

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

Einflussfaktoren auf die Erfolgsrate von  
Fingerreplantationen und Beurteilung der funktionellen  
Ergebnisse nach erfolgreicher Fingerreplantation im  
Vergleich zur Amputation

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
Tübingen

vorgelegt von

Bott, geb. Hauch, Sarah Mirjam

2020

Dekan:

Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter:

Privatdozentin Dr. T. Wahler

2. Berichterstatter:

Professor Dr. N. Wülker

Tag der Disputation: 27.07.2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Historischer Rückblick der Replantationschirurgie	1
1.2 Fingeramputationsverletzungen	2
1.2.1 Klassifikation anhand des Amputationsmechanismus	2
1.2.2 Klassifikation anhand der Amputationshöhe	3
1.2.3 Präoperatives Management: Erstversorgung	7
1.2.4 Intraoperatives Management	9
1.2.5 Knochenstabilisation	9
1.2.6 Sehnenversorgung	10
1.2.7 Gefäßversorgung	10
1.2.8 Nervenversorgung	11
1.3 Ziel der Studie und Fragestellung	12
<b>2 Patienten und Methoden</b>	<b>13</b>
2.1 Patienten	13
2.1.1 Klinischer Verlauf	14
2.2 Studiendesign und Zielparameter	16
2.2.1 Studiendesign und Studienpopulation	16
2.2.2 Ethische Aspekte der Rekrutierung	17
2.2.3 Zielparameter	18
2.3 Untersuchungsparameter	18
2.3.1 Neutralnullmethode mittels Goniometer	18
2.3.2 Fingernageltischabstand (FNTA) und Fingerkuppenhohlhandabstand (FKHA)	20
2.4 Überprüfung der Sensibilität	20
2.4.1 Rolyan Semmes-Weinstein Monofilamentfäden Test (SWM-Test)	21
2.4.2 Zwei-Punkte-Diskrimination (2-PD)	22
2.5 DASH-Fragebogen und DASH-Score	23
2.6 Beurteilung der Kraft	24
2.6.1 Dynamometer	24

2.6.2	Pinchmeter	25
2.7	Schmerzempfinden mithilfe der numerischen Rangskala (NRS)	26
2.8	Datenauswertung, Statistik und Aufbewahrung	27
2.8.1	Software zur Datenauswertung	27
2.8.2	Aufbewahrung der Studiendaten	28
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>29</b>
3.1	Patienten	29
3.1.1	Einfluss relevanter Parameter auf das Replantatüberleben	29
3.1.2	Überleben anhand der Fingerverteilung	31
3.1.3	Überleben anhand der Amputationshöhe nach Tamai	33
3.1.4	Überleben anhand des Verletzungsmechanismus	36
3.1.5	Intraoperative Parameter	38
3.1.6	Postoperative Parameter	39
3.2	Klinische Nachuntersuchung	41
3.2.1	Fingerverteilung der Nachuntersuchung	41
3.2.2	Bewegungsumfang durch FKHA	42
3.2.3	Bewegungsumfang durch FNTA	43
3.2.4	Bewegungsumfang der Fingergelenke mittels Goniometer	43
3.3	Sensibilität	44
3.3.1	Rolyan Semmes-Weinstein-Monofilamentfäden-Test	44
3.3.2	Zwei-Punkte-Diskrimination (2-PD)	46
3.4	Kraftmessung	48
3.5	DASH-Score	51
3.6	NRS	52
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>55</b>
4.1	Replantatüberleben und Verletzungsmechanismus	55
4.2	Amputationshöhe	58
4.3	Risikofaktoren für Replantatversagen	58
4.4	Funktionelle Ergebnisse und Bewegungsumfang	59
4.5	Regeneration der Sensibilität	61
4.6	Kraftmessung mittels Dynamometer und Pinchmeter	63
4.7	DASH-Score	64
4.8	NRS	64
4.9	Limitationen der Studie	65

<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>67</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b>	<b>69</b>
<b>Erklärung</b>	<b>77</b>
<b>Danksagung</b>	<b>78</b>

## Abkürzungsverzeichnis

NRS	numerische Rangskala
MCP	Metacarpophalangealgelenk
DASH	Disability of the arm shoulder and hand
FKHA	Fingerkuppenhohlhandabstand
FNTA	Fingernageltischabstand
DIP	distal interphalangeal
PIP	proximal interphalangeal
IE	internationale Einheiten
PAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
P1	Grundglied
P2	Mittelglied
P3	Endglied
D1	Daumen
D2	Zeigefinger
D3	Mittelfinger
D4	Ringfinger
D5	Kleinfinger
n	Anzahl
2-PD	Zwei-Punkte-Diskrimination
SWM-Test	Rolyan Semmes-Weinstein Monofilamentfäden Test
FDS	Flexor digitorum superficialis
EDS	Extensor digitorum superficialis
Nervus	Nerv
KHK	Koronare Herzkrankheit
CRPS	komplexes regionales Schmerzsyndrom
R	Replantationsgruppe
N	Nachamputationsgruppe
S	Stumpfbildungsgruppe
IP	Interphalangealgelenk
DGG	Daumengrundgelenk
BGU	Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik

DLT	(diminished light touch) vermindertes Berührungsempfinden
DPS	(diminish protective sensation) verminderte Schutzsensibilität
LPS	(loss of protective sensation) aufgehobene Schutzfunktion
KSV	Kreissägen Verletzung
Q	Quetschverletzung
G	glatte Verletzung
A	Avulsionsverletzung

# 1 Einleitung

## 1.1 Historischer Rückblick der Replantationschirurgie

1962 wurde erstmalig in der Geschichte eine erfolgreiche Armreplantation durch die Arbeitsgruppe von Malt durchgeführt [1-3], im Juli 1965 gelang es Tamai und Komatsu et al. mikrochirurgisch einen komplett abgetrennten Daumen zu replantieren [4-8]. Mittlerweile hat die Replantationschirurgie global an Bedeutung zugenommen und es wurden standardisierte Replantationstechniken zur Versorgung von Fingeramputationsverletzungen entwickelt [2,9-13]. Der Erfolg einer Fingerreplantation wird jedoch schon lange nicht mehr nur anhand des Transplantatüberlebens gemessen, sondern vielmehr durch die Wiederherstellung der Funktionalität [4,7,14,15] und Sensibilität [16-22]. Fingerverletzungen können unterteilt werden in totale und subtotale Amputationen [16,23]. In der Klassifikation nach Biemer werden Fingeramputationsverletzungen unterteilt in subtotale und totale Amputationsverletzungen. Bei der totalen Amputation besteht keine verbleibende Verbindung zum Körperteil. Die Amputationshöhe ist, mit Ausnahme von Avulsionsverletzungen, gekennzeichnet als die Höhe der Knochendurchtrennung. Bei Avulsionsverletzungen liegt die Amputationshöhe auf Höhe des Hautweichteilmantelabrisses. Subtotale Amputationen sind dadurch gekennzeichnet, dass die vaskuläre Versorgung unterbrochen und der größte Anteil der funktionellen Strukturen durchtrennt ist [23]. Um eine Wiederherstellung der Handfunktion zu erreichen, müssen Amputationsverletzungen stets notfallmäßig operativ versorgt werden. Da der Daumen für 40% Handfunktion verantwortlich ist [19,24] und hohe Überlebensraten beschrieben wurden, ist eine Replantationsindikation des Daumens stets indiziert [19,24-26]. Kontrovers wird das Thema Replantation oder Stumpfbildung besonders in Bezug auf die Replantation der Langfinger diskutiert. Nicht in allen Fällen ist eine Replantation indiziert, häufig ist eine Stumpfbildung sinnvoller. Als wesentliche Kontraindikationen für eine Replantation gelten stark kontaminierte Wunden, sowie schwere Quetschverletzungen mit Gewebeverlust [10]. Laut Soucacos 2001 stellen Amputationsverletzungen der proximalen Phalanx, des proximalen Interphalangealgelenk (PIPJ) sowie Quetsch-



