der Primärversorgung ein?

- a) Verlagerung der Nervenenden weg vom erwarteten höchsten Druckpunkt (Fingerbeerenäquivalent)
- b) Verlagerung der Nervenenden weg vom Nahtbereich
- c) Separation der Nervenenden vom Kollateralarterienstumpf
- d) Verlagerung der Nervenenden in den Knochen
- e) Primäre Koaptation der Nervenenden miteinander (Loopbildung)
- f) Sonstiges (bitte angeben)

F13 Wie gehen Sie bei der Versorgung der Beugesehnen vor?

- a) Keine weitere Kürzung der Sehnen
- b) Weitere Sehnenkürzung unter axialem Zug
- c) Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen
- d) Vernähen mit dem Strecksehnenstumpf
- e) Sonstiges (bitte angeben)

F14 Wie gehen Sie bei der Versorgung der Strecksehnen vor?

- a) Belassen der Situation (Keine weitere Sehnenkürzung)
- b) Fixierung des Sehnenstumpfs am Knochen
- c) Vernähen mit dem Beugesehnenstumpf
- d) Sonstiges (bitte angeben)