

Diplomarbeit

**Klinische Nachuntersuchung von
Patient*innen mit Nervenverletzungen an der
Hand**

eingereicht von

Stefanie Walcher

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde
(Drⁱⁿ. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

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

Univ. FA Dr. med. univ. Claus-Uwe Weitzer

Graz, 25. Juli 2024

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 25. Juli 2024

Stefanie Walcher eh.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich meinen herzlichen Dank bei allen, die mich über die ganze Zeit, sowohl bei der Diplomarbeit, als auch im Studium begleitet und unterstützt haben, aussprechen.

In erster Linie möchte ich mich bei meinem Diplomarbeitsbetreuer, Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer, der mir von Anfang an immer tatkräftig zur Seite stand, für sein Engagement, seine Bemühungen, Geduld und auch seine Fachexpertise bedanken. Durch seine kreativen Ideen, seine Erfahrung und das konstruktive Feedback formte sich die Arbeit zu dem, was sie jetzt ist. Ich konnte mir keinen besseren Betreuer vorstellen, herzlichen Dank dafür.

Weiters gilt meinem Zweitbetreuer, Herrn Univ. FA Dr. med. univ. Claus-Uwe Weitzer, großer Dank für die zusätzliche Unterstützung und die Mitbetreuung der Nachuntersuchungen.

Ein herzliches Dankeschön möchte ich auch allen Patient*innen, die an der Nachuntersuchung teilnahmen, für ihr Kommen und somit ihren Beitrag für die zukünftigen Behandlungen von Nervenverletzungen aussprechen.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, die mir das Studium überhaupt erst ermöglichte, mich auf diesem Weg begleitete, mich immer unterstützte, mir den Rücken gestärkt hat, jederzeit ein offenes Ohr hatte und mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ebenso möchte ich mich bei meinem Freundeskreis für die tolle, aufregende Zeit im und rund ums Studium bedanken.

Zusammenfassung

Einleitung: Periphere Nervenverletzungen an der Hand sind eine Folge eines Traumas, das zu einer Teil- bzw. Volldurchtrennung geführt hat. Abhängig von der Höhe der Durchtrennung kann eine motorische und/oder sensorische Funktionseinschränkung die Folge sein. Die Therapie der Wahl ist die chirurgische Koaptation des verletzten Nervs. Ziel der Arbeit war, das sensorische und motorische Outcome von Nervenverletzungen der kindlichen Hand zu erfassen.

Methoden: Mittels retrospektiver Datenanalyse wurden alle Kinder und Jugendliche im Alter von 0 bis 18 Jahren, die sich im Zeitraum von 01.01.2010 bis 31.12.2022 eine Nervenverletzung an der Hand zugezogen hatten und an der Univ.-Klinik für Kinder- und Jugendchirurgie der Medizinischen Universität Graz behandelt wurden, ausgewählt. Die Patient*innen wurden im Zuge der Studie zu einer Nachuntersuchung eingeladen. Es wurden verschiedene Tests, wie z.B. Zwei-Punkt Diskrimination, Semmes-Weinstein Monofilament Test, durchgeführt, die Beweglichkeit der Finger und die Handgriffkraft gemessen, die Sensibilität und Motorik der Hand bzw. des Fingers überprüft und mithilfe von Fragen die subjektive Einschätzung des Endergebnisses der Patient*innen evaluiert.

Resultate: 119 Patient*innen konnten in die Studie eingeschlossen werden, wobei Häufungen der Verletzungen um das erste und das 16. Lebensjahr auftraten. 7 Personen haben sich gleichzeitig mehrere Nerven durchtrennt, sodass eine Gesamtzahl von 127 Nervenverletzungen behandelt wurde. Am häufigsten wurden die Verletzungen am ersten posttraumatischen Tag operiert. Ein signifikanter Unterschied bestand zwischen der Anzahl der ambulanten Wiedervorstellungen und dem Vorhandensein von Zusatzverletzungen.

33 Kinder und Jugendliche (27,7%) nahmen das Angebot der Nachuntersuchung an, drei Patient*innen wurden ausgeschlossen, da diese zu jung waren. Sowohl die Zusatzverletzungen, als auch die Narbenbildung ergaben keinen signifikanten Einfluss auf die subjektive Ergebniszufriedenheit, die durchschnittlich bei einem Wert von 88,2 (Skala 0-100) lag. Mit 76,9% erreichte ein Großteil bei der statischen und 92,6% bei der dynamischen Zwei-Punkt Diskrimination normale Ergebnisse, dennoch liegt ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen gesunden und betroffenen Nerven vor. Beim Semmes-Weinstein Monofilament Test wiesen

dagegen nur 44,4% ein normales Empfinden auf. 50,9% erreichten eine komplette Heilung der Nervenverletzung und 49,1% eine inkomplette.

Conclusio: Die chirurgische Behandlung pädiatrischer Nervenverletzungen der Hand führt zu einem guten Ergebnis. Die subjektive Zufriedenheit ist hoch und es kann eine sehr gute Zwei-Punkt Diskrimination erreicht werden.

Abstract

Introduction: Peripheral nerve injuries of the pediatric hand are rare injuries leading to motoric and/or sensory impairment. The first line therapy is surgical coaptation. The aim of this study was to assess the sensory and motoric outcome of pediatric nerve injuries of the hand.

Methods: A retrospective analysis including all children and adolescents aged from 0 to 18 years with nerve injuries of the hand treated between 1 January 2010 and 31 December 2022 was performed. The patients were re-invited for a follow-up examination. Various tests, such as two-point discrimination and Semmes-Weinstein monofilament test, were conducted. Additionally, the range of motion of the fingers, the hand grip strength, the sensitivity and motoric function of the hand or finger and the subjective satisfaction were assessed.

Results: 119 patients were included in the study. Seven patients had injured more than one nerve leading to a total of 127 nerve injuries. Most injuries were operated on the first posttraumatic day. There was a significant difference between the number of outpatient presentations and the presence of additional injuries.

33 children and adolescents (27.7%) took part in the follow-up examination, three patients were excluded because they were too young. Neither the additional injuries nor the scars had a significant influence on the subjective satisfaction which was 88.2 points (scale 0-100). 79.6% of the patients achieved normal results in the static and 92.6% in the dynamic two-point discrimination. However, there was still a statistically significant difference between the healthy and affected side. In the Semmes-Weinstein Monofilament test, 44.4% showed normal sensation. 50.9% achieved complete healing of the nerve injury.

Conclusion: Surgical repair of pediatric nerval injuries of the hand results in a good outcome. Subjective satisfaction is high and a very good two-point discrimination can be achieved.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung.....	IX
Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Entwicklung der Hand	1
1.1.1 Entwicklung der Innervation der oberen Extremität.....	5
1.1.2 Entwicklung der Blutversorgung der oberen Extremität	5
1.2 Anatomie der Hand	6
1.2.1 Gefäß- und Nervenversorgungen	14
1.3 Verletzungen der Handnerven	19
1.3.1 N. radialis Verletzungen.....	19
1.3.2 N. medianus Verletzungen.....	21
1.3.3 N. ulnaris Verletzungen.....	22
1.3.4 Nn. digitales Verletzungen	23
2 Material und Methoden.....	24
2.1 Retrospektive Studie	24
2.1.1 Patient*innengut.....	24
2.1.2 Ethikvotum	24
2.1.3 Auswertung der Daten	24
2.2 Nachuntersuchung	26
2.2.1 Patient*innengut der Nachuntersuchung	26
2.2.2 Selbstbeurteilung des/der Patient*in	26
2.2.3 Vancouver Scar Scale	26
2.2.4 Beurteilung der Sensibilität	27
2.2.5 Beurteilung der Motorik	32
2.2.6 Heilung.....	35
2.2.7 Quick-DASH Fragebogen	35
2.3 Statistik	36
3 Ergebnisse	37
3.1 Retrospektive Studie	37
3.2 Nachuntersuchung	46
3.2.1 Patient*innengut.....	46

3.2.2	Subjektive Einschätzung	47
3.2.3	Vancouver Scar Scale	51
3.2.4	Beurteilung der Sensibilität	53
3.2.5	Beurteilung der Motorik	60
3.2.6	Heilung – Endergebnis der Nachuntersuchung	63
3.2.7	Quick-DASH Score	63
3.3	Korrelationen der Patient*innen-Zufriedenheit	64
4	Diskussion	67
4.1	Retrospektive Analyse	68
4.1.1	Alter, Geschlecht und Patient*innenanzahl	68
4.1.2	Ursache	69
4.1.3	Verzögerung zur OP & betroffene Nerven	69
4.2	Nachuntersuchung	70
4.2.1	Motorik	71
4.3	Limitationen	72
4.4	Conclusio	73
5	Literaturverzeichnis	74
6	Anhang	78

Abkürzungen und deren Erklärung

FGF	fibroblastic growth factor
Shh	Sonic Hedgehog
AER	apical ectodermal ridge
MCP	Metacarpophalangealgelenk
PIP	proximales Interphalangealgelenk
DIP	distales Interphalangealgelenk
M.	Musculus
Mm.	Musculi
N.	Nervus
Nn.	Nervi
A.	Arteria
Aa.	Arteriae
V.	Vena
R.	Ramus
cm	Zentimeter
mm	Millimeter
g	Gramm
kg	Kilogramm
DASH	Disabilities of the arm, shoulder and hand
FDP	M. flexor digitorum profundus Sehne
ROM	range of motion

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Embryonalentwicklung; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]	1
Abbildung 2: Entwicklung der Extremitäten: von der Knospe bis zu den Armen und Beinen; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]	2
Abbildung 3: Entwicklung der Knochenelemente; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]	4
Abbildung 4: Entwicklung der Finger; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]: Entwicklungsstadien in Tagen – A: 27. Tag, B: 32. Tag, C: 41. Tag, D: 46. Tag, E: 50. Tag, F: 52. Tag	5
Abbildung 5: Gefäßausprossung; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]	6
Abbildung 6: Handskelett dorsal; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [3] - 3.17: Sobotta-Archiv: Sobotta. Atlas der Anatomie des Menschen, div. Auflagen © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München	7
Abbildung 7: Handskelett palmar; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [3] - 3.16: Sobotta-Archiv aus Paulsen/Waschke. Sobotta Atlas der Anatomie. 25. A. 2022 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München.....	8
Abbildung 8: Handmuskeln des Handrückens; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]	10
Abbildung 9: Handmuskeln; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]	11
Abbildung 10: Handmuskeln & Unterarmmuskeln; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]	12
Abbildung 11: Innere Schicht der Handmuskeln; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]	13
Abbildung 12: Rückenmarkssegmente - Innervation des Arms; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]	14
Abbildung 13: Nervus ulnaris Verlauf; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]	16
Abbildung 14: Nervus medianus; Verlauf übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]	17

Abbildung 15: N. radialis Verlauf; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]	18
Abbildung 16: Innervationsgebiet des Nervus radialis; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [7]: sensibles Innervationsgebiet – 1: N. cutaneus brachii posterior, 2: N. cutaneus brachii lateralis inferior, 3: N. cutaneus antebrachii posterior, 4: terminale Hautäste des R. superficialis des N. radialis	20
Abbildung 17: Fallhand; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]	20
Abbildung 18: Innervationsgebiet des Nervus medianus; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [7]	21
Abbildung 19: Schwurhand; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]	22
Abbildung 20: Krallenhand; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]	23
Abbildung 21: Diskriminationsscheibe	28
Abbildung 22: Semmes-Weinstein Monofilamente	30
Abbildung 23: Goniometer	33
Abbildung 24: Messung des Fingerkuppen-Hohlhand-Abstands; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [18]	34
Abbildung 25: Handkraft Dynamometer	34
Abbildung 26: Quick-DASH Auswertung [21]	35
Abbildung 27: Verletzungshäufigkeit nach Alter	37
Abbildung 28: Verletzungshäufigkeit nach Unfallursache	38
Abbildung 29: schematische Darstellung der Häufigkeit verletzter Nerven	39
Abbildung 30: schematische Darstellung der Häufigkeit des verletzten N. radialis	40
Abbildung 31: Anzahl der Wiedervorstellungen in Abhängigkeit von den Zusatzverletzungen	45
Abbildung 32: Histogramm zur subjektiven Ergebniszufriedenheit	49
Abbildung 33: Boxplot der subjektiven Ergebniszufriedenheit	49
Abbildung 34: Histogramm Dauer bis zur subjektiven Normalisierung	50
Abbildung 35: Balkendiagramm Vancouver Scar Scale Gesamtpunkteanzahl	51
Abbildung 36: Balkendiagramm statische Zwei-Punkt Diskrimination	54
Abbildung 37: Boxplot statische Zwei-Punkt Diskrimination gesunder vs. betroffener Finger	55
Abbildung 38: Balkendiagramm Zwei-Punkt Diskrimination	56

Abbildung 39: Boxplot dynamische Zwei-Punkt Diskrimination gesunder vs. betroffener Finger.....	57
Abbildung 40: Balkendiagramm Semmes Weinstein Monofilament Test	58
Abbildung 41: Semmes Weinstein Monofilament Test gesunder vs. verletzter Finger	59
Abbildung 42: Dynamometer - Kraftverhältnis dominanter vs. nicht dominanter Hand	62
Abbildung 43: Histogramm Quick-DASH Endergebnis.....	64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vancouver Scar Scale; modifiziert übernommen aus [9]	27
Tabelle 2: Interpretation der Zwei-Punkt Diskrimination basierend auf der Richtlinie der American Society for Surgery of the Hand; modifiziert nach [10]	28
Tabelle 3: Interpretation des Semmes-Weinstein Monofilament Tests; modifiziert nach [12].....	30
Tabelle 4: Klassifikation der Nervenfunktionsheilung; modifiziert nach [14]	32
Tabelle 5: Bewegungsgrade der Hand nach der Neutral-Null Methode; modifiziert nach [17].....	33
Tabelle 6: Höhe der Verletzung	41
Tabelle 7: Verzögerung zur OP in Tagen	41
Tabelle 8: operative Behandlung - Nahtmaterial	42
Tabelle 9: Dauer des Krankenhausaufenthalts in Tagen.....	43
Tabelle 10: Ruhigstellung (Gips & Schiene).....	43
Tabelle 11: Anzahl der ambulanten Wiedervorstellungen	44
Tabelle 12: Dauer der Folgeaufenthalte in Tagen	46
Tabelle 13: Ergebnis der Patient*innenbefragung	47
Tabelle 14: Ergebniszufriedenheit.....	48
Tabelle 15: Punkteverteilung der Vancouver Scar Scale Unterpunkte	52
Tabelle 16: statische Zwei-Punkt Diskrimination - Differenz gesunder vs. betroffener Finger	53
Tabelle 17: Interpretation statische Zwei-Punkt Diskrimination	54
Tabelle 18: dynamische Zwei-Punkt Diskrimination - Differenz gesunder vs. betroffener Nerv	56
Tabelle 19: Interpretation dynamische Zwei-Punkt Diskrimination	56
Tabelle 20: Differenz Semmes Weinstein Monofilament Test betroffener vs. gesunder Nerv.....	58
Tabelle 21: Ergebnis sensorisches Outcome	60
Tabelle 22: Gelenkbeweglichkeit in Grad, ROM...range of motion.....	60
Tabelle 23: Gelenkbeweglichkeit in Grad mit Zusatzverletzungen	61
Tabelle 24: Gelenkbeweglichkeit in Grad ohne Zusatzverletzung	61
Tabelle 25: Heilung - Endergebnis der Nachuntersuchung	63

Tabelle 26: Korrelation nach Pearson der Faktoren für die Ergebniszufriedenheit 65

Tabelle 27: Korrelation nach Spearman der Faktoren für die Ergebniszufriedenheit

..... 66

1 Einleitung

1.1 Entwicklung der Hand

Die Entwicklung der Extremitäten beginnt in der vierten Woche der Embryonalentwicklung. Durch gruppierte mesenchymale Zellen im Bereich des Seitenplattenmesoderms wird die Entstehung der Armknospen, auch obere Extremitätenknospen bezeichnet, angeregt. Dabei entstehen durch diese mesenchymalen Verdichtungen an den beiden ventrolateralen Seiten des Embryos je eine flache längsverlaufende Falte mit leistenförmigen Verdickungen des Ektoderms. Aus den kranialen und kaudalen Enden der Leisten wachsen die Extremitätenknospen, die sich innen aus Mesenchym und außen aus Ektoderm zusammensetzen, heraus (Abbildung 1) [1].

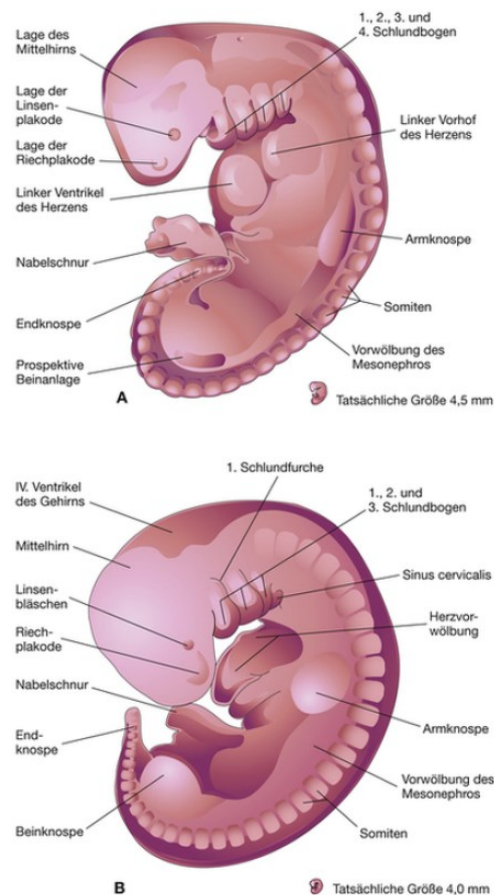


Abbildung 1: Embryonalentwicklung; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]

Die Differenzierung der Extremitätenknospen orientiert sich an der dorsal-ventralen, an der proximal-distalen und der anterior-posterioren, auch genannt kranio-kaudalen, Achse. Am 26. oder 27. Tag sind die Armknospen auf Höhe der kaudalen Halssegmente schon deutlich sichtbar (Abbildung 2). Die mesenchymalen Zellen der Extremitätenknospen proliferieren und kurbeln so das Längenwachstum an, welches von Hox-Genen reguliert wird. Durch Verdickungen des Ektoderms an der Spitze der Knospen entsteht eine Randleiste (AER, apical ectodermal ridge) aus mehrschichtigem Epithel, das die Knospe zu weiterem Auswachsen entlang der proximo-distalen Achse anregt [1].

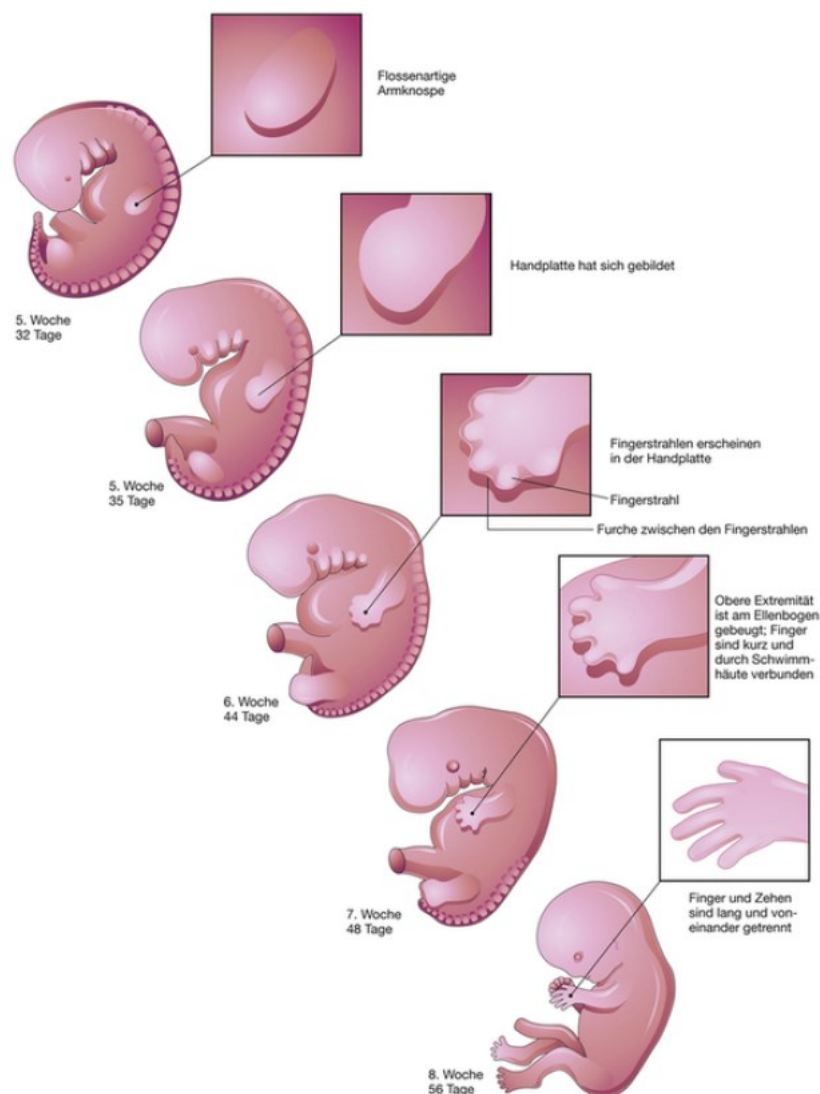


Abbildung 2: Entwicklung der Extremitäten: von der Knospe bis zu den Armen und Beinen; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]

Durch Ansammlung von Mesenchymzellen am posterioren Rand der Knospe kommt es zu einer Zone polarisierender Aktivität, die durch FGF (fibroblastic growth factor) aktiviert wird und es dabei zur Expression von Shh (Sonic Hedgehog) kommt. Shh stimuliert die Entwicklung des Radius im anterioren Bereich und der Ulna im posterioren Bereich des Unterarms. Das proximale Mesenchym der Randleiste entwickelt sich weiter zu Blutgefäßen und knorpeligen Knochenanlagen. Im Laufe der fünften Woche verwandeln sich die Armknospen zuerst in eine Flossenform und dann in Paddeln, bis Handplatten und Fingerstrahlen ausgebildet werden [1]. In der sechsten Woche kommt es zur weiteren Differenzierung durch das Verknorpeln der mesenchymalen Knochenanlagen und der Entstehung von Modellen der späteren Knochelemente, die aus hyalinem Knorpel bestehen. Zu dieser Zeit kann man bereits die Ellbogenregion erkennen und die großen Handplatten entwickeln sich ebenfalls. Durch die Ausbildung von Fingerstrahlen in der Handplatte können die ersten Finger erahnt werden [1]. Diese sind anfangs durch lockeres Mesenchym miteinander verbunden, das in weiterer Folge durch Apoptose abgebaut wird und sich dadurch Furchen bilden. Die Regulation der Knochenanlage geht auf die Homöobox-Gene zurück. Generell entwickeln sich die meisten Extremitätenknochen aus den Mesenchymzellen der Extremitätenknospe, die aus Mesoderm und Neuralleiste entsprungen sind. Ausgehend von den primären Knochenkernen der Diaphysen verknöchern die langen Röhrenknochen am Ende der Embryonalzeit und so sind bei der Geburt bereits alle primären Knochenkerne ausgebildet. Die Handwurzelknochen ossifizieren erst nach der Geburt im Laufe der ersten Jahre. Wenn die 42 Tagemarke erreicht ist, ist das Skelett der Extremitäten bereits knorpelig vorhanden (Abbildung 3) [1].

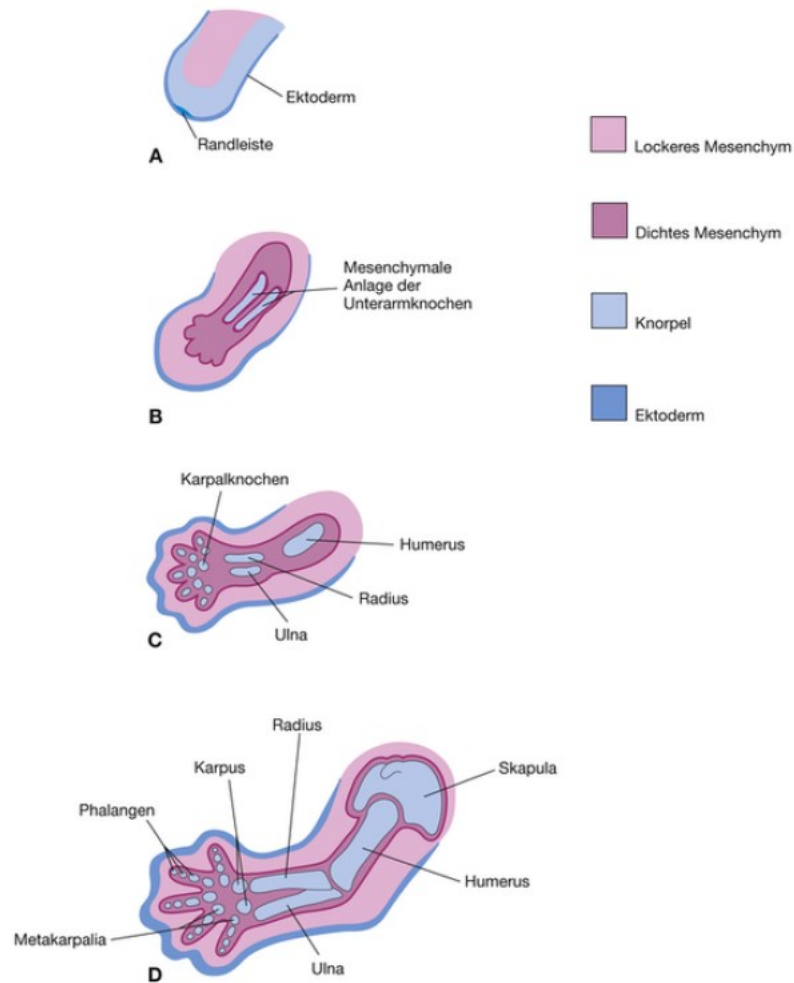


Abbildung 3: Entwicklung der Knochelemente; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]

In der siebten Woche bilden sich zwischen den Fingerstrahlen der Handplatte Einkerbungen, die zukünftig die Fingergrenzen darstellen. Am 47. und 48. Tag ändert sich die Ausrichtung der Extremitäten von ventrolateral nach vorne, also ventral. Folglich kommt es zur Rotation der Arme um 90° um ihre Längsachse, dadurch zeigt der Ellbogen künftig nach kaudal und die Streckmuskulatur positioniert sich lateral und dorsal. Die letzte Woche der Embryonalperiode, die achte, ist gekennzeichnet durch das Längerwerden der Arme, das Beugen im Ellbogen und das Wachsen und Trennen der Finger, die bis dahin noch durch Hautlappen, sogenannte „Schwimmhäute“, miteinander verbunden waren (Abbildung 4) [1].