und Avulsionsverletzungen bei Einfingeramputation die Kontraindikationen eines Replantationsversuches dar [11]. Als relative Kontraindikationen gelten Patienten mit Risikofaktoren wie einer Koronaren Herzkrankheit (KHK), schlecht eingestelltem Diabetes mellitus, Arteriosklerose, Rauchen und ein schlechter psychiatrischer Zustand [27]. In vorherigen Studien wurde gezeigt, dass unterschiedliche Faktoren, wie der Verletzungsmechanismus, die Höhe der Verletzung, das Alter der Patienten, als auch die Operationstechnik Einfluss auf das Replantatüberleben haben können [3,19,24-26,28-31]. Soucacos et al. beschreiben drei Hauptindikationen für Replantationsversuche. Die erste Indikation ist gegeben, wenn sich die Amputation distal des Ansatzes der Sehne des Flexor digitorum superficialis (FDS) befindet. Befindet sich die Amputation auf Höhe der distalen Phalanx ist die zweite Hauptindikation erfüllt. Ringavulsionsverletzungen Typ II und IIIa stellen die dritte Indikation dar. Gekennzeichnet sind diese durch eine inadäquate Blutversorgung. Bei IIIa Verletzungen befindet sich der Hautweichteilabriss auf Höhe der proximalen Phalanx, die Amputation jedoch auf Höhe des distalen Interphalangealgelenkes (DIP-Gelenk). Bei beiden Verletzungsarten ist die FDS intakt, weshalb die Beweglichkeit nach erfolgreicher Replantation gewährleistet ist [9,11].

## **1.2 Fingeramputationsverletzungen**

### **1.2.1 Klassifikation anhand des Amputationsmechanismus**

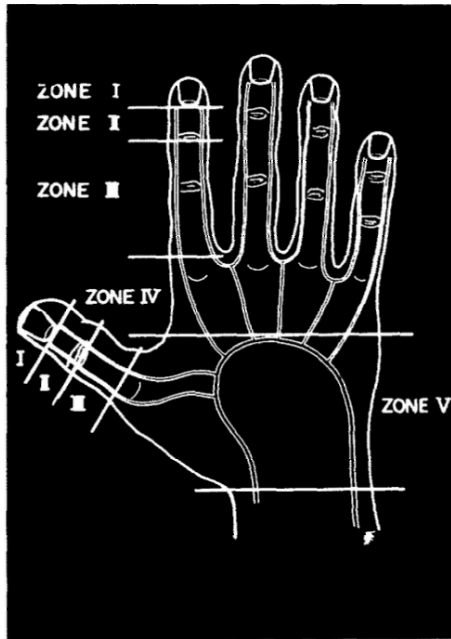
Amputationsverletzungen können aufgrund des Amputationsmechanismus eingeteilt werden. Unterschiedliche Verletzungsmechanismen werden bei Amputationsverletzungen beschrieben. Um die Diskussion über die Herkunft von Amputationsverletzungen zu vereinfachen, schlug Biemer 1980 die Einteilung in Schnittverletzungen (inklusive Sägeverletzungen), Quetsch-, Avulsions-, Abledeungsverletzungen und kombinierte Verletzungen vor [23]. Die Verletzungsmechanismen wurden in vorherigen Studien meist in glatte Schnittverletzungen, Avulsionsverletzungen und Quetschverletzungen unterteilt [4,8,17,19-22,32]. Eine weitere Möglichkeit ist die Unterteilung in glatte-, Kreissägen- Avulsions- und

Quetschverletzungen [29]. Laut Literatur haben Amputationen, welche durch eine glatte Durchtrennung, z.B. den Schnitt eines Messers erfolgten, ein deutlich besseres Langzeitüberleben gezeigt - im Gegensatz zu Avulsions- und Quetschverletzungen [8,19]. Ebenfalls wurden in der Vergangenheit Verletzungsmechanismen aufgrund von Sägeverletzungen beschrieben [33-35].

### **1.2.2 Klassifikation anhand der Amputationshöhe**

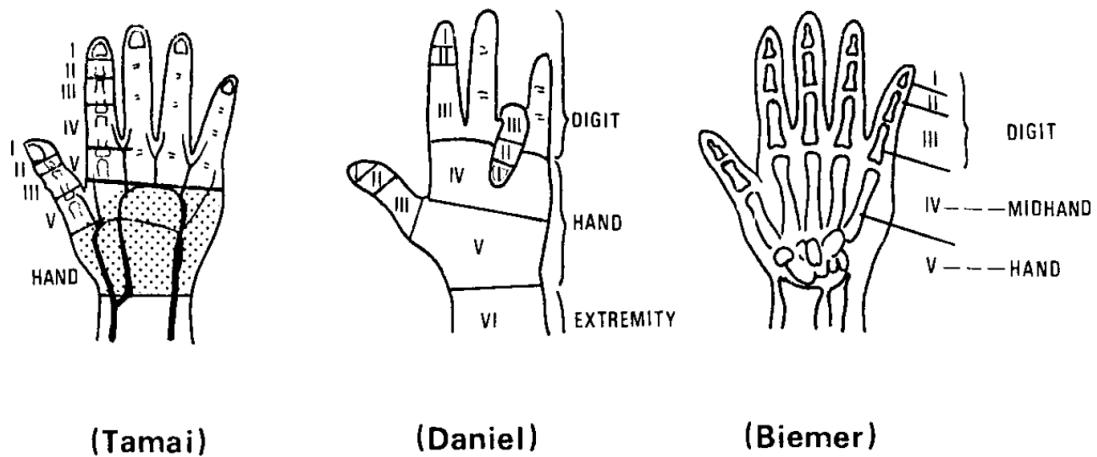
Die Amputationshöhe ist, mit Ausnahme von Avulsionsverletzungen, gekennzeichnet als die Höhe der Knochendurchtrennung. Bei Avulsionsverletzungen liegt die Amputationshöhe auf Höhe des Hautweichteilmantelabrisses. Amputationshöhen der Hand werden nach Biemer anhand der Handanatomie in unterschiedliche Zonen (I-V) unterteilt. Hierbei werden die Fingeramputationsverletzungen, je nach Amputationshöhe, einer der Zonen I-III zugeordnet. Zone IV beschreibt Amputationen auf Höhe der Mittelhandknochen und Zone V bezieht sich auf Handamputationen [23]. Eine Übersichtsgrafik zur Veranschaulichung stellt Abb.1 dar.

Weitere, in den 1980er Jahren entwickelte Klassifikationssysteme der Fingeramputationsverletzungen wurden durch Daniel und Tamai entwickelt. Während die Einteilung von Daniel der Einteilung von Biemer ähnelt, unterteilt Tamai die Fingeramputationshöhen in fünf anstelle von drei Zonen. Die Grenze zwischen Hand und Fingern wird hierbei durch den Arcus Palmaris superficialis gebildet [5]. Eine Übersichtsgrafik zum besseren Vergleich der drei Klassifikationssysteme ist in Abb.2 dargestellt.



**Abb.1 Klassifikationssystem nach Biemer 1980 [23]**

Die Grafik zeigt das 1980 veröffentlichte Klassifikationssystem zur Einteilung von Hand- und Fingeramputationsverletzungen aufgrund von Amputationshöhen nach unterschiedlichen Zonen.