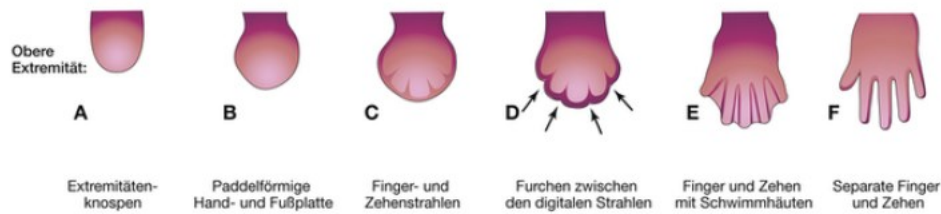


Abbildung 4: Entwicklung der Finger; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]: Entwicklungsstadien in Tagen – A: 27. Tag, B: 32. Tag, C: 41. Tag, D: 46. Tag, E: 50. Tag, F: 52. Tag

1.1.1 Entwicklung der Innervation der oberen Extremität

In der fünften Entwicklungswoche proliferieren aus dem Rückenmark die Axone der Motoneuronen, die sich folglich einen Weg in die dorsalen und ventralen Muskeln bahnen, wobei die motorischen Axone schneller zum Mesenchym der Extremitätenknospe gelangen als die sensiblen. Beide Axontypen sind von Schwann-Zellen-Vorläufern eingehüllt, die aus Neuralleistenzellen entstanden sind, und der Aufgabe der Markscheidenbildung nachgehen. In weiterer Folge versiegt durch das rotierende Wachstum der Überlappungsbereich der rumpfnahen Segmente mit den entsprechenden Hautnerven [1].

1.1.2 Entwicklung der Blutversorgung der oberen Extremität

Dorsale Intersegmentalarterien, ausgehend von der Aorta, sprossen mit ihrem feinen Kapillarnetz in das Mesenchym der Knospen ein. Der periphere Randsinus ist ein „Auffangbehältnis“, von wo aus das Blut in eine periphere Vene abfließt. Die Blutgefäße können mit dem Längenwachstum der Arme nicht mithalten und es kommt zum Verlust der Verbindung an das distale Gefäßnetz. Währenddessen kommt es zur Aussprossung von neuen Arterien, die mit dem Gefäßnetz anastomosieren. Im finalen Schritt der Fingerentwicklung führt die Rückbildung des Randsinus zur Bildung des definitiven Venensystems (Abbildung 5) [1].

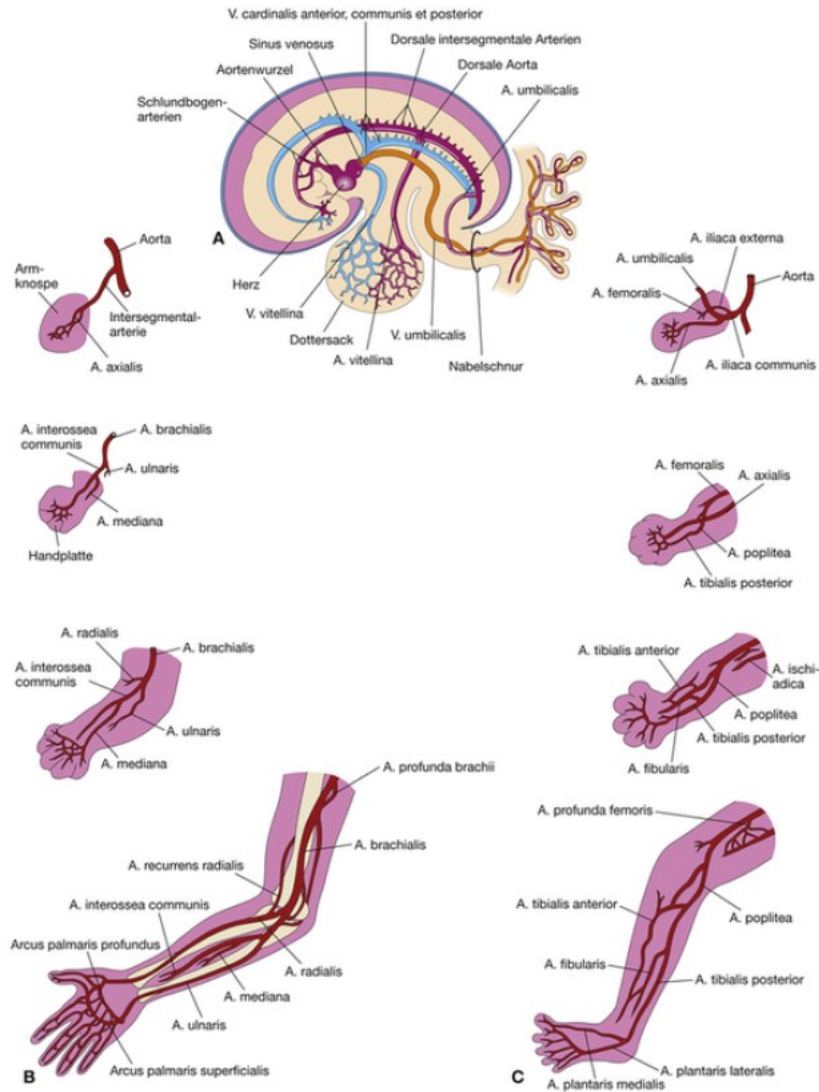


Abbildung 5: Gefäßausspaltung; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [1]

1.2 Anatomie der Hand

Die Hand setzt sich aus der Handwurzel (Carpus), der Mittelhand (Metacarpus) und den Fingern (Digiti) zusammen. Der Carpus besteht aus einer proximalen und einer distalen Knochenreihe – die proximale Reihe beinhaltet von radial nach ulnar betrachtet das Kahnbein (Os scaphoideum), das Mondbein (Os lunatum), das Dreieckbein (Os triquetrum) und das Erbsenbein (Os pisiforme). Die distale Handwurzelreihe setzt sich von radial nach ulnar aus dem großen Vieleckbein (Os trapezium), dem kleinen Vieleckbein (Os trapezoideum), dem Kopfbein (Os

capitatum) und dem Hakenbein (Os hamatum) zusammen [2] (Abbildung 6 & Abbildung 7).

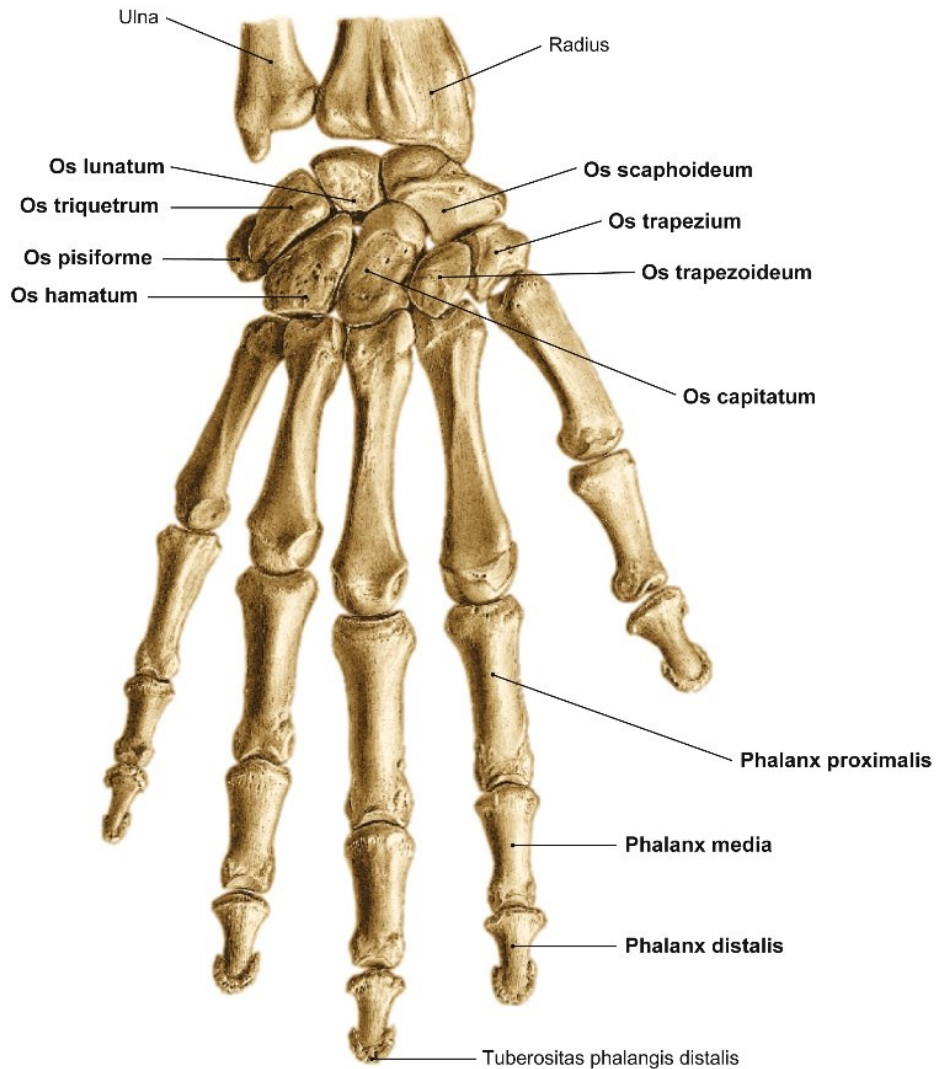


Abbildung 6: Handskelett dorsal; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [3] - 3.17: Sobotta-Archiv: Sobotta. Atlas der Anatomie des Menschen, div. Auflagen © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München

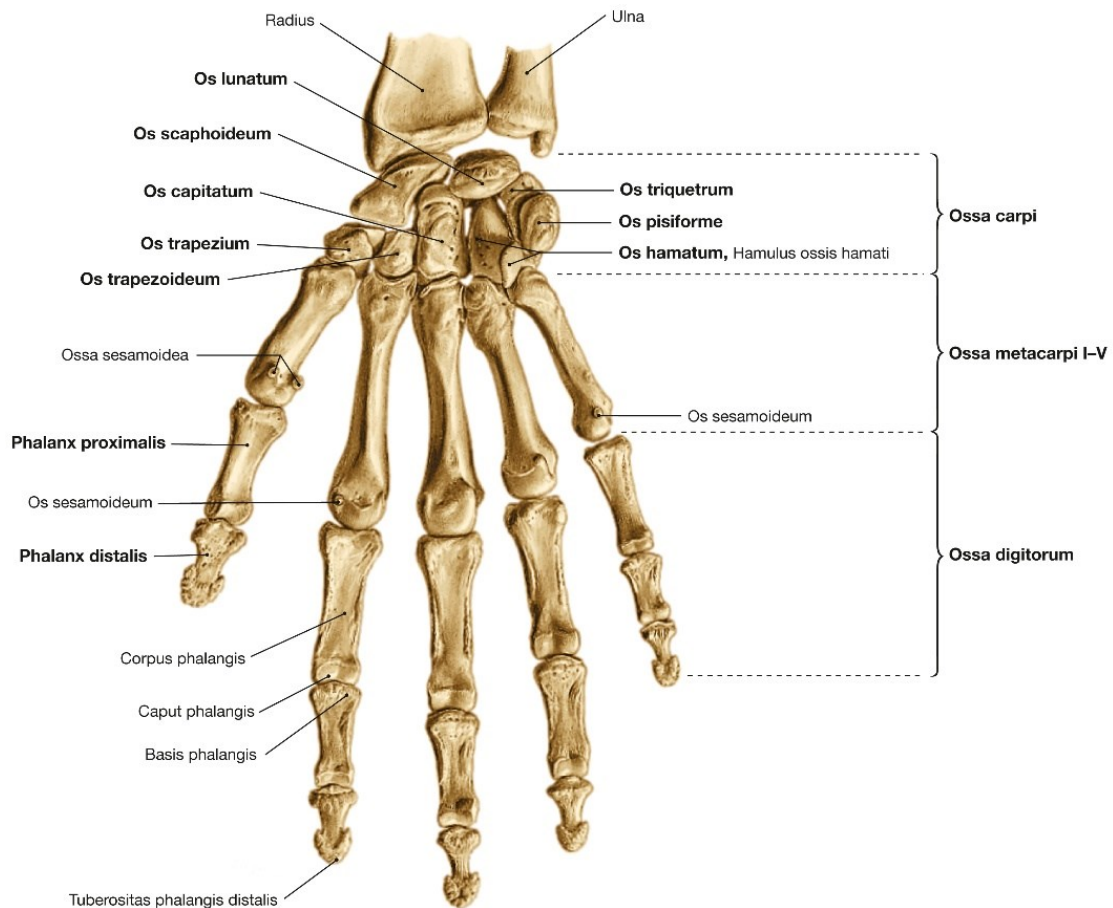


Abbildung 7: Handskelett palmar; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [3] - 3.16: Sobotta-Archiv aus Paulsen/Waschke. Sobotta Atlas der Anatomie. 25. A. 2022 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München

Beide Handwurzelreihen gemeinsam formen einen queren, nach palmar offenen Bogen, den Sulcus carpi. An der radialen Seite des Sulcus entsteht durch die Tubercula der Ossa scaphoideum und trapezium die Eminentia carpalis radialis und an der ulnaren Seite durch das Os pisiforme und den Hamulus ossis hamati die Eminentia carpalis ulnaris. Zwischen den beiden Eminentiae ist das Retinaculum musculorum flexorum aufgespannt, das durch den palmaren Schluss des Sulcus carpi, den Canalis carpi, also den Karpaltunnel bildet (Abbildung 7). Die fünf Ossa metacarpalia (Mittelhandknochen) bilden mit den zwei Ossa sesamoidea, wobei eines in der Sehne der Musculus (M.) adductor pollicis und das andere in der Sehne des M. flexor pollicis brevis zu finden sind, die Mittelhand (Metacarpus). Alle Finger (Digiti), mit Ausnahme des Daumens, setzen sich aus drei Phalangen, der Phalanx proximalis (Grundglied), der Phalanx media (Mittelglied) und der Phalanx distalis (Endglied) zusammen. Beim Daumen entfällt das Mittelglied. [4] Die unterschiedlichen Phalangen sind durch Articulationes metacarpophalangeae und

Articulationes interphalangeae miteinander verbunden. Die Articulationes metacarpophalangeae II-V sind Kugelgelenke mit einer schlaffen Gelenkscapsel, die sich zwischen dem Os metacarpale und der Phalanx proximalis befinden. Die Ausnahme bildet das Daumengrundgelenk (Articulatio metacarpophalangea I, MCP I), das ein Kondylengelenk ist und nur eine Flexion/Extension und eine sehr geringe Abduktion/Adduktion und eine Rotation durchführen kann. Das PIP, das proximale Interphalangealgelenk, verbindet die Grund- und Mittelphalanx und das DIP, das distale Interphalangealgelenk, die Mittel- und Endphalanx. Beide sind Scharniergelenke, die nur Flexion und Extension durchführen können (PIP: Flexion/Extension: 110/0/0° und DIP: Flexion/Extension 80/0/5°). Die meisten Muskeln des Unterarms haben eine Funktion im Handgelenk, einige auch an den Fingergelenken. So bewirken die Mm. extensores carpi radialis longus & brevis, M. extensor carpi ulnaris, M. extensor digitorum, der M. extensor digiti minimi, die Mm. extensores pollicis longus & brevis und der M. extensor indicis eine Extension (Abbildung 8) und die Musculi (Mm.) flexores digitorum profundus & superficialis und der M. flexor pollicis longus eine Flexion in diesen beiden Gelenken (Abbildung 9 & Abbildung 10 & Abbildung 11) [4].

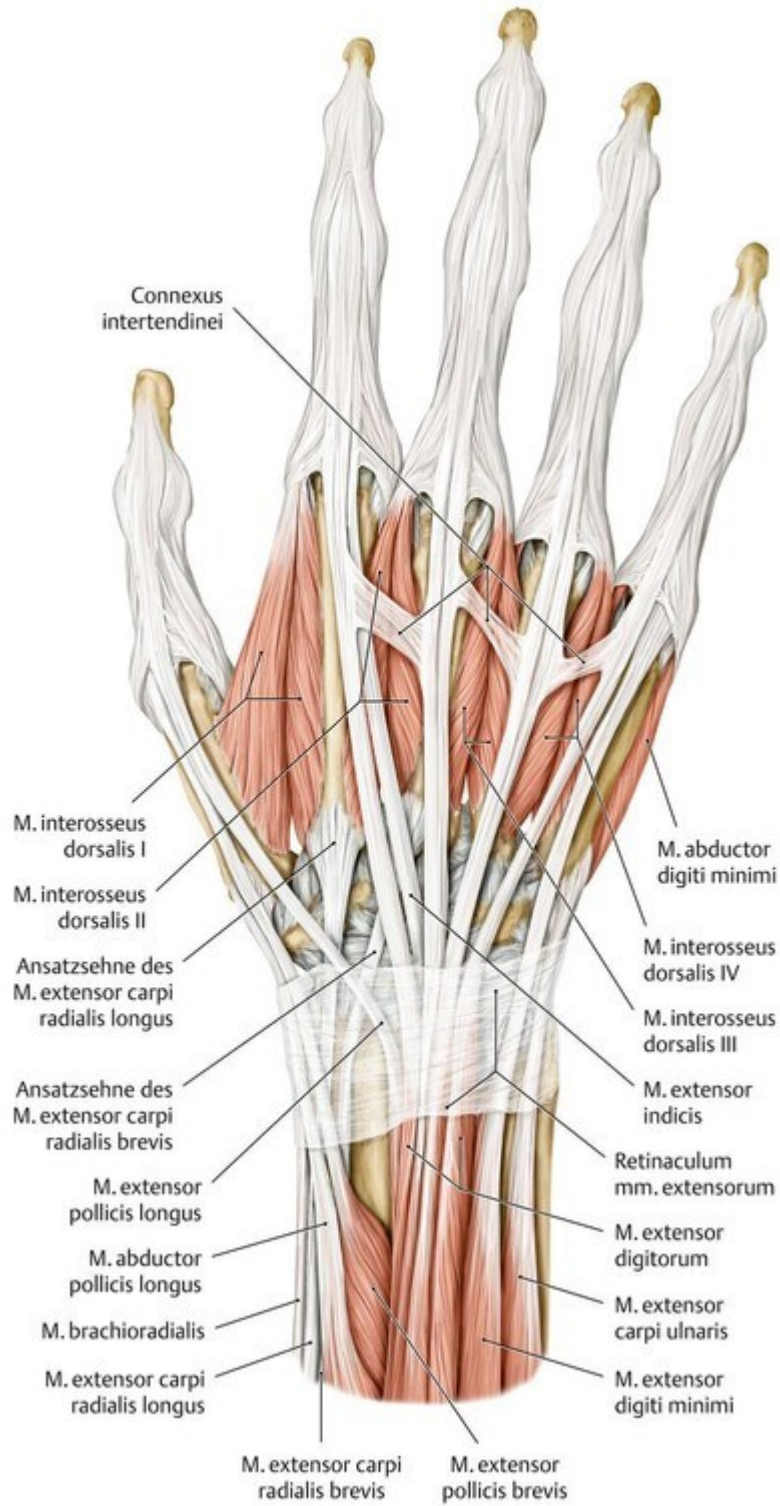


Abbildung 8: Handmuskeln des Handrückens; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]

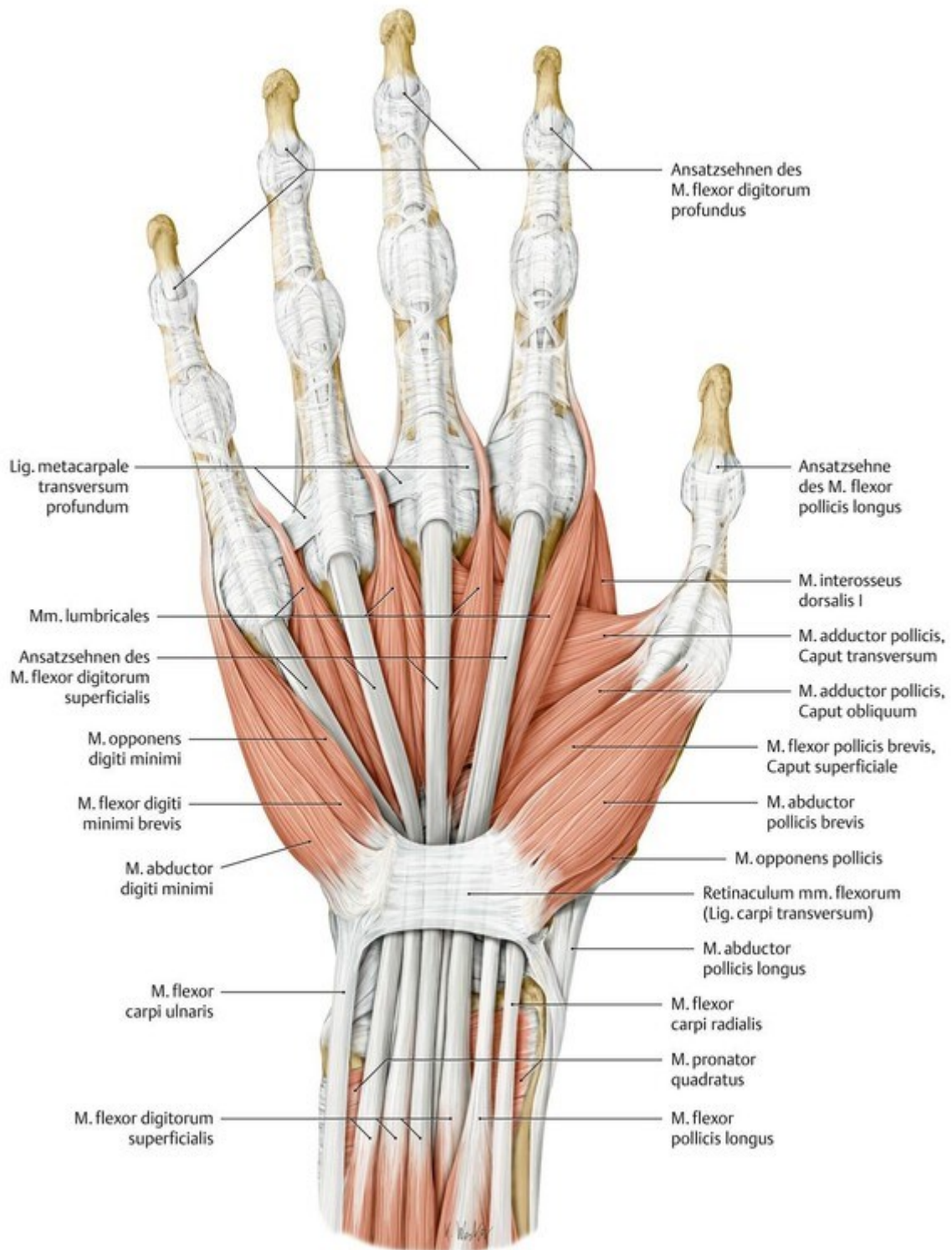


Abbildung 9: Handmuskeln; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]

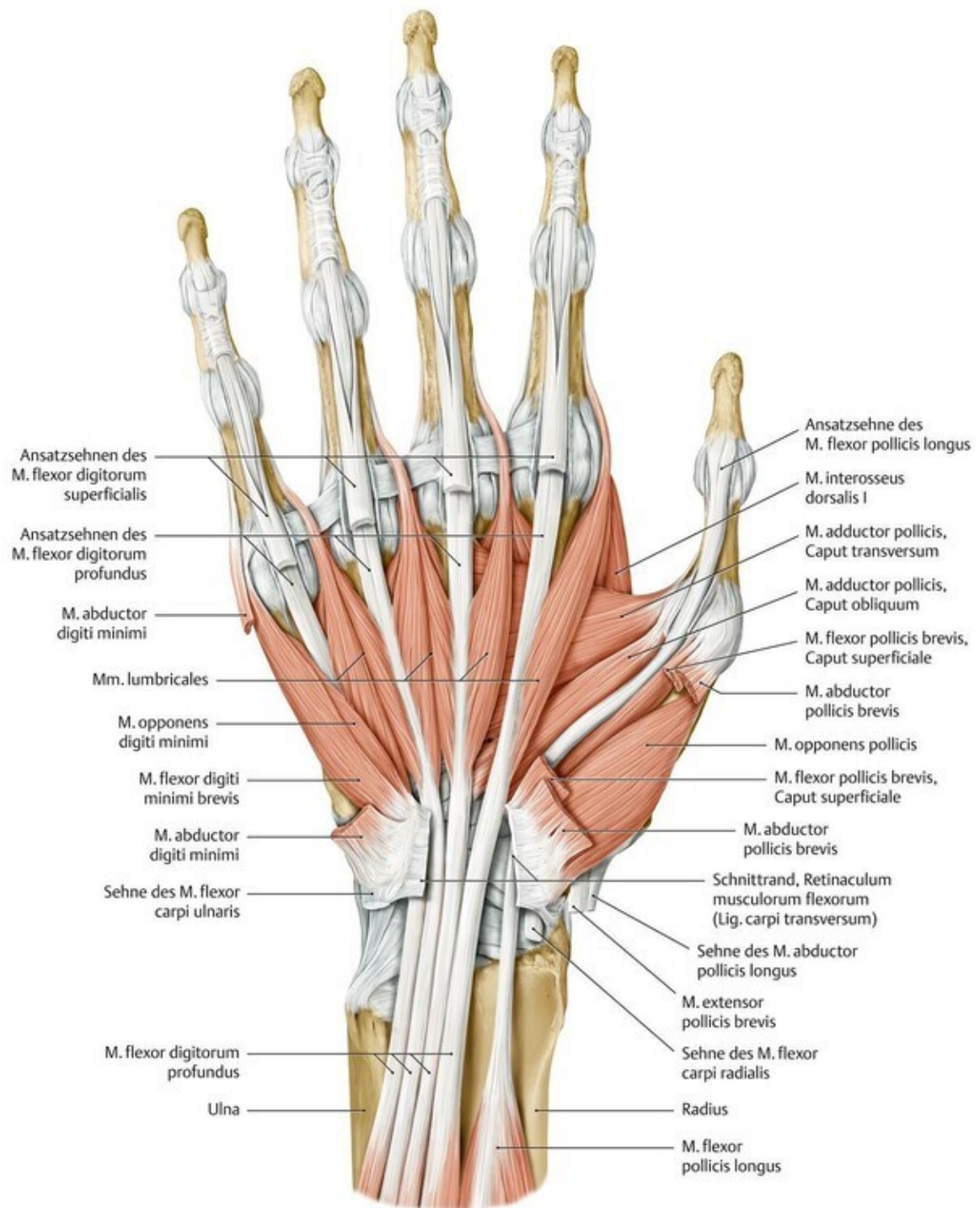


Abbildung 10: Handmuskeln & Unterarmmuskeln; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]

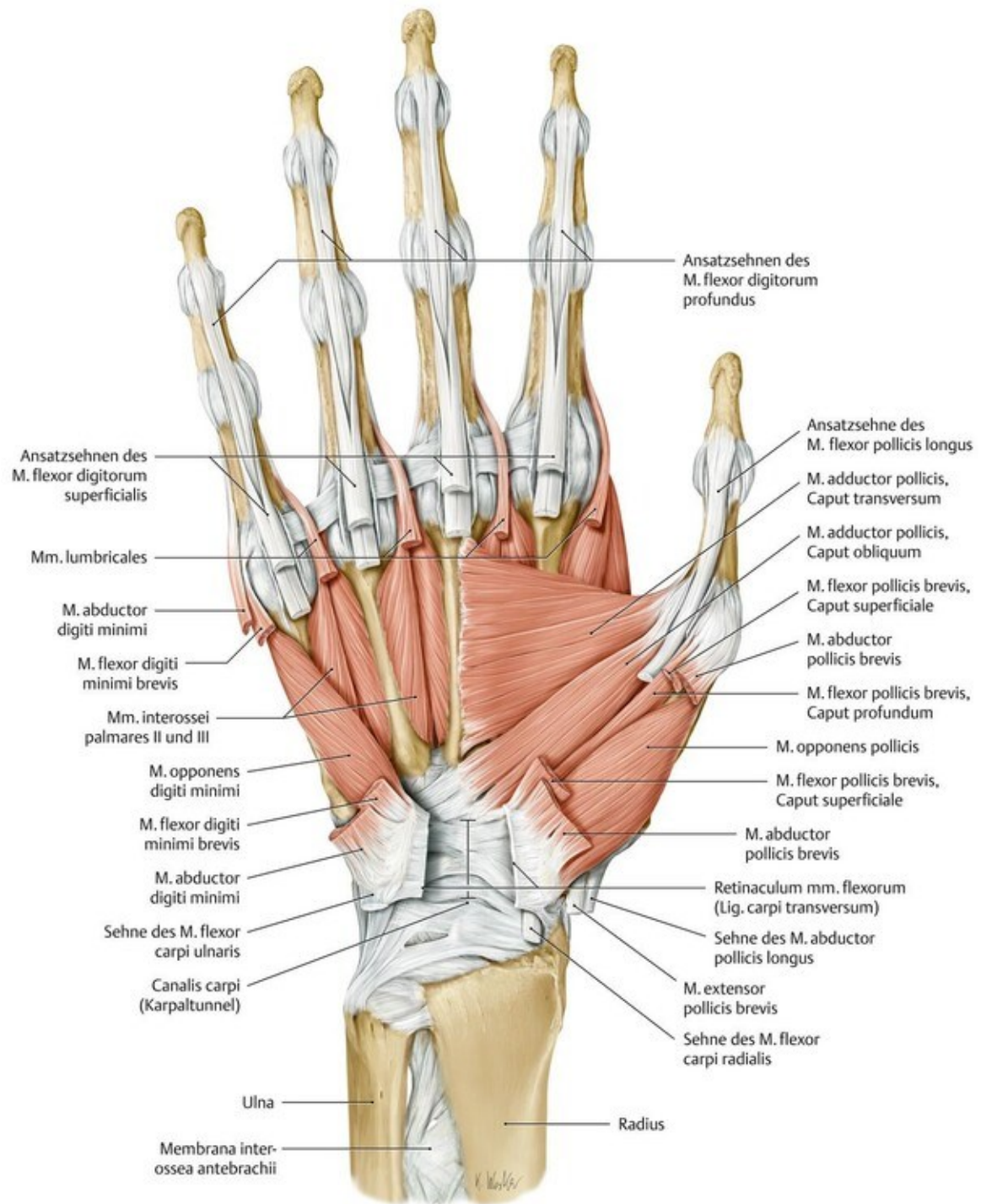


Abbildung 11: Innere Schicht der Handmuskeln; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [5]

1.2.1 Gefäß- und Nervenversorgungen

Die Hand wird durch drei große Nerven innerviert, den Nervus radialis, den Nervus ulnaris und den Nervus medianus. Alle drei stammen aus dem Plexus brachialis, der Fasern aus den Rückenmarkssegmenten C6 bis Th1 erhält, jedoch aus unterschiedlichen Faszikeln (Abbildung 12) [6, 7].