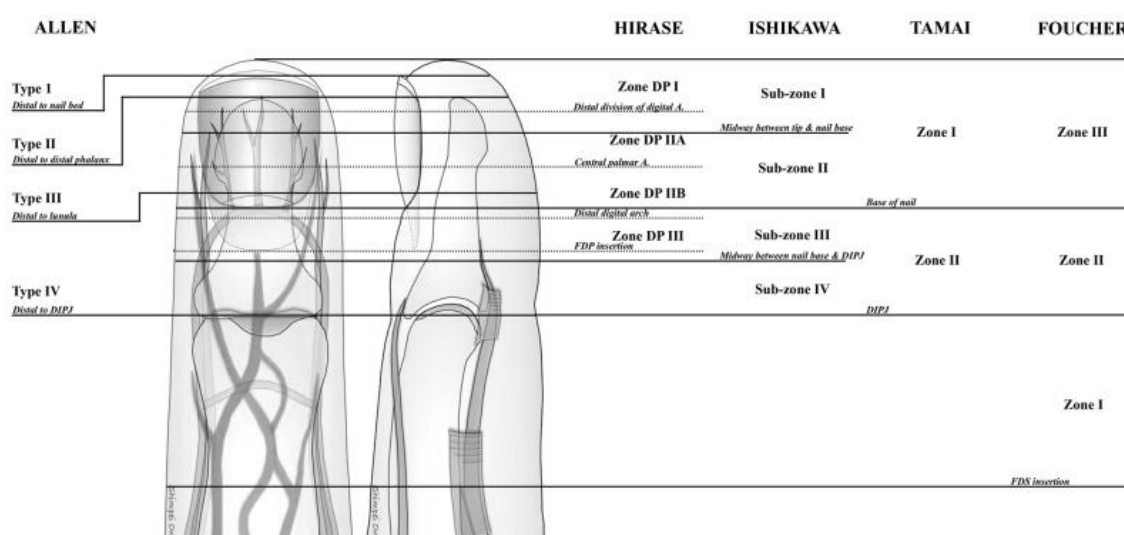


**Abb.2 Klassifikationssysteme im Vergleich [5]**

Die Grafik veranschaulicht den Vergleich der in den 1980er Jahren veröffentlichten Klassifikationssysteme zur Einteilung von Hand- und Fingeramputationsverletzungen aufgrund von Amputationshöhen nach unterschiedlichen Zonen.

Bis heute ist das Klassifikationssystem nach Tamai eines der am häufigsten in der Literatur verwendeten Klassifikationssysteme [5,16]. Innerhalb dieses Klassifikationssystems werden Fingeramputationsverletzungen anhand von 5 Zonen unterteilt. Distale Amputationen werden den Zonen I und II zugeordnet. Zone I befindet sich zwischen Fingerspitze und Nagelbasis, Zone II zwischen Nagelbasis und dem DIPJ. Der Bereich zwischen dem DIPJ und dem Ansatz der FDS wird als Zone III bezeichnet. Vom proximalen Ansatz der FDS bis zur Basis des Grundgliedes befindet sich die Zone IV und proximal der Grundgliedbasis bis zum oberflächlichen Hohlhandbogen die Zone V.

Es existieren noch weitere später entwickelte und modifizierte Einteilungssysteme nach Allen, Foucher et al, Ishikawa et al und Hirase [5,36-39], eine Übersichtsgrafik zur Veranschaulichung stellt Abb.3 dar.



**Abb.3 Klassifikationssysteme distaler Fingeramputationsverletzungen anhand von Amputationshöhen [16]**

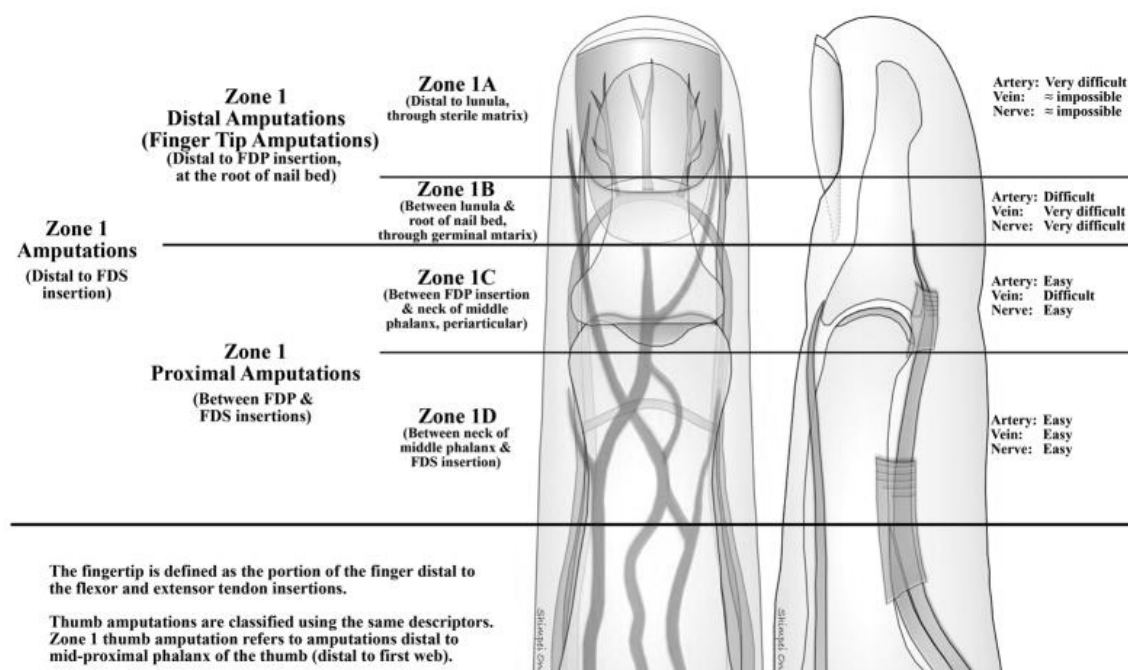
Die Grafik veranschaulicht die verschiedenen Klassifikationssysteme der Amputationshöhen. Während Allen, Hirase et al. und Ishikawa sich bei der Einteilung auf distale Amputationsverletzungen beschränkten, werden bei Foucher und Tamai (Abb.2) auch weiter proximal gelegene Verletzungen berücksichtigt.

**Abk.:** FDS – Flexor Digitorum Superficialis, DIPJ – distales Interphalangealgelenk

Ein neueres in der Literatur beschriebenes Klassifikationssystem für Fingeramputationen distal der FDS ist in (Abb.4) dargestellt.

Die Fingerspitze wird definiert als der Anteil des Fingers, welcher sich distal der Ansatzsehnen der FDS befindet. Daumenamputationen werden nach derselben Klassifikation unterteilt. Die nachfolgende Abb.4 bezieht sich auf die Anatomie

der FDS-Sehen. Es werden distale und proximale Fingeramputationen berücksichtigt. Distale Amputationen befinden sich nach diesem Klassifikationssystem distal der Sehne des Flexor digitorum profundus (FDP), proximale Amputationen zwischen dem Ansatz der FDP und FDS. Da es bei dieser Einteilung nur eine Zone gibt, wird diese wiederum in vier Unterzonen von I A bis I D unterteilt. Je nach Höhe der Verletzung wird es aufgrund des nach distal kleiner werdenden Gefäß- und Nervendurchmesser immer anspruchsvoller eine Gefäß- bzw. Nerven-naht durchzuführen. Während in der proximalen Zone I D die Gefäß- und Nerven-naht einfacher durchzuführen ist, ist eine Koaptation in Zone I B nur noch schwer durchführbar und in Zone I A kaum noch möglich [16].



**Abb.4 neues Klassifikationssystem für Fingeramputationen distal der FDP [16]**

Die Grafik veranschaulicht ein neues Klassifikationssystem zur Einteilung von Fingeramputationsverletzungen.

**Abk.:** FDP – Flexor Digitorum profundum (tiefe Beugesehne), FDS – Flexor Digitorum Superficialis (oberflächliche Beugesehne)

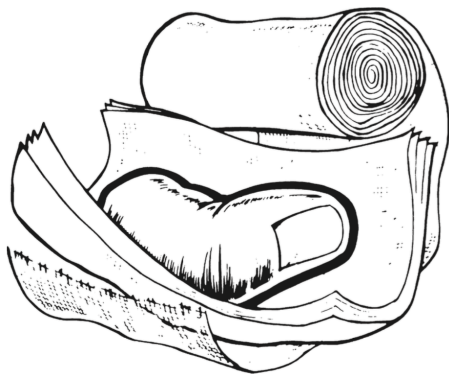
Avulsionverletzungen unterscheiden sich von anderen Amputationsverletzungen aufgrund des Verletzungsmechanismus und der Einteilung der Amputationshöhe. Es existieren deshalb separate Klassifikationssysteme zur Einteilung von Avulsionsverletzungen. Das bekannteste Klassifikationssystem zur Einteilung von Avulsionverletzungen erfolgte 1981 durch Urbaniak et al. [20,40]. Urbaniak unterteilte die Verletzungen anhand der Blutversorgung in drei Klassen.

Avulsionsverletzungen der Klasse I sind durch eine ausreichende Blutversorgung gekennzeichnet. Bei Verletzungen der Klasse II muss aufgrund von Gefäßverletzungen eine Gefäßrekonstruktion erfolgen und bei Verletzungen der Klasse III liegt eine komplette Amputation vor. Nissenbaum et al. ergänzten zudem durch Urbaniak entwickelten Klassifikationssystem zusätzlich die Unterteilung in die Untergruppe II A [32,41]. Die Klasse II A bedeutet, dass die unzureichende Blutversorgung aufgrund von verletzten Arterien besteht. Ende der 1980er Jahre entwickelten Kay et al. ein alternatives prognostisches Klassifikationssystem, in welchem auch Avulsionsverletzungen mit oder ohne Knochenverletzungen berücksichtigt werden [20,41]. Typ I Avulsionsverletzungen sind nach Kay et al. durch eine adäquate und Typ II Avulsionsverletzungen durch eine inadäquate Durchblutung, aufgrund der Arterien- und Venenverletzung, gekennzeichnet. Eine Knochenverletzung liegt in beiden Fällen nicht vor. Ergänzend an die Klassifikation von Urbaniak treten bei Typ III Verletzungen zusätzlich zu der inadäquaten Durchblutung Gelenkdestruktionen auf. Die komplette Avulsionsamputation wird als Typ IV Verletzung bezeichnet [9]. Adani modifizierte das von Kay entwickelte Klassifikationssystem, indem er die Klasse IV Verletzung in drei Untergruppen unterteilte. Die drei Untergruppen dienen der Unterscheidung zwischen kompletten Amputationsverletzungen distal der Ansatzsehne der FDS (Klasse IVd), proximal der Ansatzsehne der FDS (Klasse IVp) und kompletten Avulsionsamputationsverletzungen mit intakten Sehnen (Klasse IVi) [9,20-22]. Patienten mit IVd Verletzungen mit intakter FDS haben unter diesen Verletzungen die beste Prognose [21].

### **1.2.3 Präoperatives Management: Erstversorgung**

Die Behandlung von Patienten mit Fingeramputationsverletzungen beginnt am Verletzungsort durch die Behandlung des Patienten sowie des abgetrennten Amputates. Das mitgebrachte Fingeramputat sollte in ein steriles Tuch eingewickelt und in einem verschlossenen sterilen Plastikbehältnis aufbewahrt werden. Um die Ischämiezeit des Amputates bis zur Ankunft in einer handchirurgischen Klinik zu verringern, sollte das Amputat mit Eis gekühlt werden [2,10,27]. Eiswürfel

werden separat vom Amputat in einem weiteren Behältnis verpackt, um eine irreversible Gewebsschädigung durch Eis beim direkten Kontakt mit dem Amputat zu vermeiden [2,27,42]. Letztendlich werden das Behältnis mit dem Eis und das Behältnis mit dem Amputat in einem dritten Behältnis zusammengeführt. Somit kann das Amputat sachgerecht zum nächstgelegenen Handchirurgischen Transplantationszentrum transportiert werden [2,10,27]. Frühere Studien zeigten, dass sich eine Hypothermie vor der Operation positiv auf das Überleben des Muskels auswirkt. Die optimale Temperatur zur Kühlung des Amputates beträgt zwischen 10 - 15° Celsius [2,27]. Der Fingerstumpf des Patienten sollte verbunden werden um die Blutung zu verringern und das Infektionsrisiko zu senken [9]. Übersichtsgrafiken zur Veranschaulichung zeigen Abb.5 und 6.



**Abb.5**  
Abgetrennter Finger eingewickelt in Gaze bevor er in verschlossenem Behältnis verpackt wird [10,27].



**Abb.6**  
Behälter mit abgetrennter Finger in weiterem Behälter auf Eis [10,27].

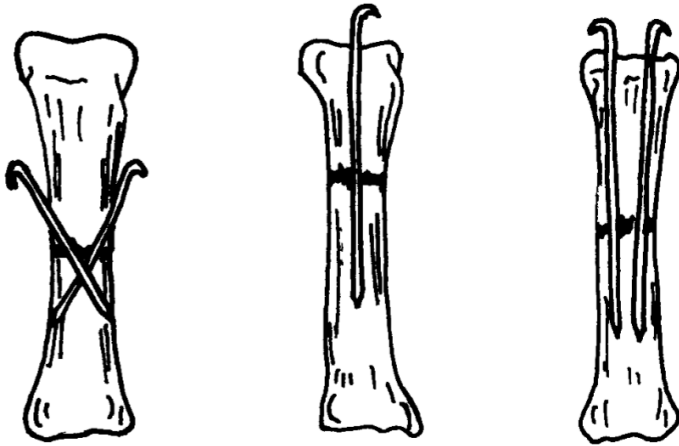
### **1.2.4 Intraoperatives Management**

Um eine erfolgreiche Replantation durchführen zu können, muss zunächst das nekrotische und kontaminierte Gewebe débridiert werden [10]. Durch ein radikales Débridement kann die gefürchtete Komplikation einer postoperativen Infektion stark verringert werden. Eine alleinige Antibiotikagabe kann ein Débridement nicht ersetzen [3]. Nach dem Débridement findet die Identifikation der Gefäßnervenbündel sowohl des Amputates, als auch des Stumpfes statt. Anschließend werden nach der Knochenrückkürzung mit Osteosynthese und den Sehnennähten, die Arterien, Venen und Nerven genäht [2,9].