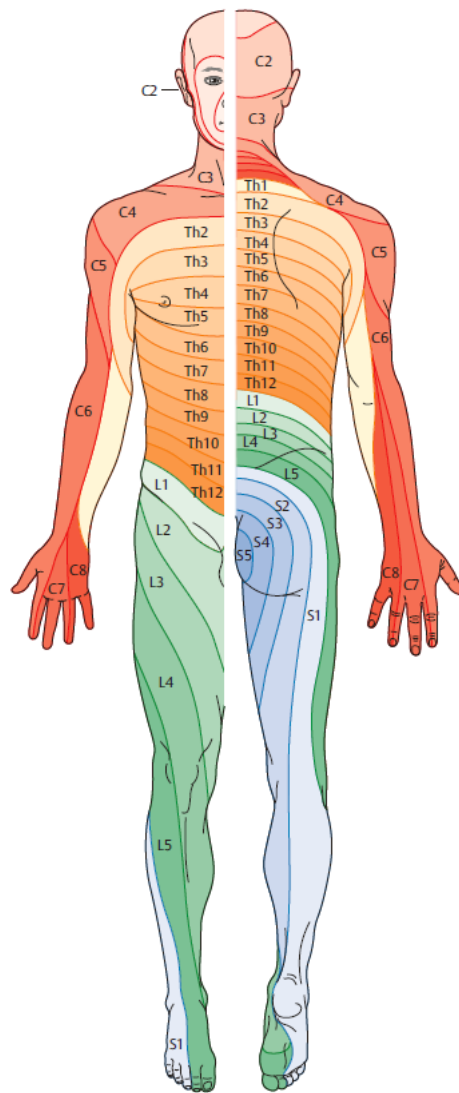


Abbildung 12: Rückenmarkssegmente - Innervation des Arms; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]

Der Nervus ulnaris beinhaltet sowohl motorische als auch sensible Fasern aus den Segmenten C8-Th1, die aus dem Fasciculus medialis durch den Sulcus ulnaris im Ellbogen, mit der Arterie (A.) und Vene (V.) ulnaris unter dem M. flexor carpi ulnaris, weiter durch die Guyon-Loge über das Retinaculum flexorum zur Hand zieht. Dort

teilt er sich in den sensiblen Ast, dem Ramus (R.) superficialis, und den motorischen R. profundus. Der R. superficialis versorgt die dorsale und ventrale Seite des gesamten 5. und des ulnaren Teils des 4. Fingers, in dem er sich in einen R. dorsalis und einen R. palmaris aufgliedert. Die einzigen Unterarmmuskeln, die durch den motorischen Ast des N. ulnaris versorgt werden, sind der M. flexor carpi ulnaris, der für die Handbeugung verantwortlich ist, und der M. flexor digitorum profundus, der den 4. und 5. Finger beugt. Weitere Muskeln, die durch kleinere Äste innerviert werden, sind: M. flexor digiti minimi brevis, M. abductor digiti minimi, M. opponens digiti minimi, die eine Flexion, Abduktion und Opposition des 5. Fingers ausführen, alle Mm. interossei dorsales und palmares, die das Fingergrundgelenk flektieren und das Fingerendgelenk strecken, die Mm. lumbricales und letztendlich den M. adductor pollicis und das Caput profundum des M. flexor pollicis brevis (Abbildung 13) [6, 7].

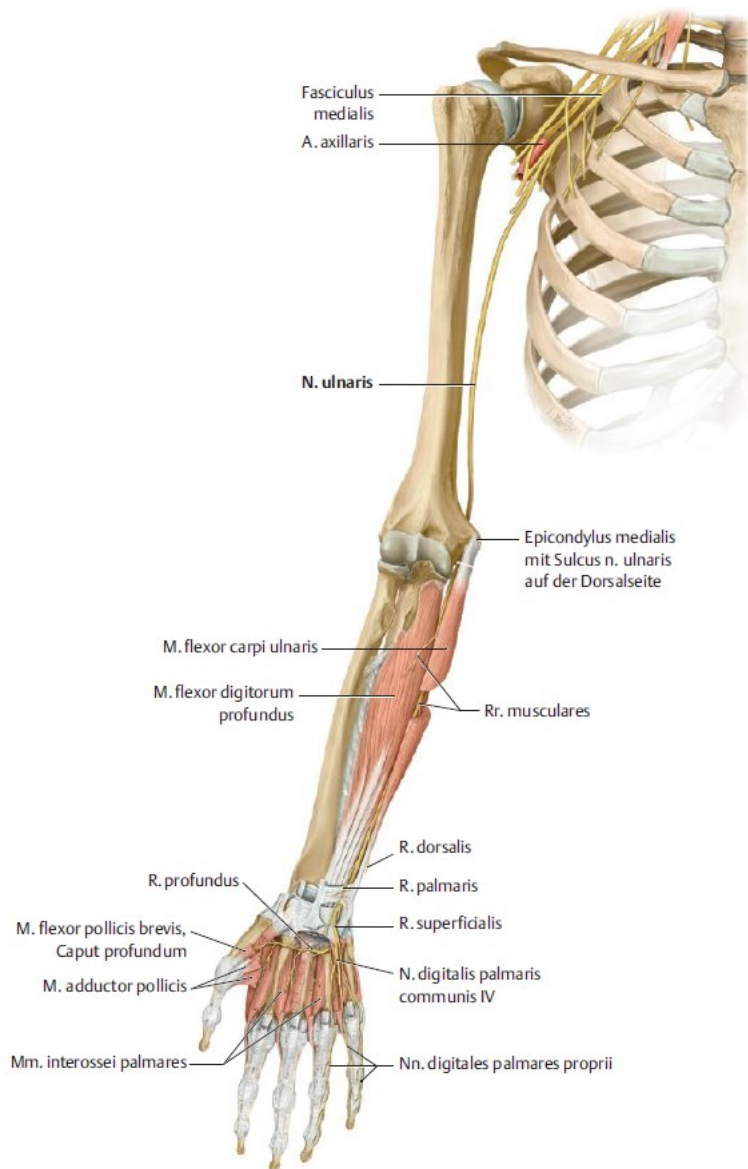


Abbildung 13: Nervus ulnaris Verlauf; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]

Der Nervus medianus bildet sich aus dem Fasciculus medialis und lateralis, dies geschieht in Form einer Schlinge vor der A. axillaris, und enthält Fasern aus den Segmenten C6-Th1. Auf seinem Weg nach distal durchbricht er den M. pronator teres, schlängelt sich zwischen M. flexor digitorum superficialis und profundus zum Handgelenk, wo er unter dem Retinaculum flexorum durch den Canalis carpi (Karpaltunnel) in die Handfläche zieht und sich aufteilt in die Nn. digitales palmares communes und die Nn. digitales palmares proprii. Motorisch versorgt der N. medianus die meisten aller Beugemuskeln und Pronatoren am Unterarm, die wiederum alle eine Flexion im Handgelenk und oftmals auch in den Fingergelenken

auslösen. Weiters innerviert dieser noch den M. opponens pollicis, den M. flexor pollicis brevis und den M. abductor brevis, sowie die Mm. lumbricales I-III. Zwei Drittel der Hohlhand, die Finger I-III, die radiale Seite des 4. Fingers und die dorsalen distalen Enden des 2., 3. und halben 4. Fingers werden durch den sensiblen Ast, den R. palmaris, innerviert (Abbildung 14) [6, 7].

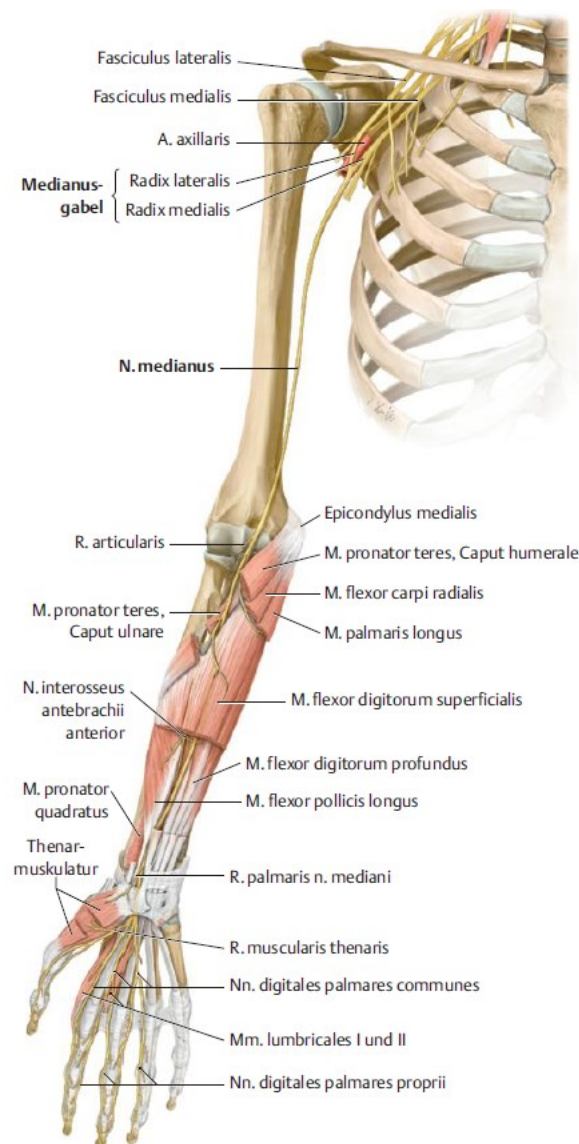


Abbildung 14: Nervus medianus; Verlauf übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]

Der Nervus radialis entspringt dem Fasciculus posterior mit den Segmenten C5-Th1 und regt alle Streckmuskeln des Armes an. Er schlingt sich spiralförmig um den Humerus, zieht durch den Sulcus radialis und spaltet sich in den R. profundus und R. superficialis auf. Der M. supinator wird vom motorischen Ast (R. profundus)

durchdrungen, versorgt und bildet seinen Endast, den N. interosseus antebrachii posterior. Die Innervation beinhaltet keine kleinen Muskeln der Hand, jedoch den M. extensor digiti communis, M. extensor digiti minimi, Mm. extensores pollicis longus & brevis, M. extensor carpi ulnaris und den M. abductor pollicis longus. Der R. superficialis, der sensible Ast, zieht am medialen Rand des M. brachioradialis zum Handrücken und innerviert dort die Haut [7] (Abbildung 15).

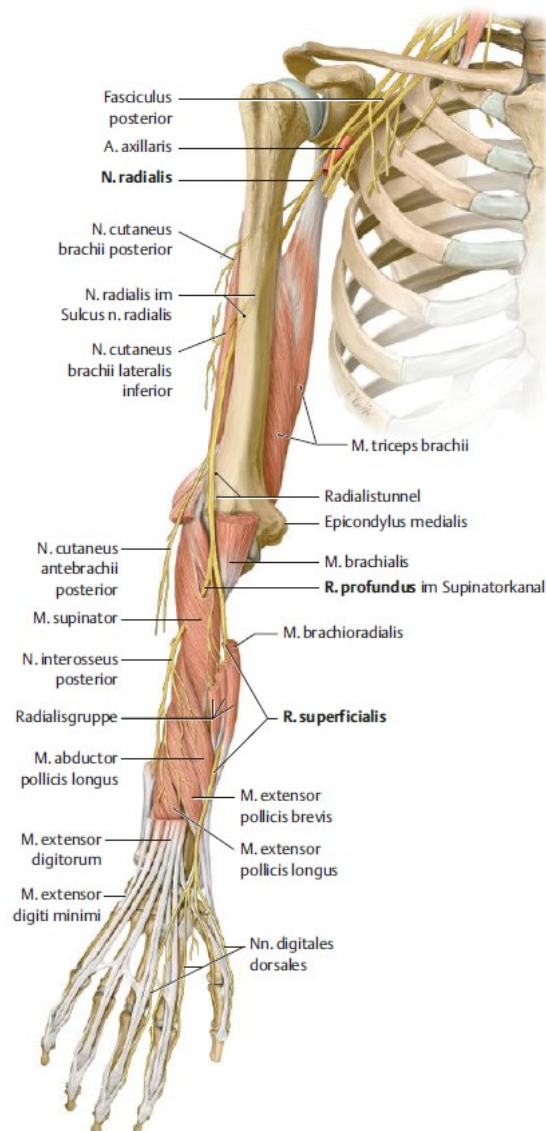


Abbildung 15: N. radialis Verlauf; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]

Die arterielle Gefäßversorgung der Hand geht von der A. subclavia aus, die sich als A. axillaris fortsetzt und in weiterer Folge zur A. brachialis wird. Diese teilt sich in die A. radialis und ihre zwei Endäste, die A. ulnaris und A. interossea communis.

Die A. radialis verläuft parallel des Radius und gelangt auf Höhe der Tabatière zum Handrücken und schlängelt sich zwischen den Mittelhandknochen I und II zurück in die Hohlhand. Gemeinsam mit dem tiefen Ast der A. ulnaris entsteht der tiefe Hohlhandbogen, Arcus palmaris profundus. Von diesem Hohlhandbogen ziehen je zwei der Arteriae (Aa.) digitales palmares propriae zu den Fingern und versorgen diese. Über das Rete venosum dorsale manus und den Arcus venosus palmaris superficialis wird das venöse Blut gesammelt, über die V. basilica antebrachii und V. cephalica antebrachii abtransportiert und mündet im letzten Schritt in der V. subclavia [2].

1.3 Verletzungen der Handnerven

1.3.1 N. radialis Verletzungen

Abhängig von der Höhe der Verletzung treten unterschiedliche Symptome auf: Wird der N. radialis in der Axilla durchtrennt, ist die Sensibilität im gesamten Versorgungsgebiet betroffen, sowie die Motorik ab dem M. trizeps brachii, der keine Streckung im Ellbogen mehr ausführen und sein Eigenreflex nicht mehr ausgelöst werden kann (Abbildung 16). Befindet sich die Verletzung im Bereich des Oberarms, entsteht durch die fehlende Innervation der Extensoren im Unterarm eine Fallhand (Abbildung 17). Dabei kann die Streckung der Hand nicht durchgeführt werden und Sensibilitätsstörungen in den versorgten Hautarealen sind zu erwarten. Die Streckung im Ellbogengelenk ist durch die vorher abgehenden M. triceps-Äste nicht betroffen. Eine Schädigung des R. profundus am proximalen Unterarm, auf Höhe des M. supinator Durchtritts, wirkt sich nur auf die Motorik der Fingerstrecker aus. Befindet sich die Verletzung jedoch auf Höhe des Handgelenks, wo vor allem der R. superficialis geschädigt wird, ist eine Sensibilitätsstörung im Bereich des radialen Handrückens zu erwarten [6].

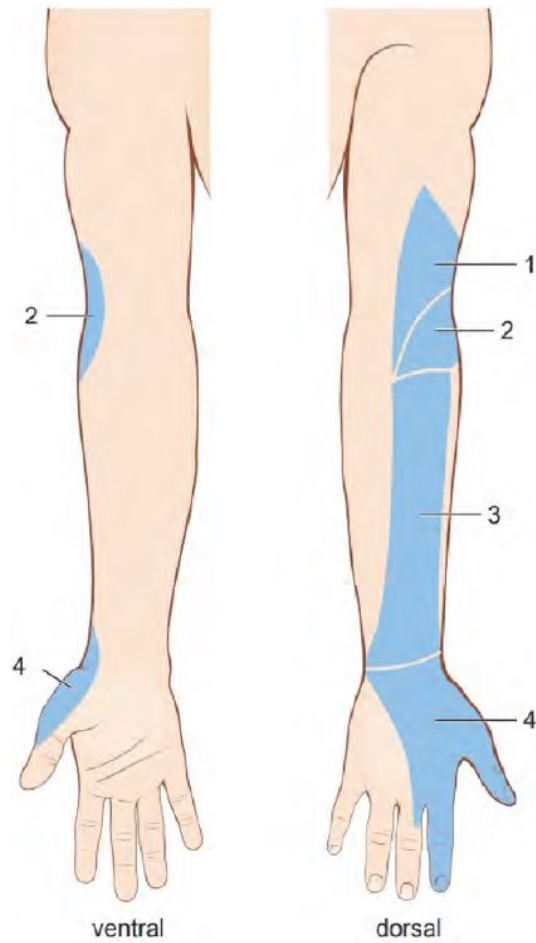


Abbildung 16: Innervationsgebiet des Nervus radialis; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [7]:
sensibles Innervationsgebiet – 1: N. cutaneus brachii posterior, 2: N. cutaneus brachii lateralis inferior, 3: N.
cutaneus antebrachii posterior, 4: terminale Hautäste des R. superficialis des N. radialis

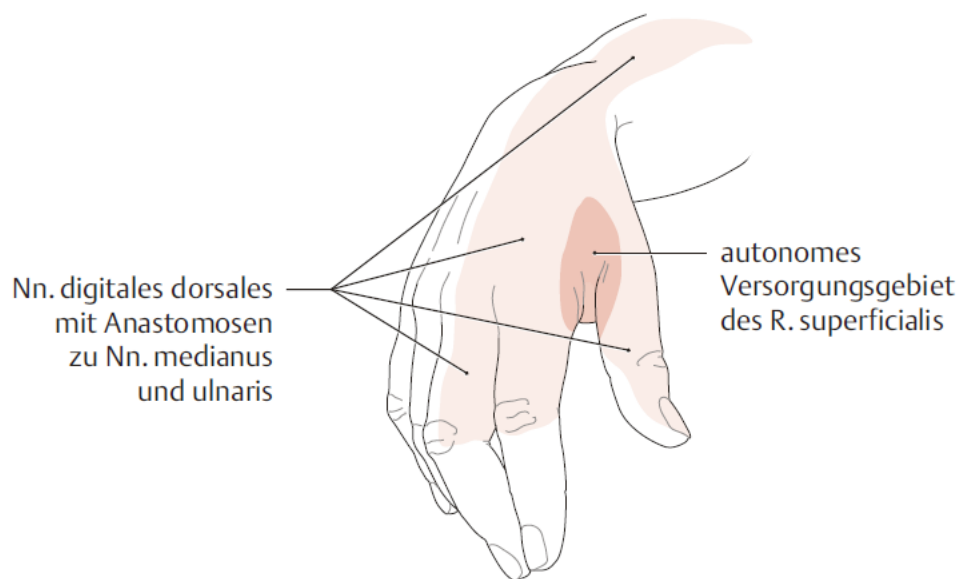


Abbildung 17: Fallhand; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]

1.3.2 N. medianus Verletzungen

Der N. medianus kann auch an verschiedenen Stellen des Armes durchtrennt werden, was wiederum unterschiedliche Auswirkungen auf die Ausprägungen der körperlichen Beeinträchtigung hat [6]. Findet sich die Läsion auf Höhe des Oberarms oder Ellbogens, führt dies aufgrund der Fehlinnervation der Daumenballenmuskulatur, des M. flexor pollicis longus, des M. flexor digitorum superficialis und des N. medianus-Anteils des M. flexor digitorum profundus zu einer Schwurhand, das heißt der Patient ist nicht mehr fähig einen Faustschluss zu machen, ausgenommen mit dem 4. und 5. Finger, die durch den N. ulnaris teilinnervierten M. flexor digitorum profundus versorgt werden [7]. Auch die Sensibilität entlang des Versorgungsgebietes distal der Verletzung wird dadurch beeinflusst (Abbildung 18). Findet man die Ursache der Verletzung des N. medianus im einengenden Karpaltunnel, auch genannt das Karpaltunnelsyndrom, ist das Hauptsymptom Kribbelparästhesien der 3 ½ radialen Finger. Es führt in weiterer Folge zur Atrophie der kurzen Thenarmuskulatur, was eine nur schwach durchführbare Opposition und Abduktion des Daumens mit sich bringt. Dadurch ist oft das Halten bzw. Umfassen von runden Gegenständen, zum Beispiel Flaschen, nicht möglich, weshalb gelegentlich solche Gegenstände aus der Hand rutschen und hinunterfallen. Das Aufliegen der Haut zwischen Daumen und Zeigefinger auf der Flasche fehlt hierbei, dies nennt man auch Flaschenzeichen [6] (Abbildung 19).

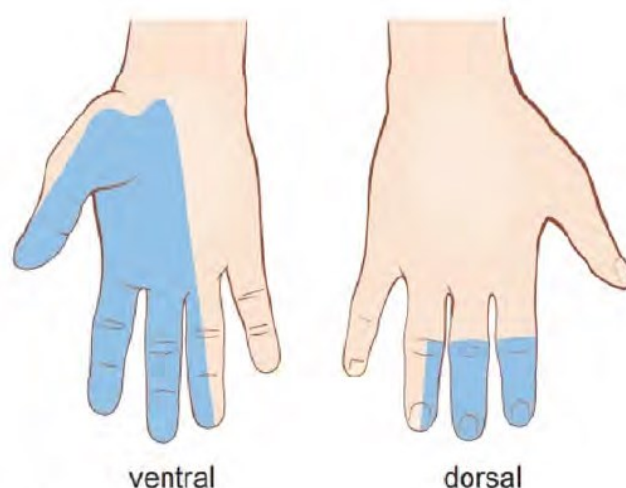


Abbildung 18: Innervationsgebiet des Nervus medianus; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [7]

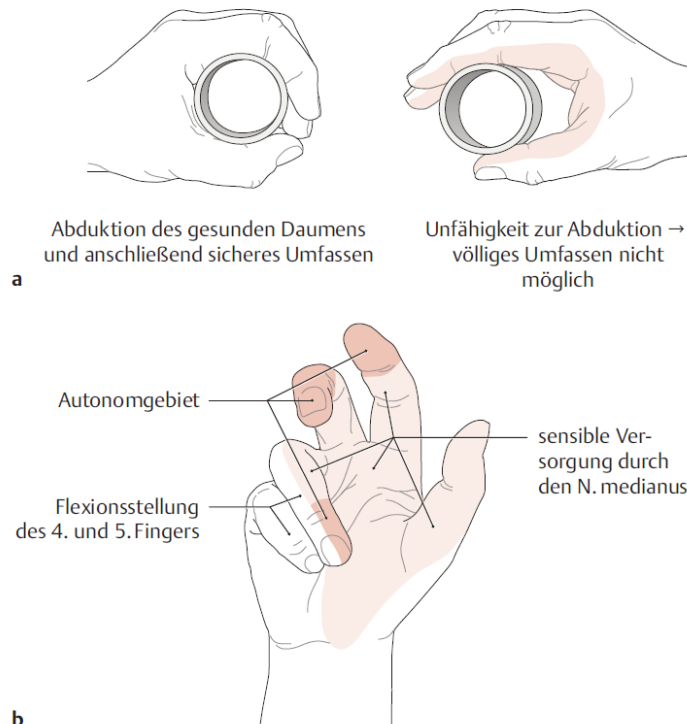


Abbildung 19: Schwurhand; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]

1.3.3 N. ulnaris Verletzungen

Die bedeutendste Folge einer Verletzung des N. ulnaris ist die Krallenhand. Dabei fehlt die motorische Innervation der Mm. lumbricales und Mm. interossei, sodass keine Beugung in den Metakarpophalangealgelenken (MCP-Gelenk) durchgeführt werden kann und somit in den 2. bis 5. Fingern eine Überstreckung und in der Mittelhand eine Atrophie erkennbar ist. Im DIP- und PIP-Gelenk geht durch die Fehlinnervation die Streckung der Mittel- und Endglieder verloren und die Beugung überwiegt. Der 4. und 5. Finger sind bei dieser Fehlposition der Gelenke stärker betroffen als Zeige- und Mittelfinger, da bei diesen beiden der N. medianus die Muskeln mitinnerviert und somit die Nichtinnervation versucht zu kompensieren [6]. Auch das Spreizen der Finger, sowie die Opposition des 5. Fingers und die Adduktion des Daumens sind nicht mehr durchführbar. Dies kann man prüfen, in dem man den Kleinfinger den Daumen berühren lässt – dies ist bei einem Ausfall nicht möglich (Kleinfinger-Daumen-Probe) [7] - oder man ein Blatt Papier zwischen Daumen und 2. Finger greift. Bei Funktionsausfall kann das Blatt nur mehr in Beugung des Daumenendgelenks gehalten werden [6] (Abbildung 20). Genauso

stellt eine Kleinfingerballenatrophie ein Merkmal für die Ulnarisverletzung dar. Ist die N. ulnaris Läsion im Bereich des Handgelenks zu finden, fehlt nur die Sensibilität auf der ulnaren Seite des 4. Fingers und am gesamten 5. Finger [7].