### **1.2.5 Knochenstabilisation**

Um die Funktionsfähigkeit eines Fingers nach Amputationsverletzung wiederherzustellen, steht nach dem Wunddébridement die Wiederherstellung der Knochenstabilität an erster Stelle. Um die Gefäßnervenbündel möglichst spannungsfrei koaptieren zu können, und um eine bessere Knochenheilung zu erreichen, werden im ersten Schritt die Knochenenden um wenige Millimeter zurückgekürzt [10]. Hierbei wird empfohlen, möglichst das Knochenende des Amputates und nicht des Fingerstumpfes zu kürzen, um im Falle eines Replantatunterganges die maximal mögliche Stumpflänge zu erhalten [9-11]. Verläuft die Frakturlinie durch den Gelenkspalt, werden beide Knochenenden zurückgekürzt und es erfolgt eine Arthrodesese. Das Osteosyntheseverfahren kann zwischen Kirschnerdrahtosteosynthese, gekreuzten Kirschnerdrähten, intramedullären Schrauben- oder Plattenosteosyntheseverfahren variieren [9-12]. Das in der Literatur am häufigsten durchgeführte und gleichzeitig schnellste Verfahren zur Osteosynthese bei Fingeramputation stellt die Kirschnerdrahtosteosynthese dar [9-12]. Eine stabile Fixation der Knochenteile des amputierten Fingers ist zum Schutz der Gefäßversorgung wichtig. Sie vermindert Nervenrupturen und minimiert das Verkleben von Sehnen oder die Versteifung eines Gelenkes. Außerdem führt sie zu einem besseren Funktionsergebnis [28]. Eine Übersichtsgrafik zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Kirschnerdrahtosteosyntheseverfahren stellt Abb.7 dar.





**Abb.7**

Unterschiedliche Möglichkeiten des Kirschnerdrahtosteosyntheseverfahren [12], als extramedullärer Kraftträger.

### **1.2.6 Sehnenversorgung**

Da das funktionelle Ergebnis nach Replantationen stark von der Sehnenversorgung abhängig ist, sollte hier besonders viel Wert auf die korrekte Durchführung der Rekonstruktion gelegt werden. Die Sehnenversorgung erfolgt nach der Osteosynthese und vor den mikrochirurgischen Gefäß- und Nervennähten. Nachdem die Blutgefäße mit einem Faden identifiziert wurden, werden die Streck- und Beugesehnen präpariert und bei Bedarf ihre Enden gekürzt. Die Strecksehnen sollten zur Gewährleistung der Stabilität vor den Beugesehnen genäht werden [9] und werden meistens mit U-Nähten oder überwendlichen nicht resorbierbaren Nähten der Stärke 4-0 rekonstruiert. Beugesehnen werden nach der Zwei- oder Vierstrangmethode z.B. nach Kirchmayer-Kessler mit nicht resorbierbarem Material der Stärke 3-0 oder 4-0 genäht. Es erfolgt eine fortlaufende Feinadaptation mit 6-0 nicht resorbierbarem Nahtmaterial [43,44].

### **1.2.7 Gefäßversorgung**

Die beste Prognose hat ein avaskulärer Finger, wenn er innerhalb der ersten sechs Stunden replantiert wird, möglich ist jedoch die Replantation bei einem gekühlten Amputat bis zu zwölf Stunden [3]. Zuerst erfolgt in der Regel die mikrochirurgische Anastomose von möglichst beiden Digitalarterien. Hierfür werden

Fäden der Stärke 8-0 bis 10-0, bei Kindern sogar 11-0 benutzt. Aufgrund der direkten Nachbarschaft erfolgt anschließend die Koaptation der Digitalnerven. Zum Schluss werden möglichst mindestens zwei streckseitige Venen in gleicher Art und Weise wie die Arterien anastomosiert. Durch dieses Vorgehen können vor der Venenanastomose durch die vermehrte arterielle Durchblutung die durch die Ischämie frei gewordenen Giftstoffe aus der betroffenen Körperstelle entfernt werden [9,45]. Ist durch die Amputation ein Defekt entstanden, sodass keine spannungsfreie Naht erfolgen kann, muss dieser durch Arterien- oder meistens Veneninterponate überbrückt werden [46].

### **1.2.8 Nervenversorgung**

Im Falle einer glatt durchtrennten Amputationsverletzung kann meist eine spannungsfreie End-zu-End Nervenkoaptation erfolgen [46-48]. Bei Avulsions- Kreis- sägen- oder Quetschverletzungen ist aufgrund einer verbliebenen Defektstrecke häufig keine spannungsfreie Nerven- naht möglich. Um dennoch die Sensibilität wieder zu erlangen, ist eine autologe Nerven- transplantation das übliche Verfahren in den meisten Kliniken [46,47,49]. Die am häufigsten verwendeten Nerven zur Rekonstruktion von Digitalnervendefekten sind die ipsilateralen Nn. cutanei antebrachii medialis und lateralis. Alternativ kann der N. interosseus posterior verwendet werden [50]. Als Nachteile einer autologen Nerven- transplantation können Sensibilitätsstörungen und die Bildung von schmerzenden Neuomen an der Entnahmestelle auftreten [48,51].

Weitere Möglichkeiten zur Versorgung und Überbrückung von Nervenverletzungen können biologische oder nichtbiologische Interponate sein. Bei den biologischen Materialien werden beispielsweise Allografts, Venen- mit oder ohne Muskelgewebe gefüllt, bei den nichtbiologischen Materialien bevorzugt Silicon-, Kollagen-, Polyglykolsäure- oder Chitosanröhrchen verwendet [46,48,51]. Ein zuverlässiges biologisches Alternativverfahren zur autologen Nervenrekonstruktion stellen Venen-Muskel-Interponate dar. Durch die Rekonstruktion von Digitalnerven durch Venen-Muskel-Interponate konnten in einer vorangegangenen Studie vergleichbare Regenerationsergebnisse gezeigt werden [46]. Die Prognose für

die Nervenregeneration ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Zu den prognostischen Faktoren werden das Alter zum Verletzungszeitpunkt, der Verletzungsmechanismus, die Länge der Transplantatstrecke und Wundverhältnisse gezählt [51-54].

### **1.3 Ziel der Studie und Fragestellung**

Ziel dieser Studie war, das Replantatüberleben nach Fingeramputationsverletzungen in unserem Zentrum zu erfassen und mögliche Einflussfaktoren auf das Replantatüberleben zu identifizieren. Zudem sollte die Häufigkeit von erfolgreichen Fingerreplantationen, Nachamputationen und primären Stumpfbildungen für den Beobachtungszeitraum an der Berufsgenossenschaftlichen Klinik Tübingen evaluiert werden, um die Ergebnisse mit bereits in der Literatur beschriebenen Resultaten zu vergleichen. Durch eine postoperative Nachuntersuchung sollte die Funktionalität [55] und Sensibilität [56] nach erfolgreichen Replantationen vs. Stumpfbildungen verglichen werden. Des Weiteren wurde die Zufriedenheit der Patienten anhand der deutschen Version des subjektiven DASH (Disability of the Arm, Shoulder and Hand) Fragebogens ausgewertet [57,58] und das Schmerzempfinden anhand der numerischen Rangskala (NRS) bestimmt.

## 2 Patienten und Methoden

### 2.1 Patienten

In dem ersten Teil der Studie wurden 112 Patienten mit 152 Fingeramputationsverletzungen, die zwischen 2008-2013 in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen versorgt wurden, in eine Replantationsgruppe und Amputationsgruppe (primäre und sekundäre Stumpfbildungen) unterteilt. Demographische Daten der Patienten wie Alter, dominante Seite, Verletzungsmechanismus, Amputationshöhe wurden erhoben und auf signifikante Unterschiede geprüft. Der Verletzungsmechanismus wurde nach Kategorien in glatte, Quetsch-, Avulsions-, und Kreissägenverletzungen klassifiziert. Die Amputationshöhe sollte sich zwischen dem Fingergrundgelenk (MCP) und der Endgliedbasis (Lunula) befinden. Faktoren wie Raucheranamnese, vaskuläre Nebenerkrankungen und die Anzahl koaptierter Arterien und Venen, welche Einfluss auf das Replantatüberleben haben können, wurden hinsichtlich signifikanter Gruppenunterschiede ausgewertet.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Patienten, welche die Kriterien einer kompletten Amputationsverletzung anhand der Klassifikationssysteme nicht erfüllten [16,23].

Der zweite Teil der Studie bestand aus einer Nachuntersuchung. Hierbei wurden Patienten, deren Finger erfolgreich replantiert wurden, mit Patienten, die bereits initial oder im Verlauf durch eine Stumpfbildung versorgt wurden, miteinander verglichen. Durch die Untersuchung erhofften wir uns, eine postoperative Aussage treffen zu können, welche der beiden Gruppen das bessere funktionelle Ergebnis erreicht hat. Die Art des Verletzungsmechanismus spielte bei der Rekrutierung der Studienteilnehmer keine Rolle, es wurden alle Verletzungsarten nachuntersucht.

Die Patienten mussten jedoch die Einschlusskriterien erfüllen und sprachlich und inhaltlich den Sinn der Studie nachvollziehen können, um in diese einzuwilligen. Die Mindestaltersgrenze für die Nachuntersuchung betrug 18 Jahre. Von der Nachuntersuchung ausgeschlossen werden mussten 7 Patienten mit

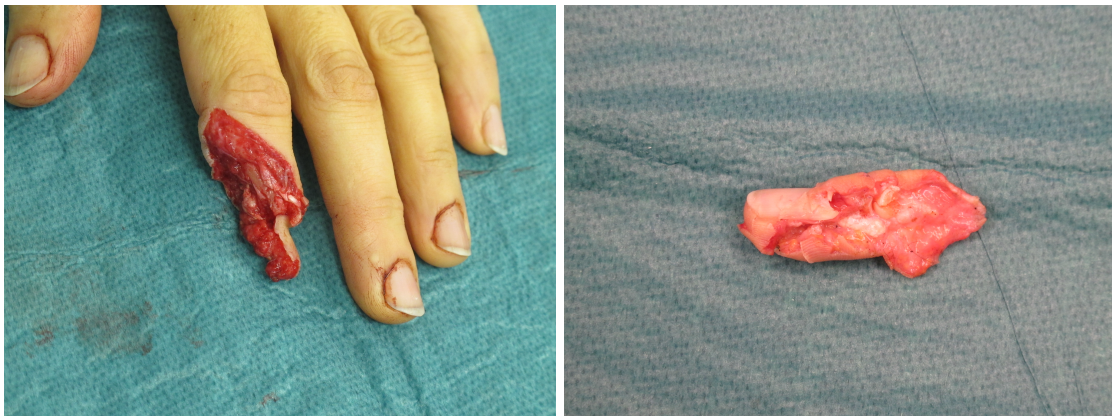
Nebenerkrankungen oder schweren Grunderkrankungen, wodurch die Wundheilung maßgeblich beeinträchtigt wird. Zu diesen zählen Diabetes mellitus und die periphere arterielle Verschlusskrankheit (PAVK) [59]. Aufgrund fehlender Sprachkenntnisse, Mehrfingeramputationsverletzungen, schwerwiegenden Grunderkrankungen, fehlender Erreichbarkeit, abgelehnter Studienteilnahme, weiter Anfahrtswege, Minderjährigkeit und Demenz mussten insgesamt 56 Patienten von der Nachuntersuchung ausgeschlossen werden.

Das vorläufige Studienprotokoll wurde von der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen unter der Projektnummer: 006/2013BO2 am 30.01.2013 genehmigt. Nach Amendement wurde das endgültige Studienprotokoll 006/2013BO2 am 06.06.2013 genehmigt.

### **2.1.1 Klinischer Verlauf**

Die Entscheidung, ob ein Finger replantiert wurde oder nicht, wurde nach genauer Evaluation durch den zuständigen Facharzt gestellt. Hierbei hatte das Operationsverfahren keinen Einfluss auf diese Entscheidung, da das operative Verfahren bei der Rekrutierung bereits abgeschlossen war. Die Faktoren, welche der Facharzt für Plastische Chirurgie in seine Entscheidung mit einbezog, waren der Zustand der mitgelieferten Amputate, die Dauer der kalten Ischämiezeit (welche zwölf Stunden nicht überschreiten sollte) und der Wunsch des Patienten hinsichtlich Replantation oder Stumpfbildung. Die Dauer der Rehabilitationszeit und des zukünftigen Beschäftigungsverhältnisses wurden in Rücksprache mit dem Patienten in die Entscheidung mit einbezogen. Im Falle einer Mehrfingeramputationsverletzung hatte die Replantation des Daumens und Zeigefingers die höchste Priorität, gefolgt von Mittel-, Kleinfinger und Ringfinger. Die Anästhesie wurde in axillarer Leitungsblockanästhesie durchgeführt. War der Patienten hierunter nicht schmerzfrei, konnte zu einem späteren Zeitpunkt eine Allgemeinanästhesie eingeleitet werden. Bei der axillaren Leitungsblockanästhesie wurde eine Blutsperrung mit einem Druck zwischen 250-300 mmHg, abhängig vom Blutdruck des Patienten, mithilfe einer Blutdruckmanschette angelegt. Die Blutsperrung wurde aufrechterhalten, bis alle arteriellen Anastomosen durchgeführt wurden. Bei einer Operationsdauer von länger als 120 Minuten wurde für mindestens

zwanzig Minuten die Blutsperre aufgehoben und anschließend für die restliche Operationsdauer wieder angelegt. Während des präoperativen Managements inspizierte und präparierte der Chirurg das mitgelieferte Amputat, führte ein Débridement durch und identifizierte Sehnen, Arterien, Venen und Nerven. Im ersten Schritt wurde die Knochenstabilität durch eine Osteosynthese mittels Kirschner Drähten, Cerclagen und/oder Zuggurtungen bei Arthrodesen wiederhergestellt, gefolgt von Sehnennähten. Anschließend wurden die palmaren Arterien anastomosiert. Wenn nötig, wurden hierzu Veneninterponate vom Unterarm verwendet. Danach folgten die Nervennähte, wenn möglich durch eine direkte Nervennaht. War keine spannungsfreie Nervenadaptation möglich, wurde ein Nerven-transplantat vom Nervus cutaneus antebrachii verwendet. Im Falle einer Stumpfbildung wurden beide palmaren Digitalnerven um ca. 2 cm gekürzt, um eine mögliche Neuombildung zu vermeiden. Im letzten Operationsschritt fand die Anastomose der dorsalseitigen Venen statt. Hierbei wurden zwischen einer und drei dorsalen Venen pro Finger anastomosiert.



**Abb.8 und 9 Fingeramputation nach Kreissägenverletzung**

Auf den beiden intraoperativen Bildern zu sehen sind das mitgebrachte Amputat sowie die linke Hand nach einer Kreissägenverletzung einer Studienpatientin der BGU Tübingen. In diesem Fall wurde die Indikation zur Replantation gestellt.