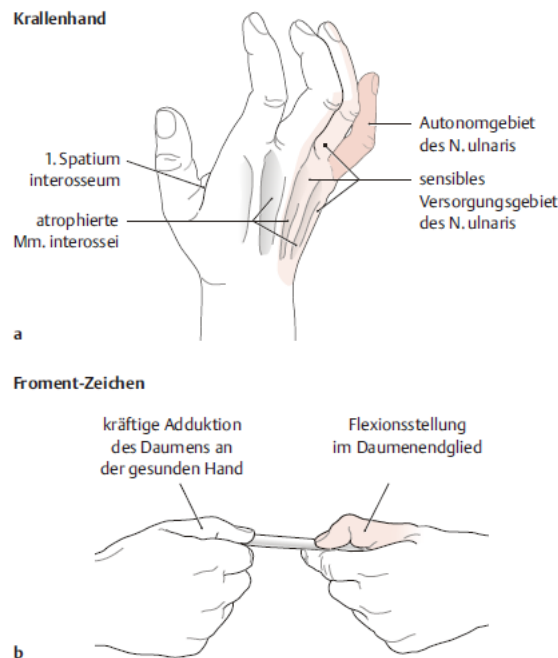


Abbildung 20: Krallenhand; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [6]

1.3.4 Nn. digitales Verletzungen

Nn. digitales können auf unterschiedlichen Höhen am Finger durchtrennt werden. Hierbei kommt es abhängig von der genauen Lokalisation distal zu einem Sensibilitätsverlust. Trockene Areale im Innervationsgebiet geben einen Hinweis auf gestörte oder fehlende Nerveninnervation der Schweißdrüsen [8].

2 Material und Methoden

2.1 Retrospektive Studie

2.1.1 Patient*innengut

Es wurden alle Kinder und Jugendliche im Alter von 0 bis 18 Jahren, die sich im Zeitraum von 01.01.2010 bis 31.12.2022 eine Nervenverletzung an der Hand zugezogen haben und am Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie der Medizinischen Universität Graz operativ behandelt wurden, in die Studie eingeschlossen.

Ausschlusskriterien der Studie waren die Weiterbehandlung in einem anderen Krankenhaus oder anderem Land, Nervendurchtrennungen proximal des Handgelenkes, unvollständige Daten oder präoperativ verdächtige Nervenverletzungen, die sich intraoperativ nicht bestätigten.

2.1.2 Ethikvotum

Für diesen retrospektiven Teil und den im Anschluss beschriebenen prospektiven Teil der Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz vor (EK Nummer 35-029 ex 22/23). Im Rahmen der Nachuntersuchung erfolgte ein informed written consent der Patient*innen und/oder Erziehungsberechtigten.

2.1.3 Auswertung der Daten

Das Ziel der Studie war es, das sensorische und motorische Outcome von Nervenverletzungen der kindlichen Hand zu erfassen. Für den retrospektiven Teil der Studie wurden folgende Daten aus den Krankengeschichten der Patient*innen erhoben:

- Geschlecht
- Alter des/der Patient*in
- Unfallzeitpunkt
- Unfallursache
- betroffene Seite der Hand

- betroffener Nerv
- betroffener Finger
- Höhe der Verletzung
- Voll- oder Teildurchtrennung
- Verzögerung zur OP in Tagen
- zusätzliche Verletzungen zur Nervenverletzung
- Behandlung
- Dauer des stationären Krankenhausaufenthalts in Tagen
- Ruhigstellung (nur Gips und Schiene)
- Anzahl der ambulanten Wiedervorstellungen
- stationäre Folgeaufenthalte
- Dauer der Folgeaufenthalte in Tagen
- postoperative Komplikationen

Die Unfallursachen wurden wie folgt gruppiert:

- Werkzeug/Heimwerken
- Küchengerät
- Küchenmesser/Schere
- Glas/Scherben
- Plastik
- Verkehrsunfall
- Freizeit/Sportgeräte
- Zaun
- Quetschung
- Stichverletzung
- Stanleymesser

2.2 Nachuntersuchung

2.2.1 Patient*innengut der Nachuntersuchung

Alle für die retrospektive Studie ausgewählten Patient*innen wurden schriftlich per Brief zu einer Nachuntersuchung im Sommer bzw. Herbst 2023 und Frühling 2024 eingeladen. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt.

2.2.2 Selbstbeurteilung des/der Patient*in

Zu aller Erst wurden folgende Fragen an die Patient*innen gestellt:

- „Gibt es Probleme zu Hause?“
- „Was ist deine Händigkeit?“
- „Gibt es eine Kälteempfindlichkeit?“
- „Bestehen derzeit Schmerzen?“
- „Ist die Sensibilität deiner Meinung nach normal?“
- „Ist der Finger trocken?“
- „Zufriedenheit mit dem Ergebnis der Operation (0-100)?“
- „Wie lange dauerte es, bis sich alles wieder normalisierte?“.

2.2.3 Vancouver Scar Scale

Im Anschluss wurde eine Narbenbeurteilung nach der Vancouver Scar Scale durchgeführt [9]. Diese Skala beinhaltet vier verschiedene Charakteristika, wie die Vaskularisierung, die Pigmentierung, die Geschmeidigkeit und die Höhe der Narbe in mm. Für jede Kategorie werden Punkte von 0 bis 5 vergeben, welche am Ende summiert werden. Die Punktehöchstzahl beträgt 13 Punkte. Je niedriger die Gesamtpunkteanzahl ist, desto besser war die Wundheilung. Die Berechnung des Scores ist in Tabelle 1 dargestellt [9].

Narbencharakteristiken		Punkte
Vaskularisierung	normal	0
	pink	1
	rot	2
	lila	3
Pigmentierung	normal	0
	hypopigmentiert	1
	hyperpigmentiert	2
Geschmeidigkeit	normal	0
	geschmeidig	1
	nachgiebig	2
	fest	3
	bandartig	4
	kontrahiert	5
Höhe in mm	flach	0
	<2	1
	2-5	2
	>5	3
	Total	13

Tabelle 1: Vancouver Scar Scale; modifiziert übernommen aus [9]

2.2.4 Beurteilung der Sensibilität

2.2.4.1 Zwei-Punkt Diskrimination

Die Zwei-Punkt Diskrimination ist ein wichtiges Tool, um die Oberflächensensibilität zu ermitteln. Hierbei werden zwei taktile Reize gleichzeitig auf die Haut aufgesetzt und der geringste Abstand gemessen, an denen die Patient*innen noch zwei getrennte Reize wahrnehmen. Diese Methode wird vor allem bei Nervenverletzungen angewandt, um die Sensibilität und den Verlauf prä- und postoperativ zu vergleichen. Es gibt zwei verschiedene Messmethoden, einerseits die statische Messung, andererseits die dynamische Messung, um diesen Test durchzuführen. Dabei nutzte die Untersucherin eine Diskriminationsscheibe (Abbildung 21). Diese enthält Abstände von 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7

mm und 8 mm. Je nachdem, an welcher Körperstelle man die Sensibilität überprüft, gibt es unterschiedliche Normwerte. Zum Beispiel ist der Abstand zweier Messspitzen, die getrennt wahrgenommen werden, an der Fingerbeere zwischen 0-5 mm normal, zwischen 6-10 mm mittelmäßig, 11-15 mm stark beeinträchtigt. Ist nur ein Punkt wahrnehmbar, ist eine Schutzsensibilität vorhanden, wird kein Punkt wahrgenommen, ist es als Anästhesie zu interpretieren (Tabelle 2) [10].

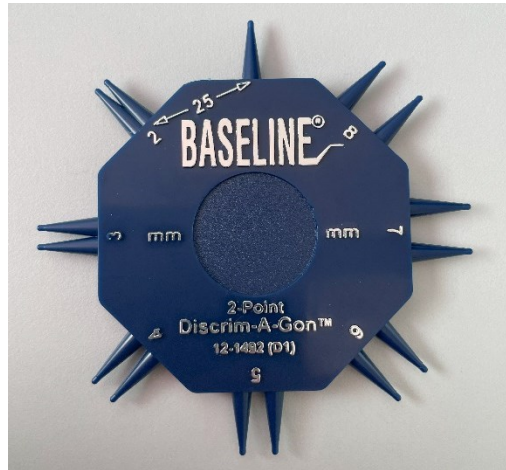


Abbildung 21: Diskriminationsscheibe

An der Handfläche ist der Abstand von 8-12 mm als normal anzusehen, an den Lippen von 2-4 mm und am Rücken von 30-40 mm [11].

Abstand zweier Messspitzen, die an der Fingerbeere als getrennte taktile Stimuli erkannt werden	Interpretation der Ergebnisse
0-5 mm	normal
6-10 mm	mittelmäßig
11-15 mm	stark beeinträchtigt
nur ein Punkt wahrnehmbar	Schutzsensibilität
kein Punkt wahrgenommen	Anästhesie

Tabelle 2: Interpretation der Zwei-Punkt Diskrimination basierend auf der Richtlinie der American Society for Surgery of the Hand; modifiziert nach [10]

2.2.4.1.1 Statische Messung

Bei der statischen Messung der Zwei-Punkt Diskrimination legte der/die Patient*in den Unterarm auf den Tisch und schloss beide Augen. Die Diskriminationsscheibe wurde auf 5 mm eingestellt, im 90° Winkel mit leichtem Druck aufgesetzt und 3 Sekunden dort belassen. Der/die Patient*in wurde gefragt, ob er/sie einen oder zwei Punkte verspürt hat. Dieser Ablauf wurde mehrmals wiederholt bis 4 von 7 Messungen richtig empfunden wurden. War dies nicht der Fall, wurde der Abstand vergrößert. Es wurde immer die gesunde Seite im Vergleich mitgetestet, da jeder Mensch unterschiedlich starke Reize wahrnehmen kann. Der kleinste wahrnehmbare Abstand wurde schlussendlich notiert [10, 11].

2.2.4.1.2 Dynamische Messung

Die dynamische Messung der Zwei-Punkt Diskrimination unterscheidet sich von der statischen durch das Einstellen der Diskriminationsscheibe auf 8 mm und das langsame Bewegen beider Messspitzen vom proximalen palmaren Finger bzw. Fingerendgelenk in Richtung Fingerspitze. Wurden zwei Spitzen erkannt, wurde der Abstand um 1 mm verkleinert bis nur mehr eine Spitze erkannt wurde oder spätestens bei 2 mm, was einem Normalbefund entsprechen würde. Bekam man keine oder nur eine ungenaue Antwort, vergrößerte man den Abstand um 1 mm bis 7 von 10 Antworten korrekt waren oder man bei 15 mm angelangt war. Hier würde der Test sonst auch enden. Der Test wurde auf der gesunden Seite genauso durchgeführt. Anschließend notiert man, wann nur mehr eine Spitze erkannt wurde [10, 11].

2.2.4.2 Semmes Weinstein Monofilament Test

Der Semmes Weinstein Monofilament Test wird eingesetzt, um festzustellen, ob Patient*innen einen sensiblen Reiz in Form eines Druckes wahrnehmen können. Der Test besteht aus mehreren Monofilamenten; das sind Stäbchen mit Nylonfäden, die sich in Farbe und Dicke unterscheiden.

Das rote (oft auch rot gestreifte) Stäbchen hat einen Durchmesser von 6,65 mm und eine Kraft von 300g, das andere rote Stäbchen einen Durchmesser von 4,56 mm und eine Kraft von 4g, das violette Stäbchen 4,31 mm und 2g, das blaue 3,61 mm und 0,4g und das grüne 2,83 und 0,07g (Abbildung 22). Der/die Patient*in legte den

Unterarm auf den Tisch, sollte die Augen schließen und seine/ihre Haut wurde mit einer Nylon Faser berührt. Sobald der/die Patient*in einen Druck verspürte, sollte er/sie mit „JA“ antworten. Es wurde mit dem dicksten Filament (rot-gestreift) begonnen und in weiterer Folge zum nächstdünnere gewechselt. Spürte der/die Patient*in das Filament bei zwei aufeinanderfolgenden Versuchen nicht, zählte immer das vorherige Filament. Dieser Test wurde im Innervationsgebiet des Nervs dreimal durchgeführt, die Nylonfaser wurde in einem 90° Winkel für 1,5 s aufgesetzt [12]. Die Interpretation des Tests ist in Tabelle 3 dargestellt.

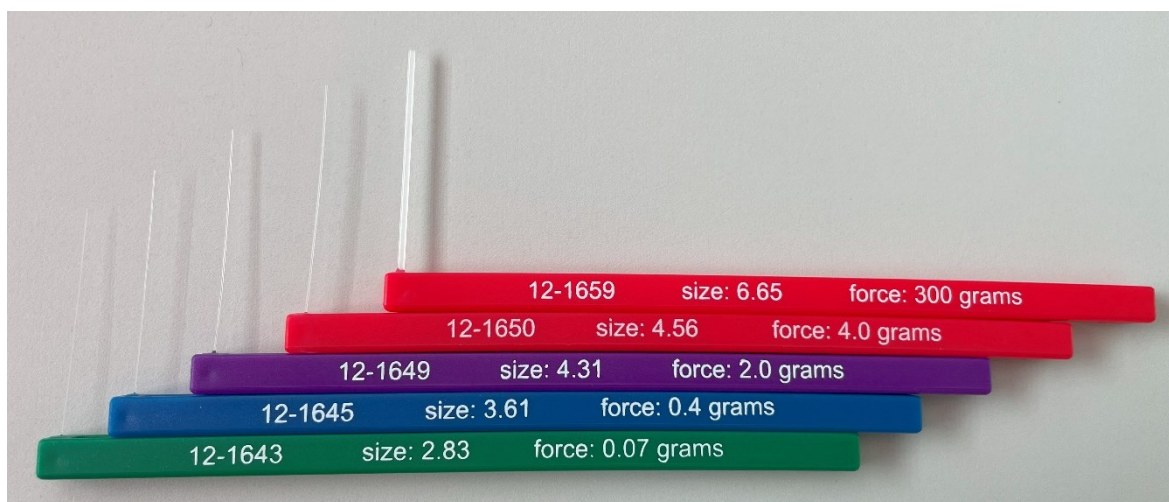


Abbildung 22: Semmes-Weinstein Monofilamente

Farbe	Durchmesser in mm	Kraft in g	Qualität der Empfindung	Testwiederholungen
grün	2,83	0,07	normales Berührungsempfinden	3
blau	3,61	0,4	herabgesetzte Empfindlichkeit	3
violett	4,31	2,0	herabgesetzte Schutzsensibilität	3
rot	4,56	4,0	Verlust der Schutzsensibilität	1
rot-gestreift	6,65	300	nicht zu testende Sensibilität	1

Tabelle 3: Interpretation des Semmes-Weinstein Monofilament Tests; modifiziert nach [12]

2.2.4.3 Hoffmann-Tinel-Zeichen

Unter dem Hoffmann-Tinel-Zeichen versteht man ein Elektrisieren, wenn man einen geschädigten Nerv beklopft. Hierbei beklopfte die Untersucherin das betroffene Areal immer von proximal nach distal mit seinem gestreckten Mittelfinger. Kurz nach dem Trauma sind Parästhesien und ein Elektrisierungsphänomen nur an der Verletzungsstelle zu finden. Schreitet die Heilung fort, wandert dieses Phänomen immer weiter nach distal, da die Axone weiter aussprossen. Dort wo am distalen Ende noch Parästhesien auszulösen sind, sind rasch auswachsende Axone hingewachsen, wenn jedoch Parästhesien beim proximalen Punkt vorkommen, deutet dies auf das Vorhandensein von langsam aussprossenden Axonen hin. Die Empfindlichkeit auf mechanische Reize ist bei aussprossenden, noch ungenügend markhaltigen Axonen gesteigert. Besteht das Hoffmann-Tinel-Zeichen mehr als ein bis zwei Jahre, ist das ein Anzeichen für eine schlechte Erholungsfähigkeit des Nervs bzw. eine fehlende Regeneration, wenn sich die Parästhesien nicht nach distal ausbreiten [13].

2.2.4.4 Sensorisches Outcome

Anhand des oben angeführten Sensibilitätstests wurde die sensible Funktion des Nervs eingeschätzt und eingeteilt in S0 bis S4 [14], wie in Tabelle 4 ersichtlich.

Sensorische Funktion (autonome Areale)	
S0	Fehlen der Sensibilität in dem autonomen Bereich
S1	Wiederherstellung der tiefen kutanen Schmerzempfindlichkeit im autonomen Bereich des Nervs
S2	Wiedererlangung eines gewissen Grades an oberflächlicher kutaner Schmerzempfindlichkeit und Tastsensibilität
S3	weitere Wiederherstellung des oberflächlichen kutanen Schmerzes und der taktilen Sensibilität, ohne Dysästhesien
S3+	wie Stufe 3, zusätzlich eine gewisse Zwei-Punkt Unterscheidung
S4	vollständige Wiederherstellung

Tabelle 4: Klassifikation der Nervenfunktionsheilung; modifiziert nach [14]

2.2.5 Beurteilung der Motorik

2.2.5.1 Beschreibung der Motorik – Beweglichkeit in Grad

Zur Abschätzung der motorischen Einschränkung wurde mithilfe eines Goniometers (Winkelmessers) die Beweglichkeit der Fingergelenke gemessen und in der Einheit Grad angegeben. Hierbei wurde sowohl der Grad der Beugung als auch der Streckung des Metacarpophalangealgelenks, abgekürzt MCP-Gelenk, des proximalen Interphalangealgelenks, abgekürzt PIP-Gelenk, und des distalen Interphalangealgelenks, abgekürzt DIP-Gelenk, des betroffenen Fingers mit dem gesunden Finger der Gegenseite verglichen. Dafür wurde die Neutral-Null-Methode verwendet. Dies ist eine vereinheitlichte Methode zur Bestimmung der Gelenkbeweglichkeit mit definierter Ausgangsstellung, um diese Untersuchung zu standardisieren [15]. Geht man von der Nullstellung der Gelenke aus, ermittelt man diese, mit Ausnahme der Finger-, Hand-, und Ellbogengelenke, im Stehen mit

herabhängenden Armen, nach vorne zeigenden Daumen, im hüftbreiten Stand und parallel stehenden Füßen. Nur die Ellbogen-, Hand- und Fingergelenksstellung ermittelt man am einfachsten und besten im Sitzen. Das Goniometer setzt sich aus zwei Schenkeln zusammen, die durch eine Messscheibe verbunden wird (Abbildung 23). Dieses wird mit dem Drehpunkt mittig am Gelenk und bei den Fingergelenken zusätzlich immer dorsalseitig platziert, wobei die Schenkel des Goniometers in Längsachse zum Gelenk bzw. zur Extremität angelegt werden müssen [16]. Normwerte der Gelenkbeweglichkeit können in der unten angeführten Tabelle 5 nachgelesen werden [17].

	DIP	PIP	MCP	Handgelenk
Flexion/Extension	80/0/5°	110/0/0°	90/0/45°	80/0/60° ¹
Adduktion/Abduktion	-	-	10/0/20°	20/0/40° ²

¹ Palmarflexion/Dorsalextension, ² Radialabduktion/Ulnarabduktion

Tabelle 5: Bewegungsgrade der Hand nach der Neutral-Null Methode; modifiziert nach [17]

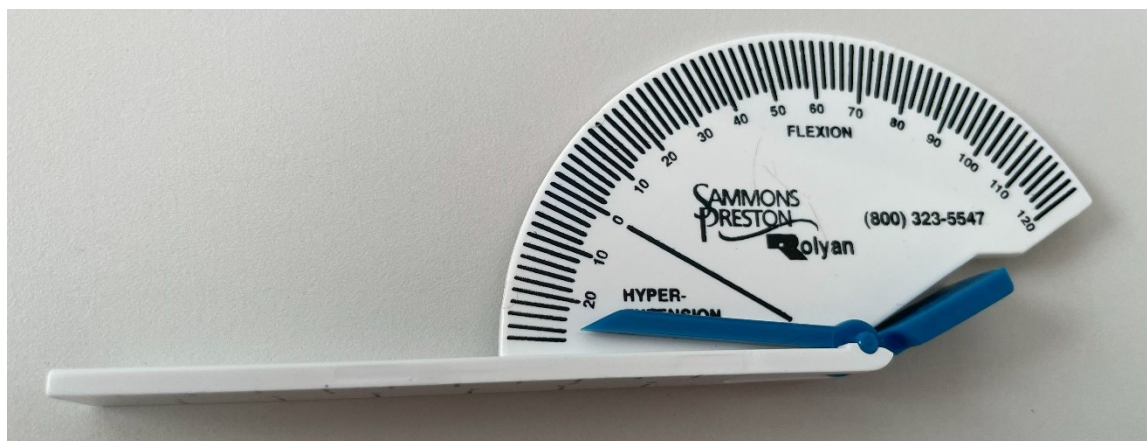


Abbildung 23: Goniometer

2.2.5.2 Fingerkuppen-Hohlhandabstand

Der Abstand zwischen den Fingerkuppen des zweiten bis fünften Finger und der queren Hohlhandbeugefalte wurde mithilfe eines Lineals gemessen und in der Einheit cm angegeben [18, 19] (Abbildung 24).

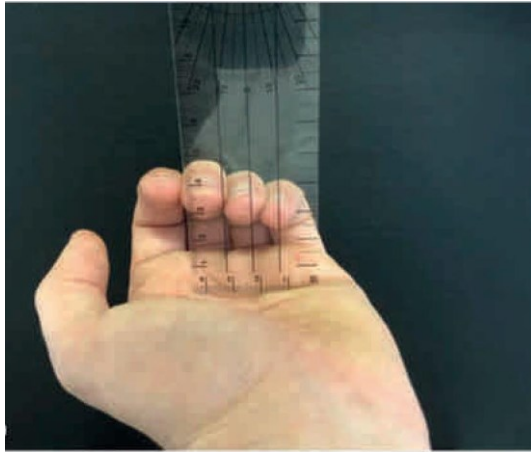


Abbildung 24: Messung des Fingerkuppen-Hohlhand-Abstands; übernommen mit freundlicher Genehmigung aus [18]

2.2.5.3 Dynamometer Griffkraft

Zur Messung der Griffkraft der rechten und linken Hand wurde ein Kraftmesser verwendet, auch genannt Dynamometer (Abbildung 25).



Abbildung 25: Handkraft Dynamometer

Der/die Patient*in legte den Unterarm auf den Tisch, nahm den Handtrainer in die rechte bzw. linke Hand und drückte 3 Sekunden, so fest wie möglich, zusammen. Danach folgte eine 5 Sekunden lange Pause. Dieser Vorgang wurde noch zweimal wiederholt und im Anschluss wurde dieser Test auch an der anderen Hand 3-mal

durchgeführt. Das Ergebnis pro Versuch wurde in kg angegeben und der Mittelwert aus den drei Messungen errechnet [20].

2.2.6 Heilung

Anhand der oben angeführten Tests und Befragungen wurde daraus die Conclusio gezogen, ob eine komplette, eine inkomplette oder keine Heilung eingetreten ist. Eine inkomplette Heilung wird definiert als unvollständige Wiederherstellung der sensomotorischen Funktion postoperativ oder vollständige Genesung bei Vorliegen von Parästhesien. Unter einer kompletten Heilung versteht man keinerlei sensomotorische Defizite bei der Nachuntersuchung.

2.2.7 Quick-DASH Fragebogen

Der Quick-DASH Fragebogen, abgekürzt für „Disabilities of the arm, shoulder and hand“, erfragt Beschwerden in bestimmten Alltagssituationen, ist jedoch primär an Erwachsene und Jugendliche gerichtet. Alle gestellten Fragen beziehen sich auf die vergangene Woche. Es stehen 5 Auswahlmöglichkeiten, die mit den Zahlen 1 (keine Schwierigkeiten) bis 5 (nicht möglich) gekennzeichnet sind, zur Auswahl. Wurde in der letzten Woche keine dieser Tätigkeiten ausgeführt, sollte die am ehesten zutreffende Antwort angekreuzt werden. Insgesamt waren 11 Fragen zu beantworten. Zur Auswertung der Fragen wurden die Punkte aller 11 Fragen addiert, diese bilden den Rohwert. Bei Nichtbeantwortung von mehr als einer Frage konnte der Quick-DASH nicht ausgerechnet werden und eine Auswertung konnte nicht stattfinden [21, 22]. Aus dem Rohwert wurde der Quick DASH errechnet. Diese Formel lautet wie folgt (Abbildung 26):

$$\left[\frac{\text{Rohwert}}{\text{Anzahl der beantw. Fragen}} - 1 \right] \times 25 = \text{Quick-DASH-Wert (0-100)}$$

Abbildung 26: Quick-DASH Auswertung [21]

Der Quick-DASH-Wert kann eine Zahl zwischen 0 und 100 erreichen, wobei 0 für keine Einschränkungen und 100 für starke Einschränkungen im Alltag spricht [21, 22].

2.3 Statistik

Während metrische Werte als Mittelwert und Spanne dargestellt werden, sind kategoriale Parameter als Anzahl und Prozente dargestellt. Nach vorheriger Testung auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test, wurden Gruppenvergleiche bei nicht Normalverteilung mittels Mann-Whitney-U Tests verglichen. P-Werte $<0,05$ wurden als statistisch signifikante Unterschiede gewertet.

Für verbundene Stichproben wurden die Daten zuvor ebenfalls mit dem Kolmogorov-Smirnov Test und dem Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung überprüft. p-Werte unter dem Signifikanzniveau von 0,05 wurden somit nicht mit einem t-Test für verbundene Stichproben ausgewertet, sondern der Wilcoxon-Vorzeichen Rangsummentest eingesetzt.

Mithilfe der Korrelation wird die Stärke des Zusammenhangs bzw. die Beziehung zwischen zwei Variablen gemessen. Die Pearson Korrelation wurde verwendet, um einen linearen Zusammenhang festzustellen. Die Spearman Korrelation dagegen bewertet eine monotone Beziehung zweier Variablen auf Basis der Rangordnung der Daten. Dadurch ist sie robuster gegenüber Ausreißern und nicht-linearen Beziehungen. Die statistische Signifikanz wurde dabei jeweils mit dem zweiseitigen t-Test untersucht.

Die Berechnung erfolgte in SPSS und zum Teil in Python aus der scipy.stats Bibliothek.

3 Ergebnisse

3.1 Retrospektive Studie

Das vom Zeitraum 2010 bis 2023 behandelte Patient*innenkollektiv bestand aus 119 Patient*innen, davon waren 41 bzw. 34,5% weiblich und 78 (65,5%) männlich. Das Durchschnittsalter betrug zum Zeitpunkt der Verletzung 10,3 Jahre, wobei das jüngste Kind 1 Jahr und das älteste 17 Jahre alt war. Die Altersverteilung der verletzten Patient*innen ist in Abbildung 27 dargestellt und zeigt eine Häufung um das erste und 16. Lebensjahr.

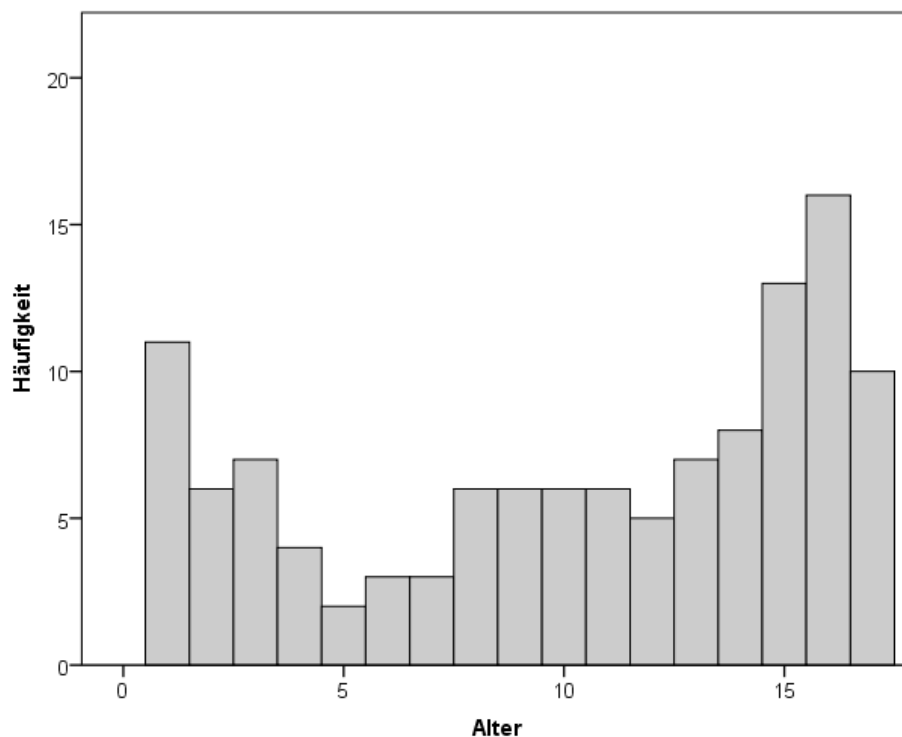


Abbildung 27: Verletzungshäufigkeit nach Alter

Das Durchschnittsalter der Mädchen war dabei mit 9,6 Jahren (Spanne 1-17 Jahre) niedriger als das der Buben mit 10,6 Jahren (Spanne 1-17 Jahre). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant ($p=0,162$, Mann-Whitney-U Test).

Die Unfallursachen wurden in verschiedene Gruppen unterteilt (Abbildung 28). Die mit Abstand häufigste Ursache stellte die Verletzung mit Glas bzw. Glasscherben

dar, die 36,1% der Personen betrafen. Ebenfalls sehr häufig waren Verletzungen mit Küchenmesser/Scheren mit 23,5%, sowie Werkzeuge/Heimwerken mit 17,6%. Stanleymesser wurden separat kategorisiert und stachen auch noch mit 5,9% heraus. Bereits diese vier Kategorien deckten 83,2% aller Verletzungen ab.

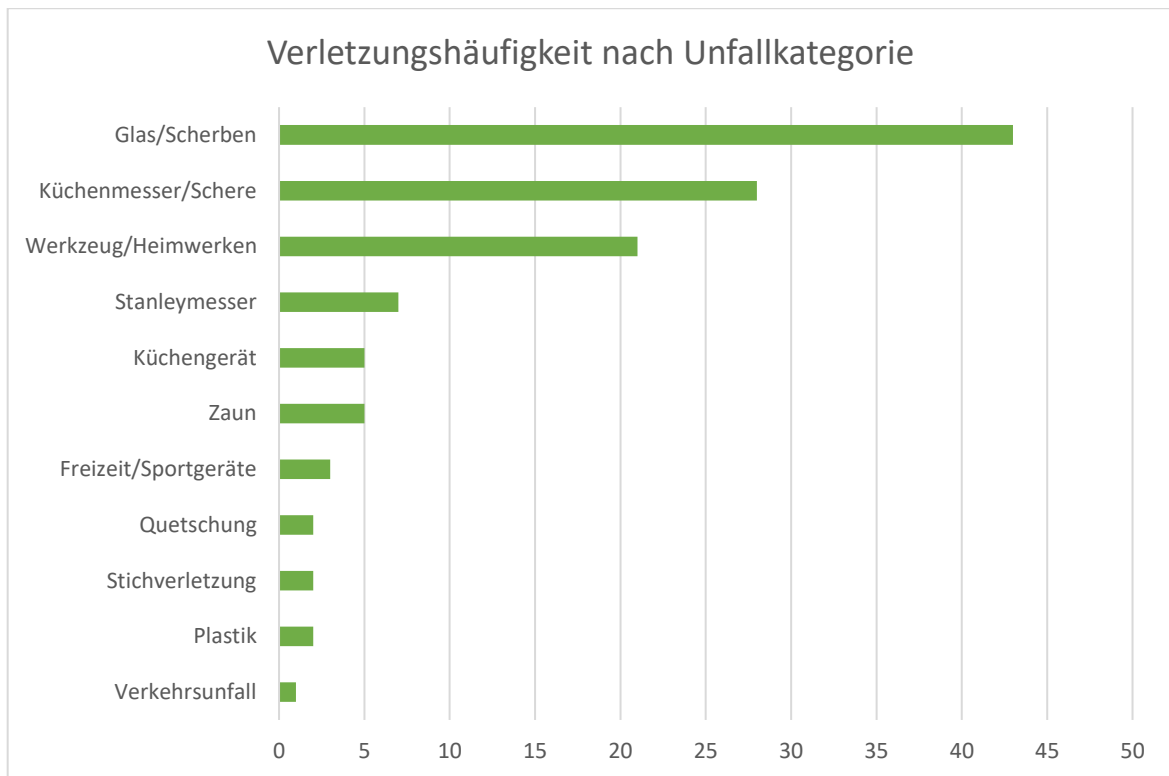


Abbildung 28: Verletzungshäufigkeit nach Unfallursache

66 der 119 bzw. 55,5% der Patient*innen hatten sich die Durchtrennung des Nervs an der linken Hand zugezogen, die restlichen 53 Patient*innen bzw. 44,5% an der rechten Hand.

Vom gesamten Patient*innenkollektiv (n=119) haben sich 7 Personen mehrere Nerven gleichzeitig verletzt, wobei sich 112 einen, 6 zwei und eine Person drei Nerven durchtrennt haben.

Von den insgesamt 127 verletzten Nerven waren 110 Nerven vollständig durchtrennt und 17 teildurchtrennt.

Insgesamt wurde der Daumen bei 28 Kindern, der Zeigefinger 38-mal, der Mittelfinger 31-mal, der Ringfinger 24-mal und der kleine Finger 25-mal in Mitleidenschaft gezogen. Somit traten Verletzungen am häufigsten am Zeigefinger auf.

Am häufigsten wurde der N. digitalis III bei 20 Patient*innen durchtrennt, gefolgt vom N. digitalis X mit 16 Verletzungen und dem N. digitalis V mit 12 Durchtrennungen. Die vollständige Auflistung zur Häufigkeit verletzter Nerven ist in Abbildung 29 & Abbildung 30 ersichtlich.

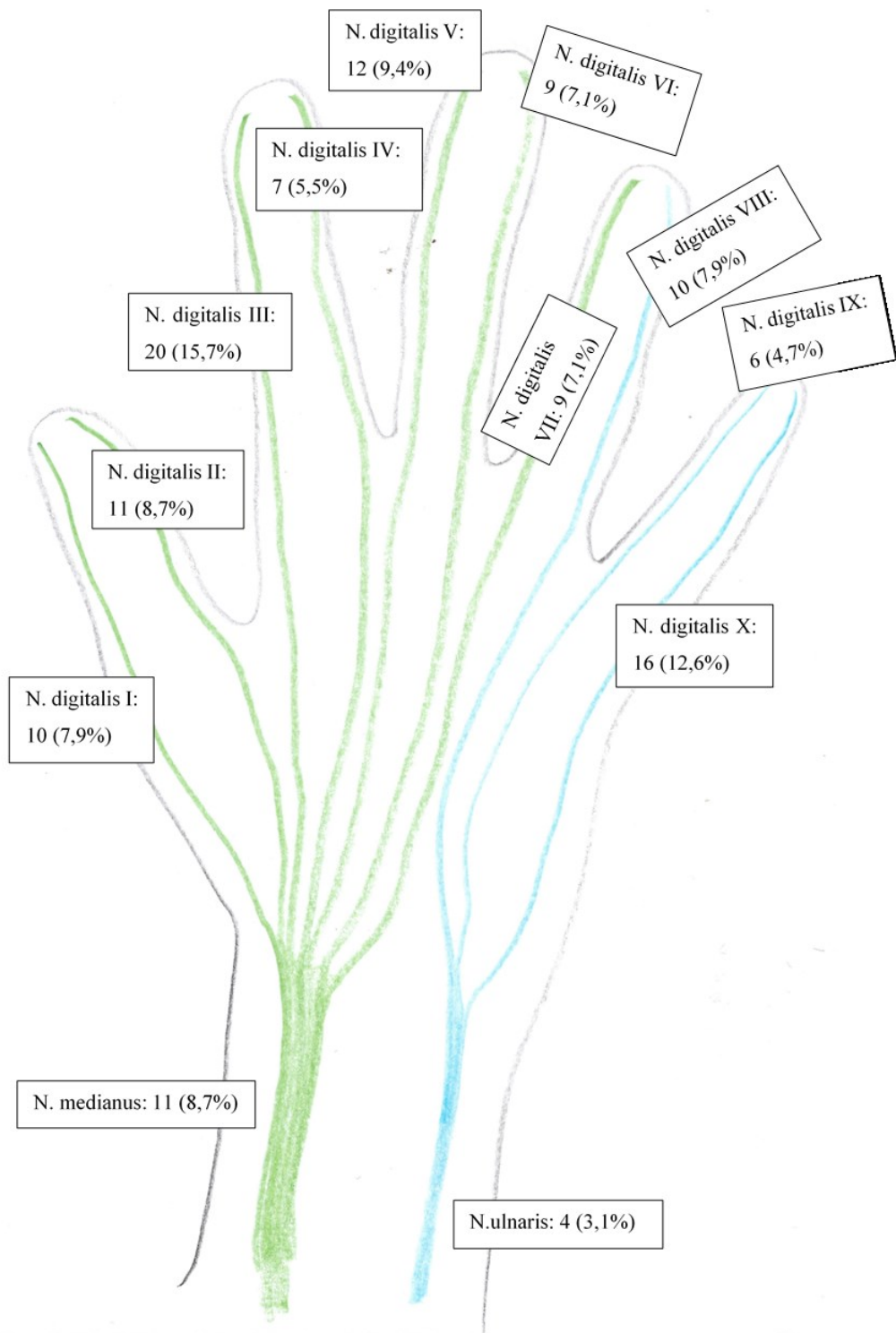


Abbildung 29: schematische Darstellung der Häufigkeit verletzter Nerven

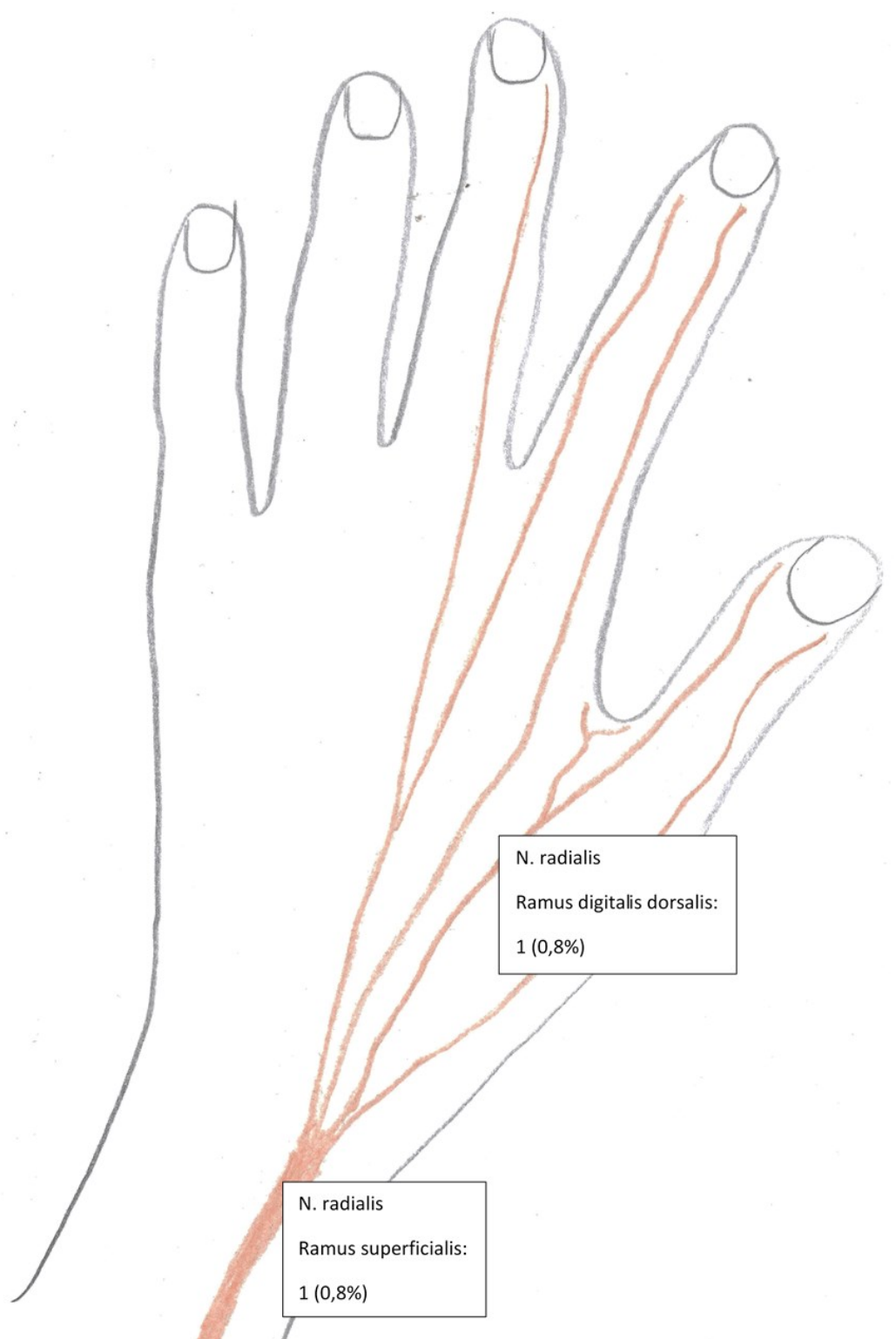


Abbildung 30: schematische Darstellung der Häufigkeit des verletzten N. radialis

Am häufigsten, mit 29 Fällen, war die Verletzung im Bereich des Grundphalanx zu finden, gefolgt von der Mittelphalanx bei 24 Patient*innen, der Hohlhand mit 15, dem

DIP-Gelenk mit 14 und mit jeweils 12 im Handgelenk und PIP-Gelenk. Die restlichen Verletzungshöhen samt ihren Häufigkeiten sind in der unten angeführten Tabelle 6 zu entnehmen.

Höhe der Verletzung	Häufigkeit	Anteil [%]
Grundphalanx	29	24,4%
Mittelphalanx	24	20,2%
Hohlhand	15	12,6%
DIP-Gelenk	14	11,7%
PIP-Gelenk	12	10,1%
Handgelenk	12	10,1%
MCP-Gelenk	7	5,9%
IP-Gelenk	3	2,5%
Handgelenksfalte	2	1,7%
Daumenballen	1	0,8%

Tabelle 6: Höhe der Verletzung

Im Median wurden die Patient*innen am ersten posttraumatischen Tag versorgt. Die meisten Patient*innen, 33,6% bzw. 40 an der Zahl, wurden mit einem Tag Verzögerung operiert, wobei fast gleich viele, 37 bzw. 31,1%, noch am selben Tag eine operative Versorgung erhielten. Recht häufig, in 21 Fällen bzw. 17,7%, wurde die Sanierung der Verletzung erst 2 Tage nach dem Unfalldatum durchgeführt. In seltenen Fällen, wie in der Tabelle 7 ersichtlich, kam es zu drei, vier, fünf, sechs oder mehreren Tagen bis Wochen Verzögerung. Ein/eine Patient*in stach jedoch mit 150 Verzögerungstagen besonders heraus.

Verzögerung zur OP [Tage]	Personenanzahl	Anteil [%]
0 Tage	37	31,1%
1 Tag	40	33,6%
2 Tage	21	17,7%
3 Tage	6	5,1%
4 Tage	6	5,1%
5 Tage	3	2,5%
6 Tage	1	0,8%
11 Tage	2	1,7%
23 Tage	1	0,8%
31 Tage	1	0,8%
150 Tage	1	0,8%

Tabelle 7: Verzögerung zur OP in Tagen

Vergleicht man die operative Behandlung, also das Nahtmaterial, so war ersichtlich, dass die Mehrheit aller Nerven mit Ethilon 9/0 versorgt wurde. In wenigen Einzelfällen kam Ethilon 8/0, Ethilon 10/0, Prolene 9/0 und Prolene 8/0 zur Anwendung, siehe Tabelle 8. Hervorzuheben ist, dass in einem Fall ein Nerveninterponat vom Nervus cutaneus antebrachii medialis verwendet und dieses mit Ethilon 10/0 vernäht wurde. Bei zwei Patient*innen konnte keine Koaptation durchgeführt werden, da der Nerv über eine Distanz von wenigen cm völlig fehlend und intraoperativ nicht auffindbar war. Aufgrund von oberflächlicher Anritzung und Durchtrennung von nur einem Faszikel des Nervs bei einem/einer Patient*in war keine weitere operative Behandlung notwendig.

operative Behandlung	Personenanzahl
Ethilon 9/0	93
Ethilon 8/0	6
Prolene 9/0	6
Ethilon 10/0	5
Prolene 8/0	5
10. Fingernerv über eine Distanz von 1,5 cm völlig fehlend - daher keine Koaptation	1
Entnahme eines Interponats des Nervus cutaneus antebrachii medialis, Ethilon 10/0	1
Ethilon 9/0 (5. Nerv), keine Koaptation (3. Nerv)	1
keine (oberflächlich angeritzt - Durchtrennung eines Faszikels)	1

Tabelle 8: operative Behandlung - Nahtmaterial

Die durchschnittliche Krankenhausaufenthaltsdauer in Tage betrug 4,43, wobei der Median bei 4 lag. Am häufigsten blieben die Patient*innen, 33 an der Zahl, 3 Tage stationär, dicht gefolgt, mit 32 Kindern und Jugendlichen, von 4 Aufenthaltstagen. 15 Personen mussten 6 Tage, 12 jeweils 2 Tage und 11 je 5 Tage im Krankenhaus verbringen. 14 weitere waren zwischen 7 und 10 Tagen und eine nur einen Tag stationär, siehe Tabelle 9. Auffällig war, dass ein/eine Kind/Jugendliche*r 18 Tage auf der Kinderchirurgie verbrachte.

Dauer Aufenthalt [Tage]	Personenanzahl
1	1
2	12
3	33
4	32
5	11
6	15
7	4
8	7
9	2
10	1
18	1

Tabelle 9: Dauer des Krankenhausaufenthalts in Tagen

117 (98,3%) Patient*innen wurden postoperativ mit einem Gips/einer Schiene behandelt, 51 (42,8%) davon erhielten eine Kleinert Schiene, die nur bei einer Sehnenzusatzverletzung angelegt wurde. Nur 1,7%, also 2 der 119 Kinder und Jugendlichen bekamen keinen Gips oder Schiene, sondern nur einen Faustverband (Tabelle 10).

Ruhigstellung (Gips & Schiene)	Personenanzahl	Anteil [%]
ja	66	55,5%
ja - Kleinert	51	42,8%
nein (Faustverband)	2	1,7%

Tabelle 10: Ruhigstellung (Gips & Schiene)

Bei den meisten Patient*innen waren zwischen zwei und fünf ambulante Kontroll-Wiedervorstellungen notwendig, wobei der Median bei vier lag. An erster Stelle standen die zweimaligen Kontrollen in der Ambulanz, die von 30 von insgesamt 119 Kindern und Jugendlichen angenommen wurden, gefolgt von viermaligen Wiedervorstellungen, die 26 Patient*innen nötig hatten. Nur bei einer einzigen Person, wie aus der unten angeführten Tabelle 11 ersichtlich war, waren 17 ambulante Kontrolltermine zu verzeichnen. Bei einer Person konnten die ambulanten Wiedervorstellungen nicht eruiert werden.

ambulanten Wiedervorstellungen	Personen- anzahl
1	4
2	30
3	16
4	26
5	19
6	7
7	3
8	3
9	2
10	4
11	1
14	1
15	1
17	1
lost for follow-up	1

Tabelle 11: Anzahl der ambulanten Wiedervorstellungen

Die Anzahl der ambulanten Wiedervorstellungen war bei Patient*innen mit Zusatzverletzungen höher als bei Patient*innen ohne. Dafür wurde der Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben durchgeführt. Mit einem p-Wert von 0,001 wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt: Ohne Zusatzverletzungen lag der Median der Anzahl ambulanter Wiedervorstellungen bei 3. Mit Zusatzverletzung lag ein signifikanter Unterschied mit einem Median von 4 vor, siehe auch Abbildung 31.

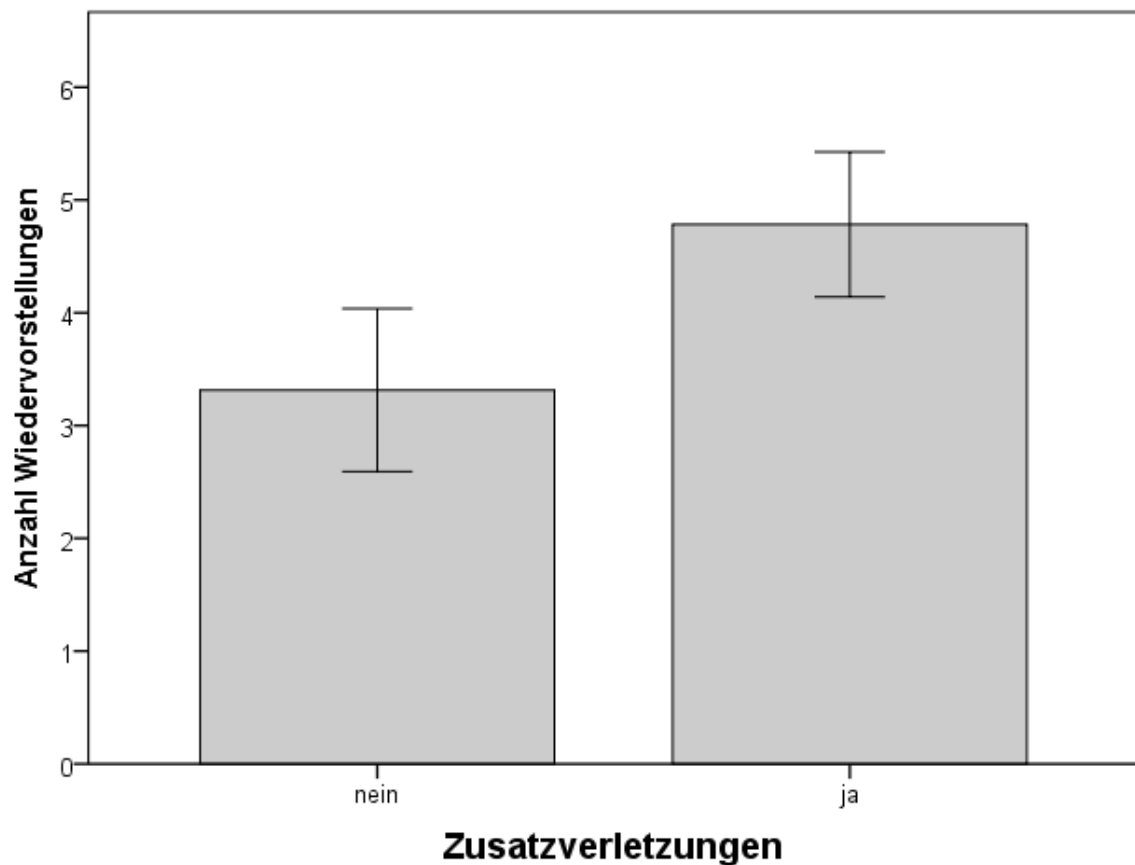


Abbildung 31: Anzahl der Wiedervorstellungen in Abhängigkeit von den Zusatzverletzungen

Stationäre Folgeaufenthalte waren in den seltensten Fällen nötig. Während bei 5 Patient*innen eine weitere Aufnahme im Krankenhaus erforderlich war, wurde ein Kind/Jugendliche*r zweimal stationär aufgenommen. Gründe dafür waren, eine Bewegungseinschränkung im DIP-Gelenk des 4. Fingers, bei dem eine Durchtrennung der M. flexor digitorum profundus (FDP)-Sehne nicht ausgeschlossen werden konnte und somit eine Revision der Hohlhand durchgeführt werden musste, sowie ein nach Entlassung schmerzhafter, durchnässter Verband, putride Wundsekretion und aufgeweichte, mazerierte Haut, eine venöse Stauung des Lappens, die sich mithilfe einer Blutegeltherapie wieder normalisierte oder aufgrund einer operativen Neurolyse.

Von den sechs der insgesamt 119 Patient*innen, die einen Folgeaufenthalt benötigten, mussten zwei für drei Tage und jeweils einer für zwei, fünf, neun oder 13 Tage stationär bleiben (Tabelle 12).

Dauer der Folgeaufenthalte [Tage]	Personenanzahl
0	113
2	1
3	2
5	1
9	1
13	1

Tabelle 12: Dauer der Folgeaufenthalte in Tagen

94,1%, also 112 von 119 Patient*innen, mit Abstand die Mehrheit, hatten keine postoperativen Komplikationen. Bei lediglich 7 Kindern und Jugendlichen traten Probleme, wie Schmerzattacken, die jedoch nach Anpassung der Schmerztherapie reversibel waren, oder putride Wunden bzw. Hautmazerationen auf. Bei einem kam es zu einer venösen Stauung des Lappens, der zur Deckung eines Hautareals verwendet wurde. Eine Verbesserung trat durch eine Blutegeltherapie wieder ein. Ein/Eine weitere/r Patient*in äußerte nach der Operation mögliche Symptome einer anaphylaktischen Reaktion, wie Flush, Exantheme mit leichter Atemnot. Sie war jedoch immer kreislaufstabil. Das/Der siebente Kind/Jugendliche entwickelte postoperativ im DIP-Gelenk des 4. Fingers eine Bewegungseinschränkung, wo anhand einer Sonografie eine Durchtrennung der FDP Sehne nicht eindeutig ausgeschlossen werden konnte, was wiederum zu einer Revision der Hohlhand führte.