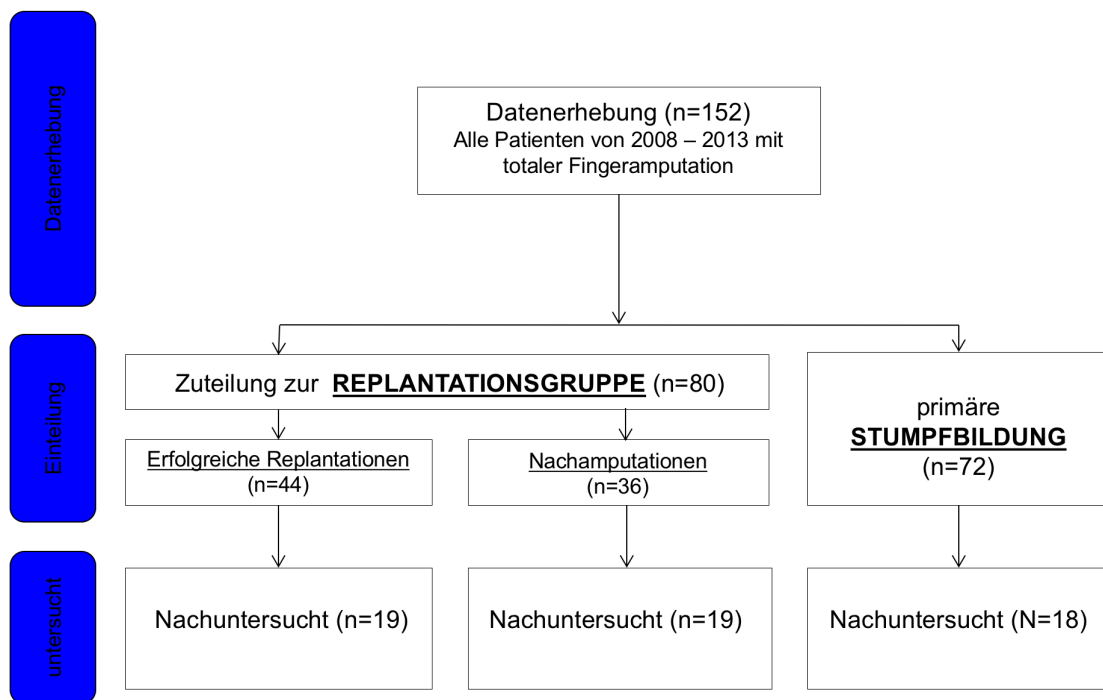
**Abk.:** BGU – Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik

Postoperativ wurden den Patienten 15000 internationale Einheiten (IE) Heparin pro Tag durch ein Heparinperfusorsystem verabreicht, alternativ konnte niedermolekulares Heparin z.B. 4000 I.E. zweimal täglich subkutan, bis zum fünften postoperativen Tag, verabreicht werden → danach einmal täglich bis zur vollständigen Mobilisation. Zusätzlich erhielten die Patienten eine intravenöse prophylaktische Antibiotikagabe über sieben Tage mit einem Cephalosporin der ersten Generation, falls keine Allergien vorhanden waren. Bei Allergien gegen

Cephalosporine erfolgte die Behandlung meistens mit Clindamycin. Allen Patienten wurde eine strikte Bettruhe zwischen fünf und vierzehn Tagen verordnet, je nach Klinik des jeweiligen Patienten. Kaffee, Schokolade, Nikotin und andere vaso-konstriktive Substanzen mussten für 14 Tage gemieden werden. Im Falle einer venösen Anastomoseninsuffizienz wurde eine Blutegeltherapie drei- bis sechs-mal pro Tag angewandt (siehe Tab.3).

## 2.2 Studiendesign und Zielparameter

### 2.2.1 Studiendesign und Studienpopulation



**Abb.10 Studiendesign**

Aus den vorhandenen Patientenakten der BG-Unfallklinik wurden mögliche Probanden ermittelt. Die Patienten wurden entweder im Rahmen ihres stationären bzw. ambulanten Aufenthaltes oder telefonisch und schriftlich kontaktiert, um anschließend ausführlich über die Ziele und den Ablauf der Studie informiert zu werden. Den Probanden, welche telefonisch oder schriftlich kontaktiert wurden und zur Nachuntersuchung erschienen, wurden eine Patienteninformation und eine Einwilligungserklärung ausgehändigt und die schriftliche Genehmigung für

die Teilnahme an der Studie und zur Speicherung der Daten wurden eingeholt. Daten wurden retrospektiv aus den Akten der letzten fünf Jahre ausgewertet. Patienten, welche sich in diesem Zeitraum einer Fingeramputation unterzogen, wurden prospektiv zu einer Untersuchung für die Evaluation der chirurgischen Resultate eingeladen. Die Studie nahm keinen Einfluss auf die Entscheidung, ob ein Finger replantiert oder amputiert wurde, da zum Zeitpunkt der Rekrutierung die operative Behandlung mindestens sechs Monate zurücklag. Von einigen 100 Fingeramputationsverletzungen wurden postoperativ Daten von 112 Patienten mit 152 Fingeramputationsverletzungen ausgewertet, welche eine komplette Amputationsverletzung erlitten hatten. Die Kriterien einer totalen Fingeramputationsverletzung mit kompletter Durchtrennung der Gefäßnervenbündel, Knochen und Venen mussten dabei erfüllt sein [16,23].

In einem ersten Schritt wurden Parameter, welche Einfluss auf das Replantatüberleben haben können, statistisch hinsichtlich signifikanter Gruppenunterschiede ausgewertet. Nachfolgend erfolgte eine Nachuntersuchung, um Rückschlüsse darüber zu gewinnen, welche der Gruppen das bessere funktionelle bzw. sensible Ergebnis erzielt hat. In der Gruppe der 44 erfolgreichen Replantationen konnten 19 Patienten nachuntersucht werden. In der Amputationsgruppe konnten 31 Patienten nachuntersucht werden (19 nach sekundärer und 18 nach primärer Stumpfbildung).

### **2.2.2 Ethische Aspekte der Rekrutierung**

Eine vollständig prospektive klinisch randomisierte Studie wäre aufgrund ethischer Aspekte nicht möglich gewesen. Es wäre ethisch nicht vertretbar, den Zufall darüber entscheiden zu lassen, bei welchem Patienten eine Replantation und bei welchem eine Stumpfbildung erfolgt. Aus diesem Grund wurden retrospektiv klinikintern Daten über vergangene Amputationsverletzungen ausgewertet und die Patienten wurden anhand der vorhandenen Daten in die unter Abb.10 genannten Gruppen unterteilt.



### **2.2.3 Zielparameter**

Von allen Patienten, welche sich zwischen 2008 und 2013 eine Fingeramputationsverletzung zugezogen hatten, wurden Daten aus den Akten der BGU erhoben. Erfasst wurden präoperative Daten wie Geschlecht, Alter und die Händigkeit der Patienten, vaskuläre Nebenerkrankungen, Job, Raucheranamnese, Verletzungszeitpunkt, Verletzungsmechanismus und Verletzungshöhe. Intraoperativ erfasste Parameter waren die Lagerung der Amputate auf Eis, die Amputatverschmutzung und die OP-Dauer. Zu den postoperativ erhobenen Parametern zählten die Dauer der Bettruhe, eine mögliche Blutegeltherapie, die Dauer des stationären Krankenhausaufenthaltes und die Dauer der Krankschreibung. Mögliche Einflussfaktoren auf das Replantatüberleben wie Verletzungsmechanismus, vaskuläre Vorerkrankungen, Nikotinabusus oder die Anzahl koaptierter Venen und Arterien sollten identifiziert und auf signifikante Gruppenunterschiede hinsichtlich des Replantatüberlebens verglichen werden.

In einem zweiten Teil der Studie sollte durch eine postoperative Nachuntersuchung das funktionelle und sensible Regenerationsergebnis nach erfolgreicher Replantation mit dem Ergebnis nach Stumpfbildung hinsichtlich signifikanter Gruppenunterschiede überprüft werden. Erhobene Untersuchungsparameter waren der Bewegungsumfang, die Sensibilität, die Kraft und das Schmerzempfinden mittels numerischer Rangskala. Als subjektives Testverfahren wurde der DASH-Fragebogen angewandt.