3.2 Nachuntersuchung

3.2.1 Patient*innengut

33 Personen, davon 13 weibliche und 20 männliche Patient*innen, nahmen das Angebot einer Nachuntersuchung an. 3 Babys und Kleinkinder waren zu jung (zwischen einem und zwei Jahren alt) für die detaillierte Nachuntersuchung, hier wurde soweit möglich die Funktion der Finger bzw. Hand spielerisch geprüft und konnten daher nicht in die Auswertung der Nachuntersuchung eingeschlossen werden. Die Eltern der Babys/Kleinkinder gaben an, dass es keine Beschwerden oder Auffälligkeiten gegeben habe, sie kein Schonverhalten wahrgenommen haben.

Bei der spielerischen Untersuchung bewegten die drei Patient*innen alle Finger gut. Es wurde nach dem Ball gegriffen, dieser auch gut gehalten und das Aneinandertippen von zwei Fingern funktionierte bei allen tadellos. Die Sensibilität konnte in diesem Alter nicht beurteilt werden. Jedes der drei Babys/Kleinkinder hatte sich einen Nerv (8. Fingernerv rechts bzw. 1. Fingernerv links bzw. N. medianus links) verletzt.

Von den übrigen 30 Patient*innen waren 18 männlich und 12 weiblich. Das Durchschnittsalter zum Unfallzeitpunkt betrug 10,13 Jahre mit einer Spanne von 1 bis 17 Jahren. Sowohl die linke, als auch die rechte Hand wurden gleich häufig verletzt (jeweils 15 von 30 Patient*innen). Bei den Nachuntersuchten waren N. digitalis II, V und IX jeweils drei-, VI und VIII jeweils zwei- und VII und IX jeweils einmal durchtrennt worden. Der I. Fingernerv war vier-, der III. sieben- und der X. sechsmal betroffen. Bei drei Personen wurde der gesamte Nervus medianus und bei einer weiteren der gesamte Nervus ulnaris verletzt. Zwei Patient*innen haben sich zwei und weitere zwei Kinder und Jugendliche drei Nerven verletzt.

24 Kinder und Jugendliche wiesen eine Zusatzverletzung auf, das sind 80%. Die Nachuntersuchung wurde durchschnittlich 84,6 Monate (7,05 Jahre) nach der Operation durchgeführt, mit einer Spanne zwischen 7,6 und 168,5 Monaten (0,63 und 14,04 Jahren).

3.2.2 Subjektive Einschätzung

Die Nachuntersuchung begann mit festgelegten Fragen, bei denen die subjektive Patient*inneneinschätzung im Mittelpunkt stand.

Frage	Ja	Nein	Ja [%]	Nein [%]
Probleme zu Hause	1	29	3,3%	96,7%
Händigkeit rechts	27	3	90,0%	10,0%
Kälteempfindlichkeit	12	18	40,0%	60,0%
Schmerzen	5	25	16,7%	83,3%
Sensibilität normal	10	20	33,3%	66,7%
Trockener Finger	0	30	0,0%	100,0%

*Tabelle 13: Ergebnis der Patient*innenbefragung*

29 Patient*innen gaben keine Probleme im Alltag an, jedoch traten bei einer Person welche auf. 90%, also 27, sind Rechtshänder, nur 3 von 30 Personen gaben Linkshändigkeit an.

Auf die Frage, ob der betroffene Finger bis zum heutigen Tage noch kälteempfindlich sei, antworteten 12 der 30 Patient*innen mit ja, das machte 40% aus. 18 (60%) hingegen empfanden keine Kälte im Innervierungsareal, siehe Tabelle 13. Die meisten, 25 Personen (83,3%), gaben Schmerzfreiheit an, bei 5 Kindern und Jugendlichen, 16,7%, traten bis zur Nachuntersuchung bei Tätigkeiten (Tragen von Dingen, starken Belastungen des Fingers, Beuge- und Streckbewegungen) noch bestimmte Schmerzen auf. 2/3 bzw. 66,7% der Patient*innen sprachen von einer veränderten Sensibilität (Kribbeln, nagelnde Schmerzen, taubes oder stromschlagartiges Gefühl), das sind 20 Personen. Nur 10, 33,3%, gaben ein normales Sensibilitätsempfinden an. Ein trockener Finger bestand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei keinem/r Patient*in. Der Abschluss der Selbstbeurteilung des/der Patient*in bildete die Auskunft über deren Zufriedenheit. So vergaben 12 Patient*innen, 40% aller, den Wert 100, also völlig zufrieden, und am zweithäufigsten 5 Kinder und Jugendliche den Wert 90, das entspräche 16,7%. Alle weiteren Ergebnisse und die linksschiefe Verteilung des Gesamtergebnisses der Zufriedenheit sind in Tabelle 14 und Abbildung 32 nachzulesen. Die durchschnittliche Zufriedenheit lag bei einem Wert von 88,1, die Standardabweichung bei 15,6. Der Median entsprach 95 und die Spanne 55, wie im Boxplot Abbildung 33 dargestellt ist.

Zufriedenheit	Personenanzahl	Anteil [%]
45	1	3,3%
50	1	3,3%
60	1	3,3%
70	3	10,0%
80	3	10,0%
90	5	16,7%
95	2	6,7%
99	2	6,7%
100	12	40,0%

Tabelle 14: Ergebniszufriedenheit

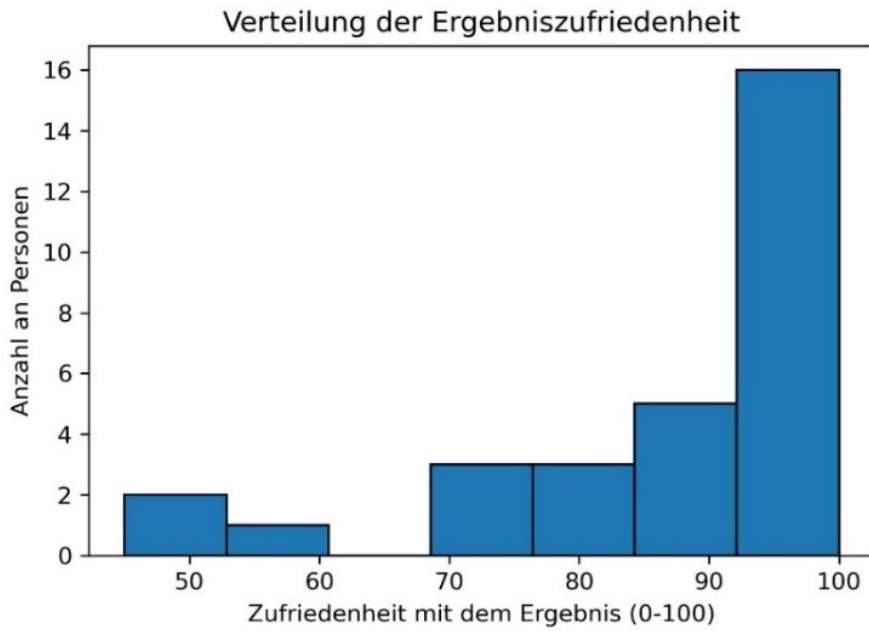


Abbildung 32: Histogramm zur subjektiven Ergebniszufriedenheit

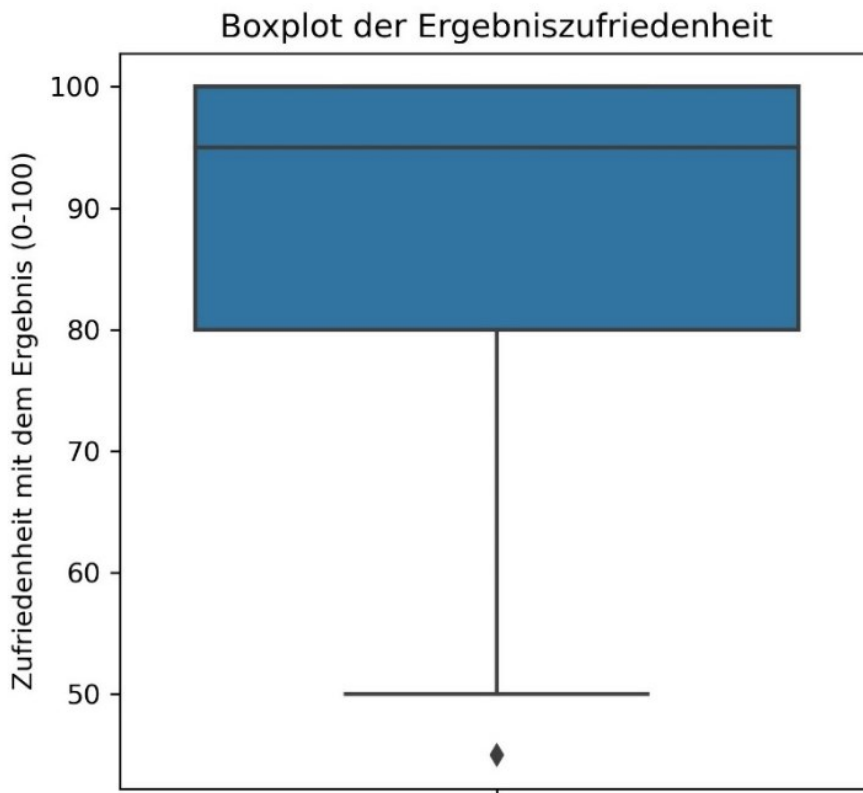


Abbildung 33: Boxplot der subjektiven Ergebniszufriedenheit

Vergleicht man, mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests bei unabhängigen Stichproben, die Zufriedenheit der Patient*innen mit Zusatzverletzungen mit denen, die keine

hatten, so erhielt man einen p-Wert von 0,210. Dies entspricht keinem signifikanten Unterschied, weswegen die Zusatzverletzungen keinen Einfluss auf die Zufriedenheit hatten. Der Mittelwert bei der Zufriedenheit bei Kindern und Jugendlichen ohne Zusatzverletzung betrug 82,50, die Standardabweichung 15,41. Bei der Vergleichsgruppe (Zufriedenheit mit Zusatzverletzung) lag der Mittelwert bei 89,50 und die Standardabweichung bei 16,02.

3.2.2.1 Dauer der Normalisierung/Einschätzung der Nervenregeneration

Die durchschnittlich von den Patient*innen abgeschätzte Dauer bis eine Nervenregeneration eingetreten ist, lag bei 6,5 Monaten, wobei ein Großteil, 11 Personen, angaben, dass dies innerhalb der ersten drei Monate geschah, siehe Abbildung 34. Nur bei zwei Kindern und Jugendlichen dauerte die subjektive Normalisierung der Nervenfunktion bis zum Ist-Zustand zwischen 15 und 18 Monate. Eine Person konnte sich daran nicht mehr erinnern bzw. keine Auskunft geben. Die Standardabweichung betrug 4,86 Monate, der Median 6 und die Spanne 17 Monate.

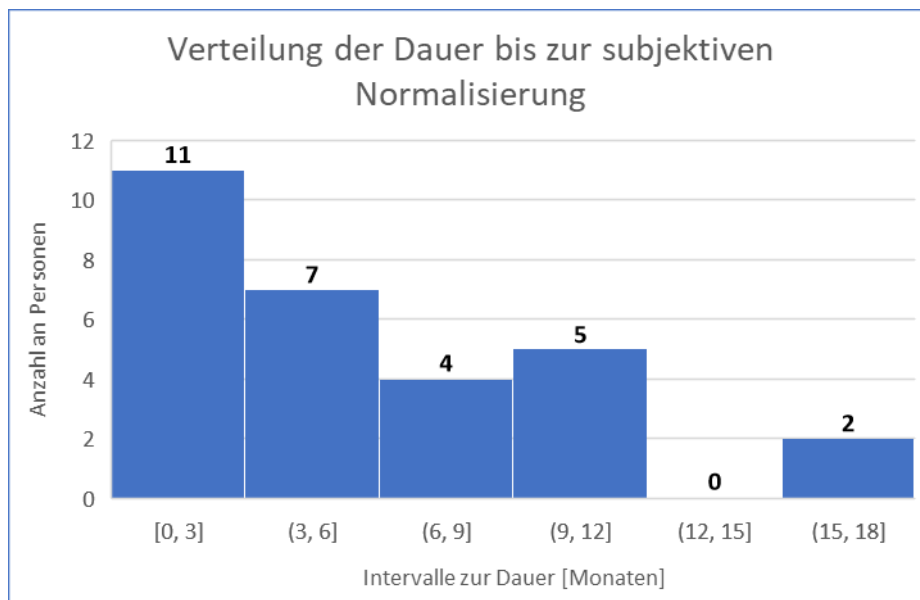


Abbildung 34: Histogramm Dauer bis zur subjektiven Normalisierung

3.2.3 Vancouver Scar Scale

Die Gesamtpunktezahl des Vancouver Scar Scales setzt sich aus der Addition der folgenden Unterpunkte dieser Kategorien zusammen: Vaskularisierung, Pigmentierung, Geschmeidigkeit und Höhe in mm. Der Mittelwert der Gesamtpunkteanzahl lag bei 1,07 und der Median bei 1,00, einige wenige Ausreißer waren auch zu vermerken. Die Spanne lag bei 6,00.

Mit 46,7% am häufigsten vergeben wurde die Gesamtpunkteanzahl 0, was eine gut verheilte Narbe bedeutete, dicht gefolgt von 30% mit einem Punkt. Einmalig wurden 4 bzw. 6 Gesamtpunkte vergeben (jeweils 3,3%). 3 Punkte wurden dreimal (10%) und 2 Punkte zweimal (6,7%) vergeben. Die rechtsschiefe Verteilung ist ebenfalls in Abbildung 35 dargestellt.

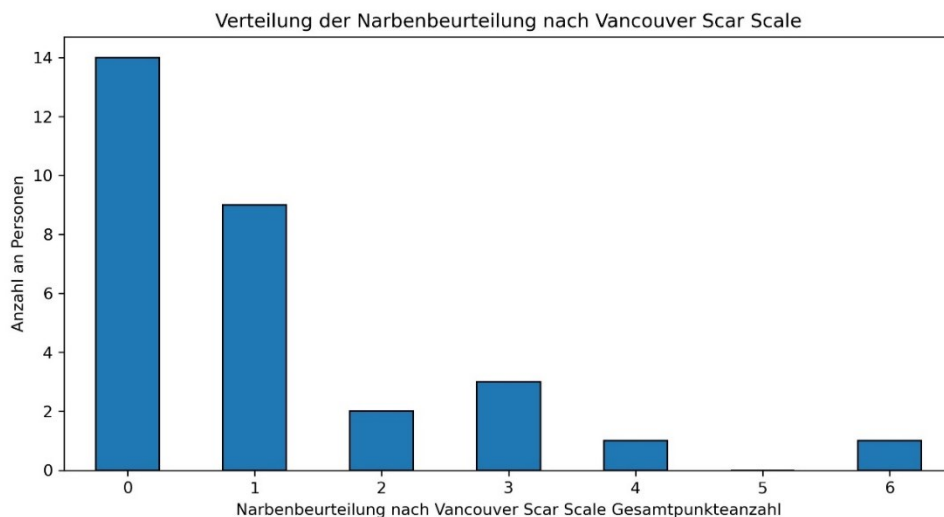


Abbildung 35: Balkendiagramm Vancouver Scar Scale Gesamtpunkteanzahl

Der Unterpunkt Vaskularisierung ergab bei 29 (96,7%) Patient*innen den Wert 0, der für eine normale Durchblutung des Narbengewebes spricht. Bei 19 der 30 Personen, also 63,3% der Nachuntersuchten, war die Pigmentierung der Narbe normal, sowie die restliche Haut, was in der Tabelle 0 Punkten entsprach. Bei 11 Kindern und Jugendlichen (36,7%) war eine Hypopigmentierung (1 Punkt) zu erkennen. Die Geschmeidigkeit stellte sich bei 22 Nachuntersuchten mit einem Wert von 0 als normal dar. Die Narbenhöhe in mm war bei den meisten, 25 Patient*innen

(83,3%), flach - diese erhielten 0 Punkte. All die weiteren Ergebnisse sind in der Tabelle 15 zu entnehmen.

	Wert	Personen- anzahl	Anteil [%]	Mittelwert
Vaskularisierung				0,07
	0	29	96,7%	
	1	0	0,0%	
	2	1	3,3%	
Pigmentierung				0,37
	0	19	63,3%	
	1	11	36,7%	
Geschmeidigkeit				0,47
	0	22	73,4%	
	1	4	13,3%	
	2	3	10,0%	
	3	0	0,0%	
	4	1	3,3%	
Höhe				0,17
	0	25	83,3%	
	1	5	16,7%	
Gesamtpunkte				1,07
	0	14	46,7%	
	1	9	30,0%	
	2	2	6,7%	
	3	3	10,0%	
	4	1	3,3%	
	5	0	0,0%	
	6	1	3,3%	

Tabelle 15: Punkteverteilung der Vancouver Scar Scale Unterpunkte

Stellt man den Vergleich zwischen der Zufriedenheit und dem Vancouver Scar Scale mithilfe der Spearman Korrelation auf, so ergibt dies einen Korrelationskoeffizienten von 0,094 und einem (zweiseitigen) Signifikanzniveau von 0,622. Deshalb kann gesagt werden, dass die Narbenbildung keinen statistisch relevanten Einfluss auf die Zufriedenheit der Patient*innen gehabt hat.

3.2.4 Beurteilung der Sensibilität

3.2.4.1 Statische Zwei-Punkt Diskrimination

Die statische Zwei-Punkt Diskrimination wurde mit einer Diskriminationsscheibe durchgeführt und immer mit dem gesunden Finger der Gegenseite verglichen. Zur besseren Objektivierung des Unterschiedes und zur besseren Vergleichbarkeit mit den anderen verletzten Nerven wurde die Differenz zwischen betroffenem und gesundem Finger in mm ermittelt. Bei 5 Nerven war auffällig, dass der Zwei-Punkt-Abstand am betroffenen Finger geringer war als am gesunden Kontrollfinger. Die Differenz betrug in einem Fall 2 mm und in vier Fällen 1 mm. Bei 33 Nerven waren 0 mm oder 1 mm Abstand zum gesunden Finger zu vermerken. Ein Nerv wies einen 3 mm Unterschied auf. Eine deutlich größere Differenz, 6 mm und 7 mm, war bei jeweils zwei Nerven (3,7%) festzustellen, siehe Tabelle 16 und Abbildung 36.

Unterschied zwischen den Fingern [mm]	Anzahl der Nerven	Anteil [%]
-2	1	1,9%
-1	4	7,4%
0	16	29,6%
1	17	31,5%
2	11	20,3%
3	1	1,9%
6	2	3,7%
7	2	3,7%

Tabelle 16: statische Zwei-Punkt Diskrimination - Differenz gesunder vs. betroffener Finger

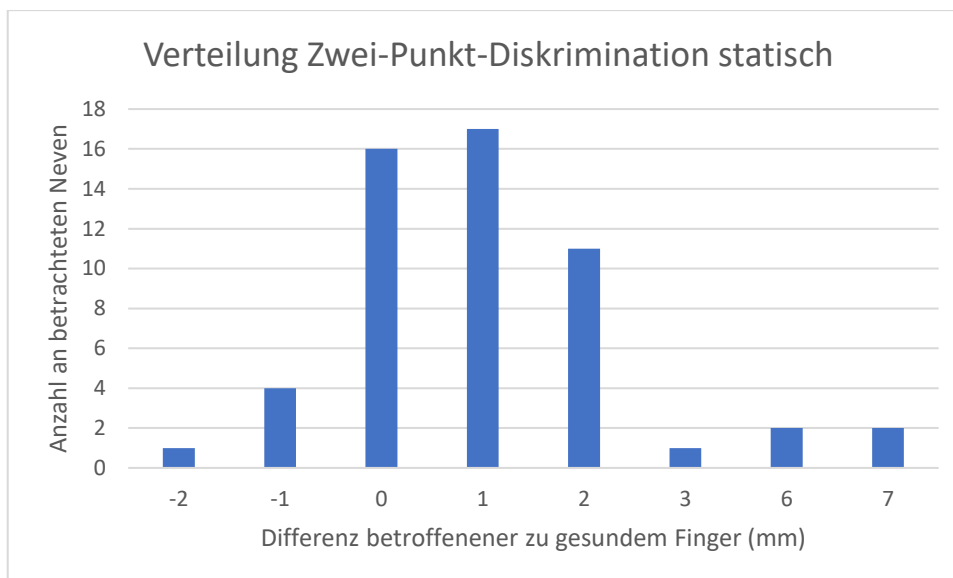


Abbildung 36: Balkendiagramm statistische Zwei-Punkt Diskrimination

43 von insgesamt 54 verletzten Nerven erzielten einen Wert in mm, der für dieses Areal als normales Empfinden laut American Society for Surgery of the Hand, siehe Tabelle 17, eingestuft werden kann, das macht 79,6% aus. Weitere 10 Nerven, 18,5%, erreichten ein mittelmäßiges Ergebnis und nur bei einem Nerv (1,9%) hinterblieb eine starke Beeinträchtigung der Sensibilität.

Interpretation statistische Zwei-Punkt Diskrimination	Anzahl der Nerven	Anteil [%]
normal	43	79,6%
mittelmäßig	10	18,5%
stark beeinträchtigt	1	1,9%

Tabelle 17: Interpretation statistische Zwei-Punkt Diskrimination

Die statistische Zwei-Punkt Diskrimination der verletzten Nerven ergab einen Mittelwert von 4,46 mm und eine Standardabweichung von 2,15 mm. Der Median lag bei 4,00 mm. Bei den gesunden Nerven der Gegenseite betrug der Mittelwert hingegen 3,31 mm, die Standardabweichung 1,05 mm und der Median 3,00 mm.

Wie in Abbildung 37 und der Differenz der Medianwerte ersichtlich, wird ein Unterschied zwischen betroffenem und gesundem Finger vermutet - aus diesem Grund wurden weitere statistische Tests angewandt. Darunter erreichte man für die

statische Zwei-Punkt Diskrimination einen p-Wert $< 0,05$. Es liegt daher ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen betroffenem und gesundem Finger vor, welcher in Abbildung 37 dargestellt wird.

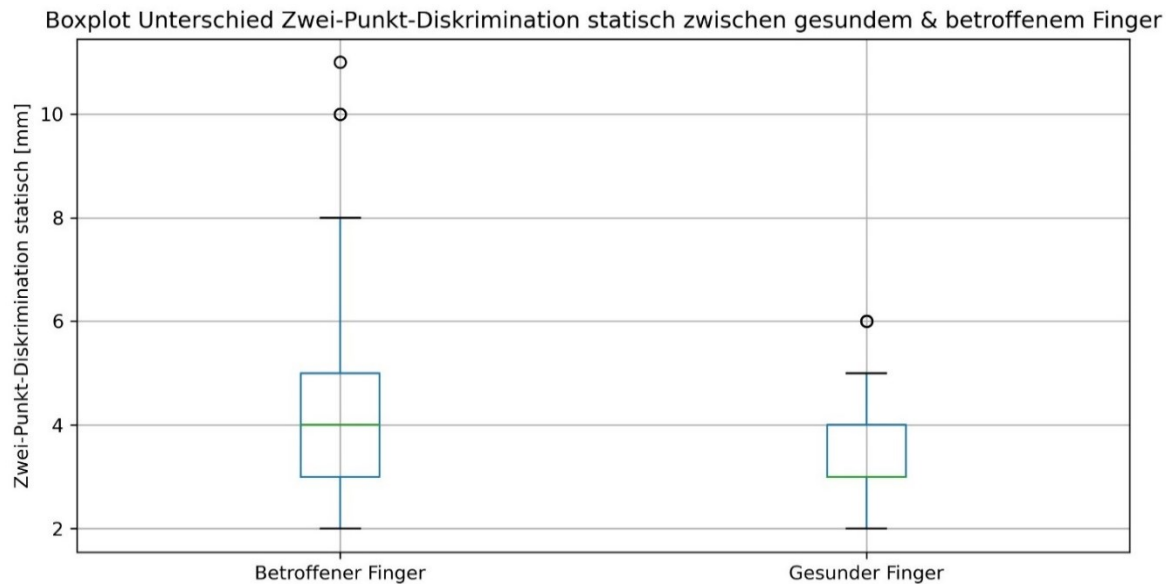


Abbildung 37: Boxplot statische Zwei-Punkt Diskrimination gesunder vs. betroffener Finger

3.2.4.2 Dynamische Zwei-Punkt Diskrimination

Im Unterschied zur statischen Zwei-Punkt Diskrimination wurde die dynamische zwar mit derselben Diskriminationsscheibe durchgeführt, jedoch wurde mit dieser über den Finger gestrichen. Hierbei konnte bei 25 Nerven (46,3%) kein Unterschied zur gesunden Gegenseite festgestellt werden. Bei 31,5%, 17 Nerven, war der Abstand am betroffenen Finger um 1 mm größer als am gesunden Finger der Gegenseite. Bei 5 Nerven (9,3%) war der Abstand 2 mm und bei drei Nerven (5,5%) 3 mm. Auffällig ist, dass vier Nerven auf der gesunden Seite (7,4%) Zwei-Punkte erst bei einem größeren Punkteabstand getrennt wahrnehmen konnten als auf dem betroffenen Finger, siehe Tabelle 18 & Abbildung 38. Der Mittelwert der Differenz der dynamischen Zwei-Punkt Diskrimination betrug 0,58 und der Median bei 0.

Unterschied zwischen den Fingern [mm]	Anzahl der Nerven	Anteil [%]
-1	4	7,4%
0	25	46,3%
1	17	31,5%
2	5	9,3%
3	3	5,5%

Tabelle 18: dynamische Zwei-Punkt Diskrimination - Differenz gesunder vs. betroffener Nerv

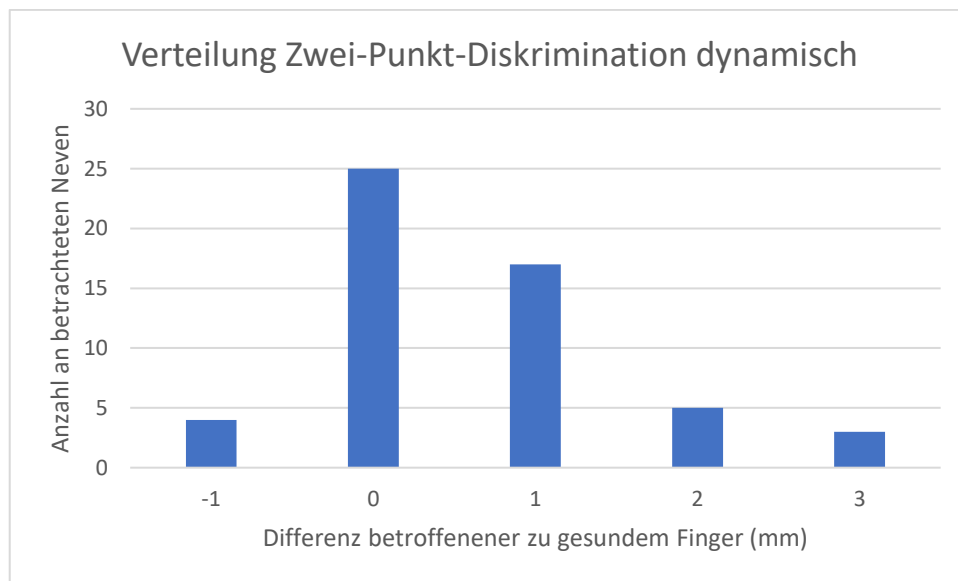


Abbildung 38: Balkendiagramm Zwei-Punkt Diskrimination

Die dynamische Zwei-Punkt Diskrimination ergab bei 50 verletzten Nerven ein normales Berührungsempfinden, 92,6%. Vier von 54 Nerven, 7,4%, wiesen eine mittelmäßige Sensibilität auf.

Interpretation dynamische Zwei-Punkt Diskrimination	Anzahl der Nerven	Anteil [%]
normal	50	92,6%
mittelmäßig	4	7,4%

Tabelle 19: Interpretation dynamische Zwei-Punkt Diskrimination

Die dynamische Zwei-Punkt Diskrimination der verletzten Seite erreichte einen Mittelwert von 3,41 mm und eine Standardabweichung von 1,16 mm. Der Median

lag bei 3,00 mm. Im Vergleich zur gesunden Seite befand sich der Mittelwert bei 2,81 mm und die Standardabweichung bei 0,80 mm. Der Median war bei 3,00 mm. Mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben erzielte man eine Signifikanz mit einem p-Wert von 0,000. Dies bedeutet es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen verletztem und gesundem Nerv der Gegenseite, siehe Abbildung 39.

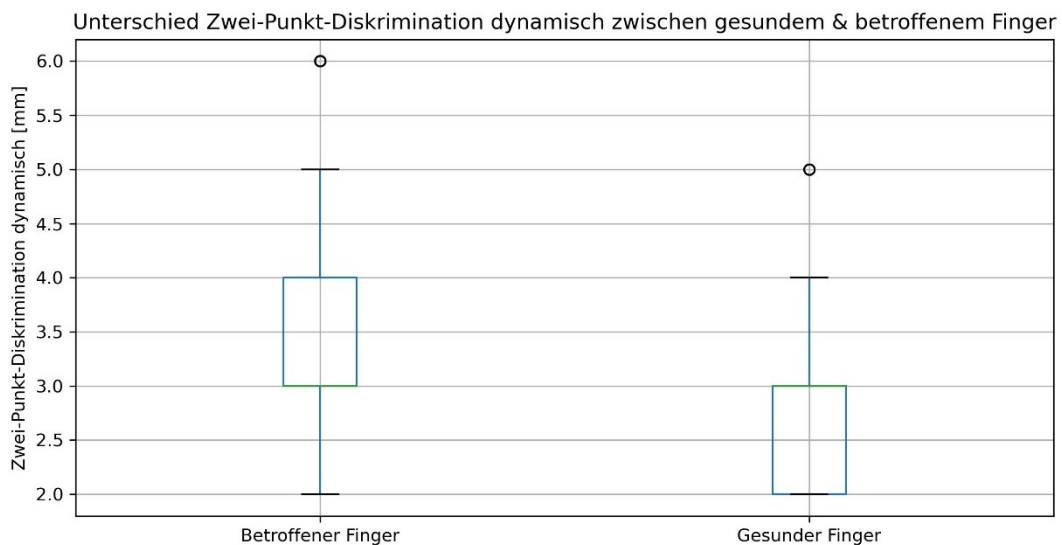


Abbildung 39: Boxplot dynamische Zwei-Punkt Diskrimination gesunder vs. betroffener Finger

3.2.4.3 Semmes-Weinstein-Monofilament Test

Betrachtet man die Differenz des Ergebnisses des Semmes-Weinstein-Monofilament Test, wurde festgestellt, dass die meisten Nerven, 63,0%, kein Sensibilitätsdefizit zum nicht verletzten Nerv der Gegenseite aufwiesen, wohingegen 35,1% weniger sensibel auf das Monofilament reagierten, siehe Tabelle 20. Nur ein verletzter Nerv erzielte ein besseres Ergebnis als sein Vergleichsnerv (Abbildung 40). Die durchschnittliche Differenz beim Semmes-Weinstein-Monofilament Test betrug 0,33 und der Median lag bei 0.

Differenz betroffener - gesunder Nerv	Anzahl der Nerven	Anteil [%]
-0,78	1	1,9%
0	34	63,0%
0,7	3	5,5%
0,78	11	20,4%
1,48	3	5,5%
1,73	2	3,7%

Tabelle 20: Differenz Semmes Weinstein Monofilament Test betroffener vs. gesunder Nerv

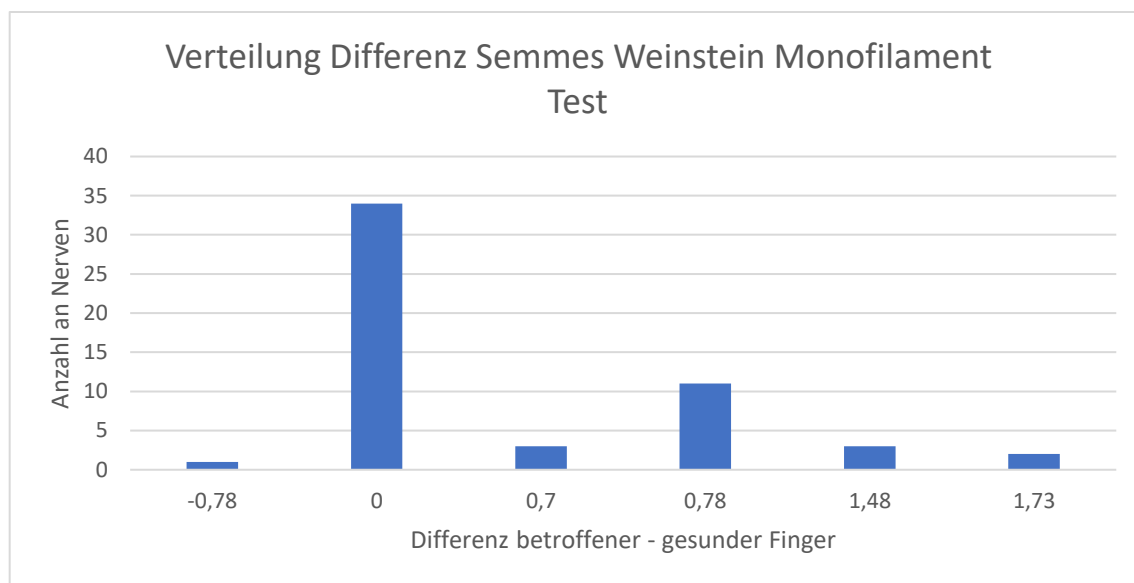


Abbildung 40: Balkendiagramm Semmes Weinstein Monofilament Test

Von 54 verletzten, untersuchten Fingernerven konnten 24, 44,4%, beim Semmes-Weinstein-Monofilament Test ein normales Berührungsempfinden erzielen, weitere 22, 40,7%, eine herabgesetzte Empfindlichkeit und 6, 11,1% eine herabgesetzte Schutzsensibilität. Bei 3,7%, also 2 Fingernerven, war ein Verlust der Schutzsensibilität eingetreten.

Bei drei nachuntersuchten Patient*innen wurde jeweils ein Nerv schon im Bereich der Handfläche durchtrennt. Der Semmes-Weinstein-Monofilament Test ergab in diesem Bereich bei einer Person ein normales Berührungsempfinden, bei der zweiten eine herabgesetzte Empfindlichkeit und bei der letzten eine herabgesetzte Schutzsensibilität.

Identisch zur Zwei-Punkt Diskrimination wurde der Wilcoxon-Vorzeichen Rangsummentest zur Untersuchung des möglichen Unterschiedes eingesetzt. Darunter erreichte man für den Semmes-Weinstein-Monofilament Test einen p-Wert von $< 0,05$. Es liegt daher ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen betroffenem und gesundem Finger vor, welcher in Abbildung 41 dargestellt wird.

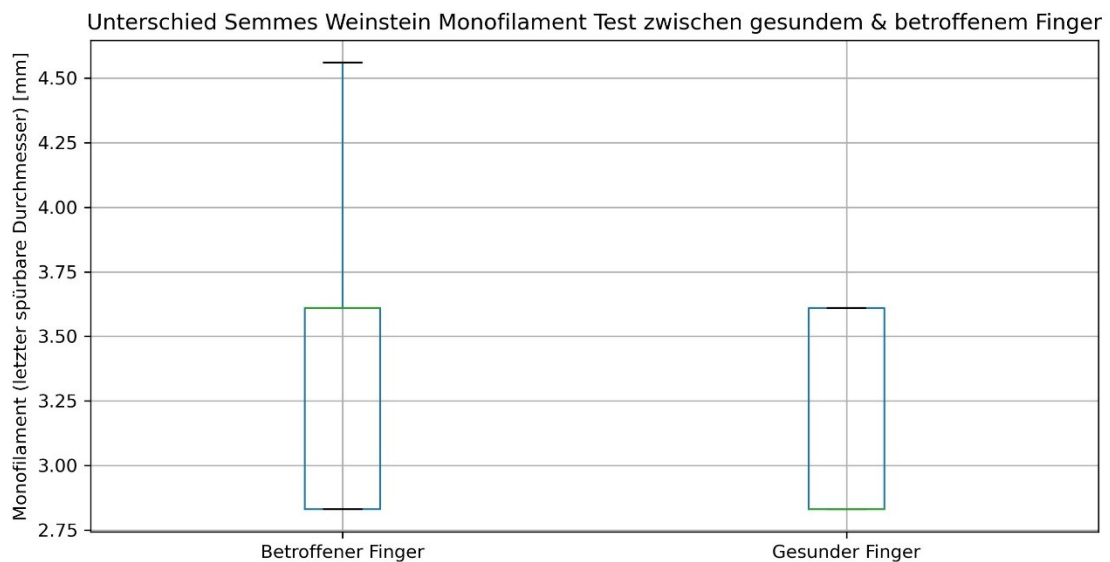


Abbildung 41: Semmes Weinstein Monofilament Test gesunder vs. verletzter Finger

3.2.4.4 Hoffmann-Tinel Zeichen

Schlussendlich wurde auf das Vorhandensein des Hoffmann-Tinel-Zeichens überprüft. Hierbei war dieses bei 22 Kindern und Jugendlichen (73,3%) negativ, bei 8 (26,7%) konnte es ausgelöst werden.

3.2.4.5 Sensorisches Outcome

Das sensorische Outcome verteilte sich auf S4 und S3+ zu fast gleich großen Teilen. S4 beinhaltet mit 27 Nerven, 47,4%, knapp die Hälfte aller Nerven und S3+ mit 30, 52,6%, die übrigen. Kein Nerv wurde zu S3, S2, S1 oder S0 zugeordnet (Tabelle 21).

Sensorisches Outcome Ergebnis: (S0/S1/S2/S3/S3+/S4)	Anzahl der Nerven	Anteil [%]
S3+	30	52,6%
S4	27	47,4%

Tabelle 21: Ergebnis sensorisches Outcome

3.2.5 Beurteilung der Motorik

3.2.5.1 Beschreibung der Motorik – Beweglichkeit in Grad

In Tabelle 22 wurde die Beweglichkeit in Grad der verschiedenen Gelenke im Mittelwert samt den dazugehörigen Standardabweichungen aufgelistet. Im Anschluss wurde mit dem Wilcoxon Test für verbundene Stichproben, da die Daten teilweise keine Normalverteilung nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test aufwiesen, überprüft, ob der Median der Differenzen zwischen jeweils der betroffenen und gesunden Seite identisch ist. Für die DIP- und IP-Gelenke konnte ein signifikanter Unterschied zur gesunden Seite festgestellt werden.

Gelenk	Anzahl	ROM betroffen - Mittelwert ± SD	ROM gesund - Mittelwert ± SD	p-Wert Wilcoxon - Median der Differenzen
MCP	52	90,67 ± 16,267	91,67 ± 14,032	0,71
PIP	40	96,20 ± 15,631	100,93 ± 11,180	0,139
DIP	40	71,65 ± 12,711	77,83 ± 11,365	0,001
IP	13	98,31 ± 16,388	109,85 ± 15,126	0,022

Tabelle 22: Gelenksbeweglichkeit in Grad, ROM...range of motion

Tabelle 23 stellte die Gelenksbeweglichkeit in Grad bei Patient*innen mit Zusatzverletzungen dar. Hier konnte ebenfalls wieder ein signifikanter Unterschied bei den DIP- und IP-Gelenken zwischen betroffener und gesunder Seite festgestellt werden.

Gelenk	Anzahl	ROM betroffen - Mittelwert ±SD	ROM gesund - Mittelwert ± SD	p-Wert Wilcoxon - Median der Differenzen
MCP	42	89,52 ± 17,397	89,74 ± 12,761	0,925
PIP	31	94,90 ± 17,089	101,87 ± 12,055	0,054
DIP	31	70,77 ± 11,963	77,77 ± 10,062	0,003
IP	12	96,50 ± 15,705	108,00 ± 14,187	0,04

Tabelle 23: Gelenksbeweglichkeit in Grad mit Zusatzverletzungen

Tabelle 24 zeigte ebenfalls die Beweglichkeit in Grad von verschiedenen Gelenken, jedoch nur von Patient*innen ohne Zusatzverletzungen. Für das IP-Gelenk war nur eine Person vorhanden, wodurch dieses nicht angeführt wurde. Hier konnte für kein Gelenk ein signifikanter Unterschied zwischen betroffener und gesunder Seite festgestellt werden.

Gelenk	Anzahl	ROM betroffen - Mittelwert ± SD	ROM gesund - Mittelwert ± SD	p-Wert Wilcoxon - Median der Differenzen
MCP	10	95,50 ± 9,419	99,80 ± 16,825	0,798
PIP	9	100,67 ± 8,185	97,67 ± 7,000	0,44
DIP	9	74,67 ± 15,419	78,00 ± 15,811	0,159

Tabelle 24: Gelenksbeweglichkeit in Grad ohne Zusatzverletzung

3.2.5.2 Fingerkuppen-Hohlhandabstand

Von den 30 Nachuntersuchten ergab der Fingerkuppen-Hohlhandabstand von Digniti II bis V bei 24 Patient*innen keinen Abstand (0cm). Bei 6 Kindern und Jugendlichen war der Fingerkuppen-Hohlhandabstand jedoch erhöht:

- 1) 5. Finger: 4 cm
- 2) 2. Finger: 0,2 cm
- 3) 2. Finger: 0,5 cm
- 4) 4 & 5. Finger: 0,5 cm
- 5) 3. Finger: 0,1 cm
- 6) 4 & 5 Finger: 0,2 cm

3.2.5.3 Dynamometer Griffkraft

Um ein motorisches Defizit der Hand zu erkennen, wurde eine Griffkraftuntersuchung mittels Handgriffdynamometer durchgeführt und mit der Gegenseite verglichen. Der mittlere Kraftwert aller Patient*innen der linken Hand betrug 28,4 kg und der rechten Hand 29,9 kg. Bei der restlichen Auswertung wurde jedoch auf die Händigkeit (Rechts- oder Linkshänder*in) Rücksicht genommen und pro Person jeweils der Mittelwert aus drei Messungen für beide Hände ermittelt. Durch das Fehlen entsprechender Referenzen bei Kindern bis zum Alter von 10 Jahren stellte sich eine Auswertung als schwierig dar. Die Altersunterschiede führen dazu, dass die Kraftwerte auch nicht untereinander verglichen werden konnten, wodurch nur mehr das Verhältnis der beiden Hände als Möglichkeit zur Betrachtung gesehen wurde. Bezüglich der Händigkeit wurde das Verhältnis der dominanten Hand zur nicht dominanten gewählt. Lag die Verletzung auf der dominanten Hand vor, lag das Verhältnis im Mittel bei 1,048, wodurch diese somit eine um durchschnittlich 4,8% stärkere Griffkraft aufwies. Bei einer Verletzung auf der nicht dominanten war das mittlere Verhältnis mit 1,145 größer, und die dominante Hand im Schnitt um 14,5% stärker. Es fehlte jedoch ein Vergleich zu gleichaltrigen, gesunden Personen. In der Grafik Abbildung 42 wurden die Kraftverhältnisse der einzelnen Personen als Punkte farblich gruppiert nach den Verletzungen auf der dominanten und nicht dominanten Hand.

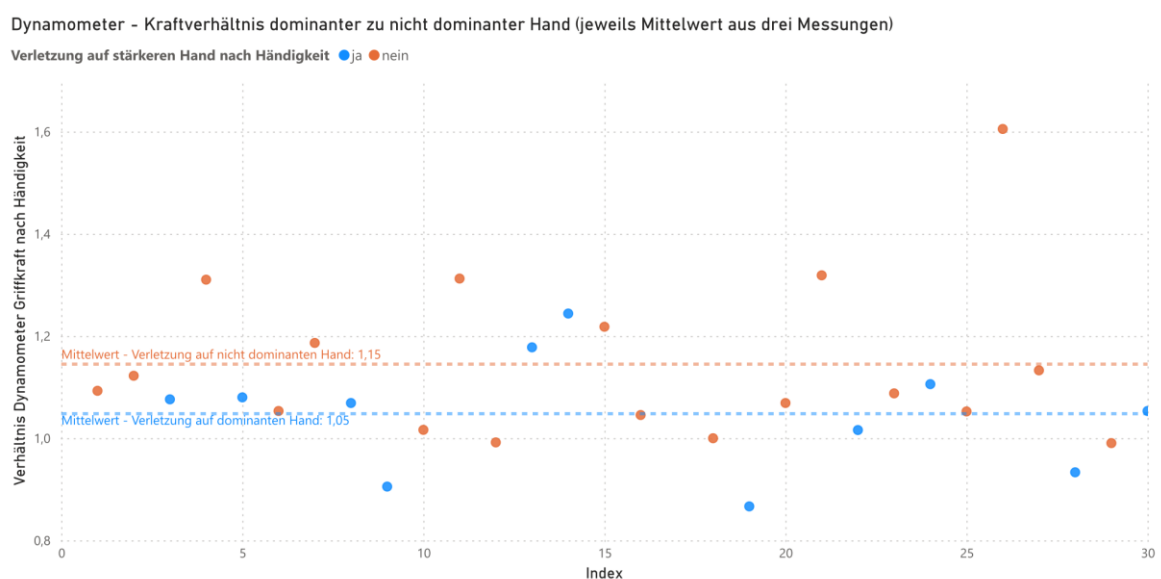


Abbildung 42: Dynamometer - Kraftverhältnis dominanter vs. nicht dominanter Hand

3.2.6 Heilung – Endergebnis der Nachuntersuchung

28 der insgesamt 55 Fingernerven, 50,9%, erreichten bei dem zusammengefassten Endergebnis der Nachuntersuchung eine komplette Heilung, die übrigen 27, 49,1%, eine inkomplette Heilung.

Heilung	Anzahl der Nerven	Anteil [%]
inkomplett	27	49,1%
komplett	28	50,9%

Tabelle 25: Heilung - Endergebnis der Nachuntersuchung

3.2.7 Quick-DASH Score

Zur Erfragung der Beeinträchtigung im Alltag wurden die Patient*innen gebeten, den Quick-DASH Fragebogen auszufüllen. Die genaue Erläuterung dieses Fragebogens ist in Kapitel 2.2.7 zu finden. Von den insgesamt 30 Patient*innen erreichten 12 Personen als Quick-DASH Endergebnis einen Wert zwischen 0 und 3, 8 Personen zwischen 3,1 und 6 und 4 zwischen 6,1 und 9. Fünf Kinder und Jugendliche haben ein Endergebnis, das größer gleich 9,1 war, erreicht. Hierbei ist erwähnenswert, dass eine Person, als einziger, einen Wert über 18 erreichte - den Wert 22,73, siehe Abbildung 43. Das durchschnittliche Quick-DASH Endergebnis war 5,15 und der Median lag bei 4,55.

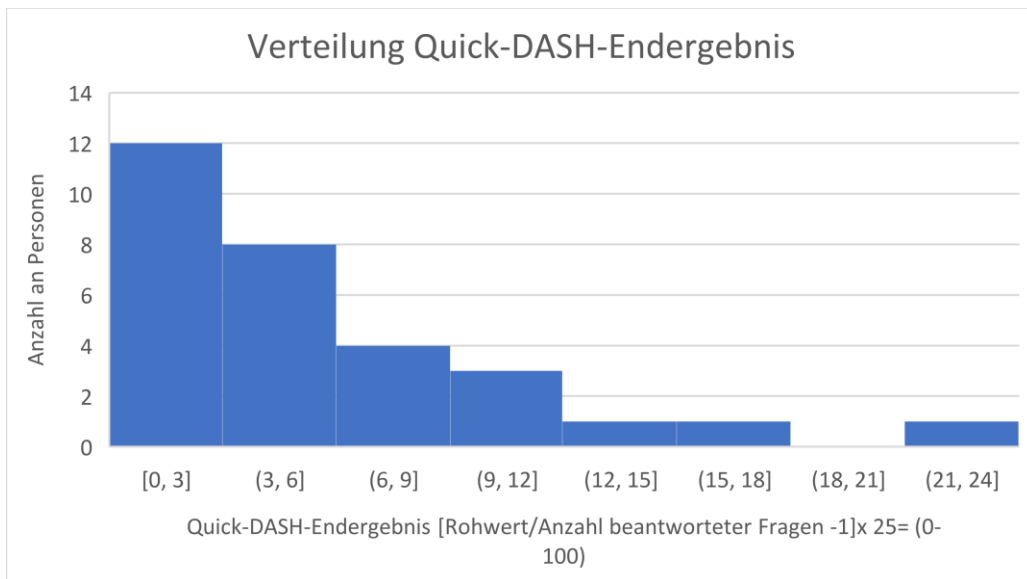


Abbildung 43: Histogramm Quick-DASH Endergebnis

3.3 Korrelationen der Patient*innen-Zufriedenheit

Für die subjektive Zufriedenheit sollte analysiert werden, welche Faktoren einen entsprechenden Einfluss aufweisen könnten, siehe Tabelle 26. Zur Betrachtung wurde ebenfalls jeweils der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet und mit dem t-Test der p-Wert für die Signifikanz ermittelt. Das Quick-DASH-Endergebnis scheint den größten linearen Zusammenhang mit der subjektiven Zufriedenheit aufzuweisen ($r = -0,435$) und war als einziger Faktor statistisch signifikant. Ebenfalls könnten die Angabe von Schmerzen und das Hoffmann-Tinel-Zeichen einen mittleren, sowie einige weitere Faktoren einen geringen Zusammenhang aufweisen, jedoch waren diese im Zuge der Untersuchung nicht statistisch signifikant.

Faktoren für Ergebnis - Zufriedenheit	r Pearson	p zwei- seitiger t-Test	Stärke Korrelation	Signifikant (5%)
Kälteempfindlichkeit	-0,2098	0,2658	gering	nein
Schmerzen	-0,3176	0,0872	mittel	nein
Sensibilität normal	0,2398	0,2019	gering	nein
Narbenbeurteilung Vancouver Gesamtpunkteanzahl	-0,0196	0,9181	keiner	nein
Dauer bis Normalisierung [Monate]	0,1244	0,5203	gering	nein
Verhältnis Dynamometer Griffkraft nach Händigkeit	-0,1925	0,317	gering	nein
Mittelwert Verhältnis Griffkraft nach Händigkeit & Verletzung	-0,0514	0,7875	keiner	nein
Differenz Mittelwert zum Griffkraftverhältnis nach Händigkeit & Verletzung	0,1965	0,3068	gering	nein
Hoffmann-Tinel-Zeichen	-0,3366	0,0689	mittel	nein
Quick-DASH-Endergebnis	-0,435	0,0163	mittel	ja
Betroffene Handseite	0,16	0,3985	gering	nein

Tabelle 26: Korrelation nach Pearson der Faktoren für die Ergebniszufriedenheit

Da der Zusammenhang auch nichtlinear sein kann, wurde die Analyse außerdem mit dem Spearman Korrelationskoeffizient wiederholt, der etwas allgemeiner die Monotonie betrachtet. Dabei ergaben sich sogar drei Faktoren mit mittlerem Zusammenhang, welche eine statistische Signifikanz aufwiesen: das Quick-DASH-Endergebnis erneut mit dem höchsten Wert, gefolgt von der Sensibilität und dem Hoffmann-Tinel-Zeichen, siehe Tabelle 27.

Faktoren für Ergebnis-Zufriedenheit	r Spearman	p zwei-seitiger t-Test	Stärke Korrelation	Signifikant (5%)
Kälteempfindlichkeit	-0,1549	0,4137	gering	nein
Schmerzen	-0,2894	0,1209	gering	nein
Sensibilität normal	0,3982	0,0293	mittel	ja
Narbenbeurteilung Vancouver Gesamtpunkteanzahl	0,0938	0,6219	keiner	nein
Dauer bis Normalisierung [Monate]	0,1283	0,507	gering	nein
Verhältnis Dynamometer Griffkraft nach Händigkeit	-0,1804	0,3489	gering	nein
Mittelwert Verhältnis Griffkraft nach Händigkeit & Verletzung	-0,0489	0,7974	keiner	nein
Differenz Mittelwert zum Griffkraftverhältnis nach Händigkeit & Verletzung	0,2108	0,2724	gering	nein
Hoffmann-Tinel-Zeichen	-0,3793	0,0387	mittel	ja
Quick-DASH-Endergebnis	-0,4629	0,01	mittel	ja
Betroffene Handseite	0,1638	0,3872	gering	nein

Tabelle 27: Korrelation nach Spearman der Faktoren für die Ergebniszufriedenheit

4 Diskussion

Zum Thema „Outcome peripherer Nervenverletzungen der Hand bei Kindern und Jugendlichen“ ist die Studienlage relativ rar. Einige wenige Autor*innen haben dieses Thema aufgegriffen [8, 23–27], die meisten Studien darüber beschreiben jedoch Erwachsene und nicht spezifisch die pädiatrische Population, wie z.B. [23, 28]. Um eine einheitliche Beurteilung der Sensorik und Motorik zu gewährleisten, wurden in der vorliegenden Studie unterschiedliche Tests zur Hilfe gezogen, die größtenteils auch in anderen Studien als Tools verwendet wurden [8, 24–31]. Großen Wert wurde auch auf die subjektive Einschätzung und Zufriedenheit der Patient*innen gelegt, die mit den gemessenen Daten in Relation gebracht wurden, was in dieser Form noch kaum Anwendung in der Literatur gefunden hat.

Das Ziel dieser Arbeit war, das sensorische und motorische Outcome bei Kindern und Jugendlichen mit Nervenverletzungen an der Hand, die an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie der Medizinischen Universität Graz behandelt wurden, auszuwerten und das Langzeitoutcome mithilfe einer Nachuntersuchung aufzuzeigen, um die Wirksamkeit der bisherigen Behandlung darzustellen und gegebenenfalls Verbesserungspotentiale festzustellen. Hierfür wurden im Rahmen der Nachuntersuchung sensorische und motorische Tests, sowie Fragebögen eingesetzt, um dies gut beurteilen zu können. Zusätzlich sind das subjektive Empfinden und deren aufgezeigte Einschränkungen im Alltag in die Auswertung der Studie eingeflossen.

Unter anderem traten beim Verfassen dieser Arbeit die folgenden Schwierigkeiten auf: Es stellte sich als Herausforderung dar, gute Vergleichsstudien zu finden. Bei vielen wurden die gesamten peripheren Nervenverletzungen oder die gesamte obere Extremität betrachtet und der Fokus nicht auf die Hand gesetzt [23, 24, 26, 28, 32, 33]. Ebenfalls wurden die meisten Studien nur an Erwachsenen durchgeführt oder bestanden nur zu einem kleineren Teil aus Kindern. Ungefähr passende Studien wiesen zum Teil einen kleinen Personenumfang auf. Bei Langridge et al. wurde ebenfalls festgestellt, dass es sich um seltene Verletzungen handelt und sich die Suche von hoch qualifizierten Studien mit ausreichender Patient*innenkohorte somit als schwierig darstellt [25]. Obwohl veröffentlichte Studien für die Erwachsenenpopulation vorhanden sind, können diese meist nicht verlässlich für die Kinderpopulation angewandt werden. Im Gegensatz zu vielen anderen zeigt die

Studie das Outcome für Nervenverletzungen an der Hand für eine größere Anzahl an Kindern [25].

4.1 Retrospektive Analyse

4.1.1 Alter, Geschlecht und Patient*innenanzahl

Im Zuge dieser Studie wurden retrospektiv 119 Kinder, darunter 78 (65,5%) männlich und nur 41 (34,5%) weiblich, mit einem Durchschnittsalter zum Verletzungszeitpunkt von 10,3 Jahren mit einer Spanne von 1 bis 17 untersucht. Dies ist im Vergleich zu den unten angeführten Studien ein relativ großes Patient*innenkollektiv. Der höhere Bubenanteil deckt sich mit anderen Studien [23–25]. In der Nachuntersuchung wurden 30 Personen (3 Patient*innen wurden ausgeschlossen, da diese zu jung für die Nachuntersuchung waren), darunter 18 (60%) Buben, mit einem Durchschnittsalter von 10,1 Jahren im Bereich 1 bis 16 eingeschlossen.

Die Studie von Langridge et al. wies eine große Personenanzahl von 87 Patient*innen über eine Durchführungsdauer von 12 Jahren mit einem Alters-Median von 7,06 Jahren und einer Spanne von 0-16 Jahren auf. Der männliche Anteil war mit 69% bzw. 60 Personen höher [25]. Der Umfang bei Fleurette et al., als ebenfalls grob vergleichbare Studie, war mit 11 Teilnehmern deutlich geringer mit einem Durchschnittsalter von 9,7 Jahren und einer Spanne von 5-15 Jahren. Dabei überwogen ebenfalls wieder Buben mit 73% bzw. 8 Personen [24]. Bei Uzun et al. wurden 171 Kinder mit Durchschnittsalter von 7,88 Jahren mit einer Spanne von 0 bis 16 untersucht, darunter 111 (64,9%) Buben, wobei nur 134 (78,4%) der Verletzungen die obere Extremität betraf [23]. Bei Senes et al. wurde festgestellt, dass die Schnittverletzungen bei 49 betroffenen Kindern mit einem Durchschnittsalter von 8,8 Jahren mit einer Spanne von 4-14 Jahren aufgetreten sind. Insgesamt wurden 105 Kinder im Alter von 1 Monat bis 14 Jahren innerhalb von 14 Jahren betrachtet [26].

Fleurette et al. beschreibt ebenfalls den Anteil von Verletzungen auf der dominanten Hand mit 7 von 11 Personen bzw. 64%, identisch zum Verhältnis der betroffenen Handseite [24].

4.1.2 Ursache

Nervenverletzungen an der Hand entstanden im Zuge dieser Untersuchung meist durch Unfälle mit Glas (36,1%) und anderen scharfen Gegenständen (Küchenmesser/Schere 23,5%, Werkzeuge 17,6%, Stanleymesser 5,9%), wodurch dies eine Gesamtsumme von 83,1% ergibt. Selten (0,8%) war ein Verkehrsunfall für eine Nervendurchtrennung verantwortlich. Bei Fleurette et al. war der Hauptverletzungsmechanismus deutlich das Glas, mit 10 von 11 Patient*innen (90,9%). Die eine übrige Person erlangte die Durchtrennung durch einen Verkehrsunfall [24]. Auch bei Langridge et al. waren scharfe Gegenstände, wie gebrochenes Glas und Messer, mit 94,3% die häufigste Ursache, gefolgt von Quetschungsverletzungen mit 4,6% [25]. Andere Studien, wie [26] und [23], bezogen sich auf die gesamte obere Extremität. Hierbei standen Verletzungen mit scharfen Gegenständen mit 48% an zweiter Stelle [26], wie auch bei Uzun et al. mit 12,8% und Verkehrsunfälle an dritter Stelle mit 15,7%. Diese Studie kam zum Ergebnis, dass ein Großteil der aufgetretenen Verletzungen mit präventiven Maßnahmen wie Bewusstseinsbildung vermeidbar wären [23]. Kinder könnten z. B. bereits altersgerecht über Risiken im Umgang mit scharfen Gegenständen sensibilisiert werden. Im Haushalt sollten Sicherheitsmaßnahmen für die Aufbewahrung getroffen werden, indem z. B. Messer oder scharfe Utensilien in der Küche außerhalb der Reichweite von Kindern aufbewahrt werden. Spielzeuge sollten auf scharfe Kanten überprüft werden.

4.1.3 Verzögerung zur OP & betroffene Nerven

Langridge et al. verzeichneten im Durchschnitt eine Verzögerung zur OP von 2,3 Tagen mit einer Spanne von 0-8 Tagen. Das Timing sei abhängig von dem klinischen Erscheinungsbild des/der Patient*in [25]. Manche Studien schlugen eine Behandlung innerhalb von 24 Stunden vor, während andere keinen signifikanten Zusammenhang aufzeigen konnten. Jedoch sei laut dieser Studie [25] eine Reaktion innerhalb von 48 Stunden ausreichend für eine optimale sensomotorische Regeneration. Das deutet darauf hin, dass eine direkte Behandlung beim Auftreten in der Nacht in den meisten Fällen nicht unmittelbar erforderlich wäre.

Am häufigsten betroffen waren Fingernerven mit 79,3%, gefolgt von N. ulnaris (6,9%), N. medianus (5,7%) und N. radialis (4,6%). Bei 9,2% der Patient*innen war

mehr als ein Nerv verletzt [25]. Von der Häufigkeitsverteilung konnte bei dieser Arbeit ein ähnliches Verhältnis beobachtet werden: Die Fingernerven ergaben in Summe 86,6%, der N. medianus 8,7%, der N. ulnaris 3,1% und N. radialis 1,6%. Der Median der Verzögerung zur OP beträgt einen Tag. Der Durchschnitt lag mit 3,1 Tagen deutlich über dem der Studie, jedoch verzerrte ein Ausreißer von 150 Tagen stark das Ergebnis. Ohne dem Ausreißer lag die durchschnittliche Verzögerung bei 1,9 Tagen und damit unter der Vergleichsstudie (Langridge et al. [25]). In dieser Studie wurden keine statistischen Tests dazu durchgeführt, jedoch aufgrund der ähnlichen durchschnittlichen Verzögerung, spricht dies für keinen Benefit, dass Nervenverletzungen akut im Nachtdienst operiert werden müssen.

4.2 Nachuntersuchung

Die subjektive Empfindung der Patient*innen hinsichtlich des Outcomes und dessen Zufriedenheit wurde durchschnittlich, mit 88,1, als gut bewertet. Der Median ergab 95 von 100. Dieses Ergebnis korreliert auch mit dem Ergebnis des Quick-DASH Fragebogens, der keine oder eine sehr geringe Beeinträchtigung im Alltag aufzeigt. 40% aller Patient*innen hatten keine Einschränkungen bei den täglichen Tätigkeiten, die übrigen gaben Schwierigkeiten bei der Sensibilität oder Motorik oder auch Schmerzen bei gewissen einzelnen Tätigkeiten an. Bei Fleurette et al. lag der Quick-DASH Wert bei 5,99/100 [24]. Das lässt darauf schließen, dass mit der bisherigen Behandlung durchaus zufriedenstellende Ergebnisse erreicht wurden.

Bei Fleurette et al. konnte bei der statischen Zwei-Punkt Diskrimination bei 9 Patient*innen (82%) ein normales Ergebnis unter 6 mm erreicht werden und bei 2 Patient*innen (18%) ein mittelmäßiges zwischen 6 und 10 mm festgestellt werden [24]. Beim Semmes-Weinstein-Monofilament Test trat in 8 Fällen (73%) ein normales Ergebnis mit dem Wert 2,83 mm und in 3 (27%) eine leicht herabgesetzte Empfindlichkeit mit 3,61 mm auf [24]. Im Zuge der Arbeit wurde bei der statischen Zwei-Punkt Diskrimination ebenfalls ähnlich bei 79,6% ein normales, bei 18,5% ein mittelmäßiges und bei 1,9% ein stark beeinträchtigtes Ergebnis festgestellt. Dagegen trat beim Semmes-Weinstein-Monofilament Test ein größerer Unterschied auf, da nur 44,4% eine normale, 40,7% eine herabgesetzte Empfindlichkeit und

11,1% eine herabgesetzte Schutzsensibilität, sowie bei 3,7% ein Verlust dieser aufzeigten. Bei Vahvanen et al. wiesen etwas weniger, 57,9%, ein normales, 36,8% eine mittelmäßige bis starke Beeinträchtigung und 5,3% ein schlechteres Ergebnis auf [27]. Mithilfe dieser Tests konnte die Sensibilität objektiviert werden und zeigen ein sehr gutes Langzeitoutcome hinsichtlich der Sensibilität.

4.2.1 Motorik

Die Beweglichkeit in Grad wurde mit Werten in der Literatur [17] verglichen. Dies ergab eine Beweglichkeit der MCP-Gelenke, die grob dem erwarteten Normwert von 90° entsprochen hat. Bei den PIP-Gelenken lag der Mittelwert auch bei der gesunden Hand im Schnitt rund 9° unter dem Normwert von 110°. Die Beweglichkeit konnte generell als gut eingestuft werden, da sowohl bei MCP und PIP kein signifikanter Unterschied zwischen gesunder und betroffener Hand festgestellt werden konnte. Bei den DIP-Gelenken konnte der statistisch signifikanteste Unterschied beobachtet werden, wobei der Mittelwert der verletzten Hand 6,18° unter der gesunden und 8,35° unter dem Normwert lag. Auch beim IP-Gelenk konnte ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte von 11,54° festgestellt werden. Bei der Betrachtung der Daten ohne Zusatzverletzungen konnte kein signifikanter Unterschied aufgezeigt werden, wobei die Stichproben mit 9 bzw. 10 jedoch relativ klein waren. Mit Zusatzverletzungen waren ebenfalls DIP & IP signifikant. Zusätzlich ist aber anzumerken, dass der Unterschied bei PIP mit 6,97° zwischen den Mittelwerten der gesunden zur betroffenen Hand größer ausfiel und mit $p=0,054$ nur knapp die Signifikanz verpasste. Daraus könnte geschlossen werden, dass bei Patient*innen mit Sehnenverletzungen häufiger eine Beweglichkeitseinschränkung zurückgeblieben ist als bei Patient*innen ohne Zusatzverletzungen. In dieser Form sind keine Daten in Vergleichsstudien verfügbar. Weiters kann man die Frage stellen, ob solche Unterschiede trotz der statistischen Signifikanz klinisch relevant sind.

Hinsichtlich der Motorik - Dynamometermessung - ergab dies bei Fleurette et al. nur bei 2 von 11 Patient*innen bzw. 18,2 % eine Reduktion der Griffkraft um 30% und 80% [24]. Diese Studienergebnisse sind nicht mit den Werten dieser Arbeit

vergleichbar, da hier speziell auf die Verletzung und die Händigkeit geachtet wurde. So erreichte man bei Verletzungen der dominanten Hand im Schnitt eine um 4,8% höhere Griffkraft als bei der nicht dominanten Seite und bei Verletzungen der nicht dominanten Hand durchschnittlich um 14,5% niedrigere Werte als bei der dominanten. Ohne Referenzwerte bei Kindern unter 10 Jahren ist es schwierig, daraus eine Schlussfolgerung zu ziehen.

4.3 Limitationen

Die Limitationen dieser Arbeit ziehen sich über wenige Teilnehmer*innen bei der Nachuntersuchung, somit oft dem Fehlen signifikanter statistischer Ergebnisse, bis hin zur, wie in Kaufman et al. beschrieben, schwierigen Einschätzung der altersabhängigen Aussagekraft von Tests bzw. Kooperation der Kinder [8]. Besonders die subjektiven Teile der Untersuchung könnten stark von der Kooperation abhängen und das Ergebnis beeinflussen, wobei dieser Einfluss nicht abgeschätzt werden konnte.

Die Beurteilung der Motorik stellte sich in dieser Arbeit als besonders schwierig dar, da keine Normwerte für die Kinder in unterschiedlichem Alter verfügbar waren und auch nicht mit dem Durchschnitt der gesammelten Daten durch die großen Altersunterschiede gearbeitet werden konnte. Es konnten nur die Werte zwischen gesunder und betroffener Hand, unter der Berücksichtigung der Händigkeit als zusätzliche Hürde, betrachtet werden.

Der Quick-DASH Fragebogen ist jedoch nur bedingt aussagekräftig, da sich dieser immer auf die gesamte obere Extremität bezieht und nicht spezifisch auf die Hand. Außerdem wird nur eine geraume Zeitspanne, die letzte Woche, abgefragt, dies bildet keinen Gesamtüberblick über den Verlauf der Symptomatik. Die größte Limitation des Quick-DASH Fragebogens ist jedoch, dass die gestellten Fragen Alltagssituationen von Erwachsenen abfragen und diese für Kinder oft nicht so angewendet werden können – dafür wäre ein speziell für Kinder entwickelter Fragebogen notwendig.

4.4 Conclusio

Mithilfe dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die bisherige Behandlung und das daraus resultierende Outcome von peripheren Nervenverletzungen an der Hand am Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie gute Endergebnisse, auch im internationalen Vergleich, erzielt hat. Die große subjektive Patient*innenzufriedenheit muss ebenfalls hervorgehoben werden, jedoch sind bei einigen noch geringe Einschränkungen bei Alltagstätigkeiten vorhanden. Trotz all der Ergebnisse hat die Studie einige Limitationen, wie eine geringe Teilnehmer*innenzahl an der Nachuntersuchung, schwierige Beurteilbarkeit der Aussagekraft von Tests aufgrund von teilweise jungem Alter der Patient*innen oder auch das Fehlen von Vergleichswerten. Dennoch zeigt die Studie wichtige Ergebnisse für die posttraumatische Behandlung von Nervenverletzungen an der Hand. In dieser Studie konnte das postoperative Outcome, sowie dieses in Relation zur subjektiven Einschätzung der Patient*innen aufbereitet und mit ähnlichen Studien verglichen werden.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Moore K, Persaud TVN, Torchia MG, Viebahn C, Elsberger S. Embryologie: Entwicklungsstadien - Frühentwicklung - Organogenese - Klinik. 6th ed. München: Elsevier 2013.
- [2] Pera F, Anderhuber F, Waldeyer AJ, Streicher J. Waldeyer: Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band (Anatomie des Menschen). DE GRUYTER 2012.
- [3] Paulsen F, Waschke J, editors. Sobotta - Atlas der Anatomie. 25. Auflage. München: Elsevier; 2022.
- [4] Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J, Maio G. Duale Reihe Anatomie. 5. aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme 2020.
- [5] Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag 2022.
- [6] Schmeißer MJ, Schumann S. Kurzlehrbuch Neuroanatomie. 2. vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag 2020.
- [7] Trepel M, Dalkowski K. Neuroanatomie: Struktur und Funktion. 7th ed. Philadelphia: Urban & Fischer Verlag GmbH & Co. KG 2017.
- [8] Kaufman Y, Cole P, Hollier L. Peripheral nerve injuries of the pediatric hand: issues in diagnosis and management. *The Journal of craniofacial surgery* 2009; 20(4): 1011–5
[<https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e3181abb116>][PMID: 19553862]
- [9] Jain V, Gupta J, Gupta N, Jain P. ALTERATION IN GENE EXPRESSION OF TRANSFORMING GROWTH FACTOR- B FOLLOWING TREATMENT OF HYPERTROPHIC BURN SCARS WITH THREE DIFFERENT THERAPEUTIC MODALITIES. *IJMBS* 2019; 3(7)
[<https://doi.org/10.32553/ijmbs.v3i7.403>]
- [10] Andes M. Oberflächensensibilität erfassen - Assessment: Zwei-Punkt-Diskrimination. *ergopraxis* 2020; 13(11/12): 32–3
[<https://doi.org/10.1055/a-1184-9432>]
- [11] Physiopedia. Weber Two-Point Discrimination Test; 2021 [cited 2023 July 28] Available from: URL: https://www.physio-pedia.com/Weber_Two-Point_Discrimination_Test.

- [12] Schormann N. Spitzengefühl beweisen – Semmes-Weinstein Monofilament Test. *physiopraxis* 2020; 18(02): 38–9
[<https://doi.org/10.1055/a-1098-3859>]
- [13] Reuter I. Lexikon Orthopädie und Unfallchirurgie: Hoffmann-Tinel-Zeichen; 2017 [cited 2023 July 28] Available from: URL: <https://www.lexikon-orthopaedie.com/pdx.pl?dv=0&id=00637>.
- [14] Barrios C, Pablos J de. Surgical management of nerve injuries of the upper extremity in children: a 15-year survey. *J Pediatr Orthop* 1991; 11(5): 641–5
[PMID: 1918353]
- [15] Thormann U, Hentsch S. Neutral-Null-Methode; 2022 [cited 2023 July 28] Available from: URL: <https://www.pschyrembel.de/Neutral-Null-Methode/K0F6J>.
- [16] Zingel F. Neutral-Null-Methode – Ein Klassiker. *ergopraxis* 2018; 11(04): 32–3
[<https://doi.org/10.1055/a-0530-4454>]
- [17] Simon H. 8 Obere Extremität (I). In: Simon H, editor. *Lehrbuch Chiropraktik*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2019.
- [18] Al-Malat T, Hingmann S, Homann H-H. Klinische Untersuchung der Hand. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2019; 14(01): 23–39
[<https://doi.org/10.1055/a-0585-0404>]
- [19] Goetz F. 5 Handgelenk, Hand und Finger. In: Buckup J, Hoffmann R, editors. *Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2019.
- [20] Thiel S. Hand_Dynamometer_Test [cited 2023 July 28] Available from: URL:
https://cfc.charite.de/fileadmin/user_upload/microsites/kompetenzzentren/cfc/Landing_Page/Hand_Dynamometer_Test.pdf.
- [21] Germann G, Harth A, Wind G, Demir E. Scoring DASH German: Institute for Work & Health 2006-2020; 2006 [cited 2023 July 31] Available from: URL:
https://dash.iwh.on.ca/sites/dash/public/translations/Scoring_DASH_German.pdf.
- [22] Germann G, Harth A, Wind G, Demir E. The quick DASH: Institute for Work & Health 2006-2020; 2006 [cited 2023 July 28] Available from: URL:

<https://dash.iwh.on.ca/available->

[translations?field_language_tid=German&field_language_tid=German.](#)

- [23] Uzun N, Tanriverdi T, Savrun FK, *et al.* Traumatic peripheral nerve injuries: demographic and electrophysiologic findings of 802 patients from a developing country. *J Clin Neuromuscul Dis* 2006; 7(3): 97–103
[<https://doi.org/10.1097/01.cnd.0000203641.38887.63>][PMID: 19078793]
- [24] Fleurette J, Gaume M, Tienda M de, Dana C, Pannier S. Peripheral nerve injuries of the upper extremity in a pediatric population: Outcomes and prognostic factors. *Hand Surg Rehabil* 2022; 41(4): 481–6
[<https://doi.org/10.1016/j.hansur.2022.04.003>][PMID: 35483591]
- [25] Langridge B, Griffin MF, Akhavani MA, Butler PE. Long-Term Outcomes following Pediatric Peripheral Nerve Injury Repair. *J Hand Microsurg* 2020; 12(1): 27–31
[<https://doi.org/10.1055/s-0039-1692928>][PMID: 32280178]
- [26] Senes FM, Campus R, Becchetti F, Catena N. Upper limb nerve injuries in developmental age. *Microsurgery* 2009; 29(7): 529–35
[<https://doi.org/10.1002/micr.20660>][PMID: 19412931]
- [27] Vahvanen V, Gripenberg L, Nuutinen P. Peripheral nerve injuries of the hand in children. A follow-up study of 38 patients. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1981; 15(1): 49–51
[<https://doi.org/10.3109/02844318109103411>][PMID: 7268312]
- [28] Hundepool CA, Ultee J, Nijhuis THJ, Houpt P, Hovius SER. Prognostic factors for outcome after median, ulnar, and combined median-ulnar nerve injuries: a prospective study. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2015; 68(1): 1–8
[<https://doi.org/10.1016/j.bjps.2014.09.043>][PMID: 25448370]
- [29] Ho ES. Evaluation of pediatric upper extremity peripheral nerve injuries. *J Hand Ther* 2015; 28(2): 135-42; quiz 143
[<https://doi.org/10.1016/j.jht.2014.09.003>][PMID: 25449719]
- [30] Tajima T, Imai H. Results of median nerve repair in children. *Microsurgery* 1989; 10(2): 145–6
[<https://doi.org/10.1002/micr.1920100217>][PMID: 2770516]

- [31] Strickland JW. Bone, nerve, and tendon injuries of the hand in children. *Pediatr Clin North Am* 1975; 22(2): 451–63
[[https://doi.org/10.1016/s0031-3955\(16\)33145-5](https://doi.org/10.1016/s0031-3955(16)33145-5)][PMID: 1124225]
- [32] Barrios C, Pablos J de. Surgical Management of Nerve Injuries of the Upper Extremity in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 1991; 11(5): 641–5
[<https://doi.org/10.1097/01241398-199109000-00015>]
- [33] Birch R, Achan P. Peripheral nerve repairs and their results in children. *Hand Clin* 2000; 16(4): 579–95
[PMID: 11117049]

6 Anhang

Anhang 1: Normwerttabelle der Handkraft

AGE	MALE			FEMALE		
	Weak	Normal	Strong	Weak	Normal	Strong
10–11	<12.6	12.6–22.4	>22.4	<11.8	11.8–21.6	>21.6
12–13	<19.4	19.4–31.2	>31.2	<14.6	14.6–24.4	>24.4
14–15	<28.5	28.5–44.3	>44.3	<15.5	15.5–27.3	>27.3
16–17	<32.6	32.6–52.4	>52.4	<17.2	17.2–29.0	>29.0
18–19	<35.7	35.7–55.5	>55.5	<19.2	19.2–31.0	>31.0
20–24	<36.8	36.8–56.6	>56.6	<21.5	21.5–35.3	>35.3
25–29	<37.7	37.7–57.5	>57.5	<25.6	25.6–41.4	>41.4
30–34	<36.0	36.0–55.8	>55.8	<21.5	21.5–35.3	>35.3
35–39	<35.8	35.8–55.6	>55.6	<20.3	20.3–34.1	>34.1
40–44	<35.5	35.5–55.3	>55.3	<18.9	18.9–32.7	>32.7
45–49	<34.7	34.7–54.5	>54.5	<18.6	18.6–32.4	>32.4
50–54	<32.9	32.9–50.7	>50.7	<18.1	18.1–31.9	>31.9
55–59	<30.7	30.7–48.5	>48.5	<17.7	17.7–31.5	>31.5
60–64	<30.2	30.2–48.0	>48.0	<17.2	17.2–31.0	>31.0
65–69	<28.2	28.2–44.0	>44.0	<15.4	15.4–27.2	>27.2
70–99	<21.3	21.3–35.1	>35.1	<14.7	14.7–24.5	>24.5

übernommen aus [20]

Anhang 2: Quick DASH Fragebogen (Deutsche Version)

Download von

https://dash.iwh.on.ca/available-translations?field_language_tid=German&field_language_tid=German



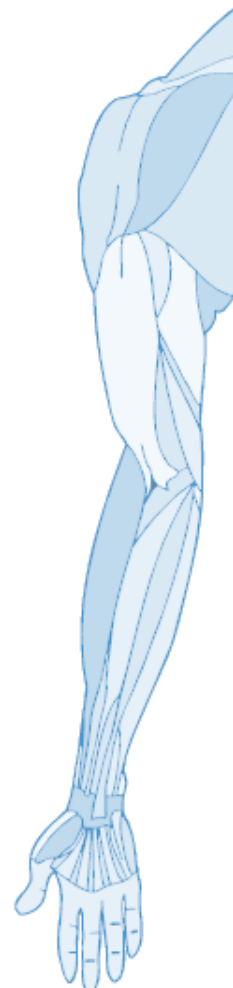
ANLEITUNG

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

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

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

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



© Institute for Work & Health 2006. All rights reserved.

Deutsche Version: Günter Germann, Angela Harth, Gerhard Wind, Erhan Demir.

QuickDASH

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

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schwere Hausarbeit (z. B. Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
3. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
4. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
5. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
6. Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5

	Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
7. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der <u>vergangenen Woche</u> beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	1	2	3	4	5

	Überhaupt nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
8. Waren Sie in der <u>vergangenen Woche</u> durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	1	2	3	4	5

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

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

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
11. Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der <u>letzten Woche</u> aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)	1	2	3	4	5

QuickDASH Wert für Behinderung/Symptome = $\left(\left[\frac{(\text{Summe der } n \text{ Antwortpunkte})}{n} \right] - 1 \right) \times 25$ wobei n der Anzahl der beantworteten Fragen entspricht

Wurden mehr als 1 Frage nicht beantwortet, so darf ein QuickDASH Wert nicht berechnet werden.

ARBEITS- UND BERUFS-MODUL (OPTIONAL)

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

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

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

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

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

SPORT- UND MUSIK-MODUL (OPTIONAL)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihres Schulter-, Arm- oder Handproblems auf das Spielen Ihres Musikinstrumentes oder auf das Ausüben Ihres Sports oder auf beides. Wenn Sie mehr als ein Instrument spielen oder mehr als eine Sportart ausüben (oder beides), so beantworten Sie bitte die Fragen in bezug auf das Instrument oder die Sportart, die für Sie am wichtigsten ist.

Bitte geben Sie dieses Instrument bzw. diese Sportart hier an: _____

Ich treibe keinen Sport oder spiele kein Instrument (Sie können diesen Bereich auslassen).

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

Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
16. In der üblichen Art und Weise Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
17. Aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
18. So gut Ihr Musikinstrument zu spielen oder Sport zu treiben wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
19. Die bisher gewohnte Zeit mit dem Spielen Ihres Musikinstrumentes oder mit Sporttreiben zu verbringen?	1	2	3	4	5

Auswertung der optionalen Module: Die Antwortpunkte der Fragen werden summiert; durch 4 (Anzahl der Fragen) dividiert; 1 wird subtrahiert und danach mit 25 multipliziert.

Für die Auswertung eines optionalen Moduls dürfen keine Antworten fehlen.