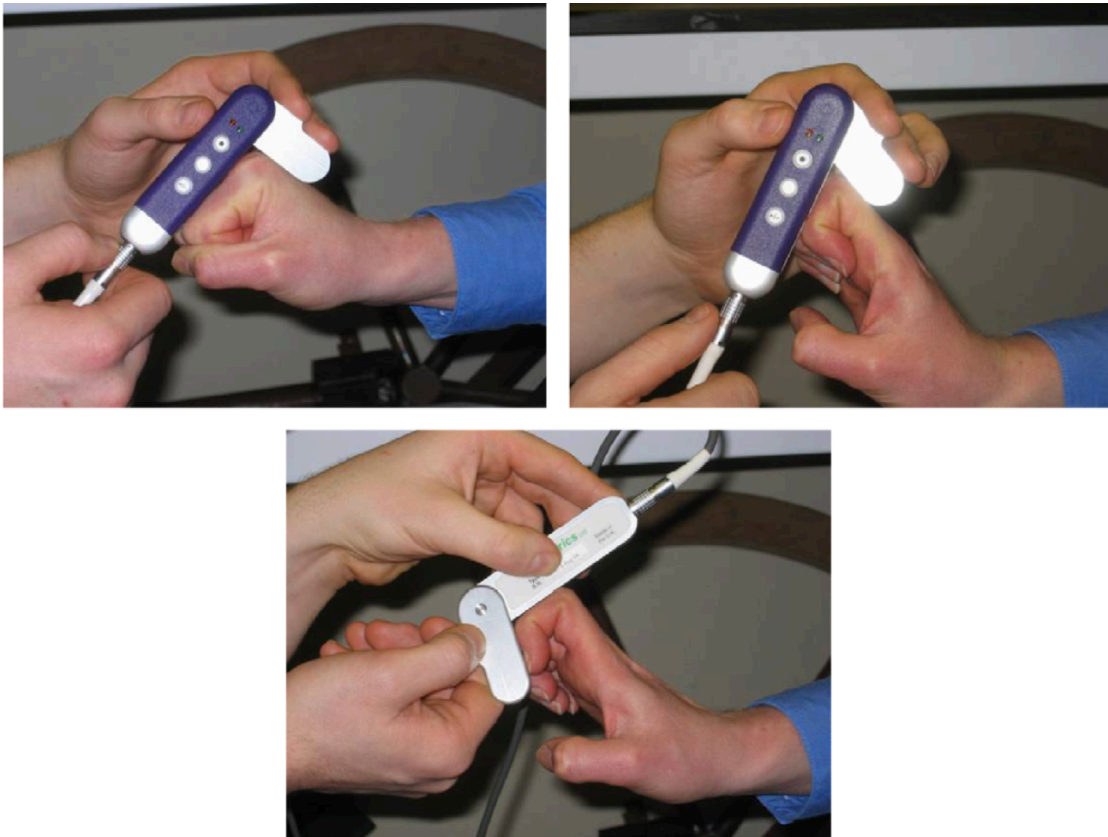
## **2.3 Untersuchungsparameter**

### **2.3.1 Neutralnullmethode mittels Goniometer**

Um herauszufinden, ob bei den Patienten ein Bewegungsdefizit vorlag, wurde die Beweglichkeit anhand verschiedener objektiver Testverfahren bestimmt. Für die Bestimmung der Beweglichkeit durch die Neutralnullmethode wurde das

Goniometer des Biometric E-Link Evaluation System (Biometrics Ltd, Newport, UK) verwendet. Zur Veranschaulichung siehe Abb.10.

Zur Bestimmung des totalen Bewegungsumfanges wurde der Bereich zwischen maximal möglicher Flexion und Extension jedes Fingergelenkes in ° gemessen [55] . Begonnen wurde die Messung mit dem am weitesten distal gelegenen Metacarpophalangealgelenk (MCP), gefolgt von dem proximalen- (PIP) und distalen (DIP) Interphalangealgelenk. Zur Messung wurde das Goniometer dorsalseitig auf die zuvor genannten Gelenke aufgelegt und der Bewegungsumfang zwischen maximaler Flexion und Extension nach der Neutralnullmethode bestimmt. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abb.11.



**Abb.11 Goniometer [55] (Biometrics Ltd, Newport, England)**

Die Grafik bildet das Goniometer zur Messung der Fingergelenke nach der Neutralnullmethode ab. Durch Auflegen des Goniometers auf den Handrücken wurde in Abb.10 der Bewegungsumfang des MCP-Gelenkes, in Abb.10 des PIP-Gelenkes und in Abb.10 des DIP-Gelenkes gemessen.

**Abk.:** MCP – Metacarpophalangeal, PIP – proximal interphalangeal, DIP – diastal interphalangeal

### **2.3.2 Fingernageltischabstand (FNTA) und Fingerkuppenhohlhandabstand (FKHA)**

Die Fingerstreckung der Langfinger konnte mithilfe des Fingernageltischabstandes (FNTA) und die Fingerbeugung der Langfinger mithilfe des Fingerkuppenhohlhandabstand (FKHA) bestimmt werden.

Zur Messung der Fingerstreckung mittels Fingernageltischabstand (FNTA) wurde der Patient gebeten, seinen Handrücken flach auf den Tisch zu legen. Im bestmöglichen Fall berührten allen vier Fingernägel den Tisch und der FNTA betrug 0 cm. War es dem Patienten nicht möglich, mit einem oder mehreren Fingernägeln den Tisch zu berühren, musste der Abstand zwischen Fingernagel und Tisch in cm gemessen werden, um den FNTA zu bestimmen. Wurde ein Abstand von 2 cm zwischen Fingernagel und Tisch gemessen, betrug der FNTA 2 cm. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde der FNTA für alle Finger einer Hand bestimmt. Bestand beispielsweise bei Zeige- (D2) und dem Mittelfinger (D3) kein messbarer Abstand zum Tisch, jedoch bei dem Ringfinger (D4) und dem kleinen Finger (D5) ein Abstand von jeweils 1 cm zum Tisch, so betrug der FNTA für diese Hand 0-1-1.

Zur Messung der Fingerbeugung wurde der Patient dazu aufgefordert, seinen Handrücken flach auf den Tisch zu legen und die Hand zur Faust zu schließen. Im Regelfall berührten beim Faustschluss alle vier Langfinger die palmare Hohlhand. War dies bei einem oder mehrerer Finger nicht möglich wurde der Abstand zwischen Fingerspitze und der palmaren Hohlhandfurche gemessen und in cm notiert. Zur Notierung der Messwerte wurde die gleiche Schreibweise wie bei der Messung des Fingerkuppenhohlhandabstand (FKHA) gewählt.

## **2.4 Überprüfung der Sensibilität**

Um die Regenerationsergebnisse nach peripheren Nervenverletzungen zu bestimmen, wurden der Rolyan Semmes-Weinstein-Test und die Zweipunkte-Diskrimination durchgeführt. Die Messung erfolgte ca. 5 mm proximal des Stumpfes, radial- und ulnarseitig entlang des Verlaufs der Digitalnerven.

### **2.4.1 Rolyan Semmes-Weinstein Monofilamentfäden Test (SWM-Test)**

Das Set aus 20 Monofilamenten ist eine Messmethode um die Druckempfindlichkeit der langsam adaptierenden Rezeptoren der Meissner Zellen und Paccinikörperchen nach Nervenverletzungen zu bestimmen. Die einzelnen Monofilamentfäden sind anhand ihres Durchmessers in aufsteigender Reihenfolge angeordnet (siehe Abb.11). Jedes Monofilament übt aufgrund seines Durchmessers einen unterschiedlich starken Druck auf die Hautoberfläche aus. Die einzelnen Fadenstärken der Monofilamente sind mit dem Logarithmus zur Basis 10 in mg angegeben [56]. Jeder Monofilamentfaden ist zur besseren Handhabung im 90° Winkel an einem Plastikhaltestift befestigt. Vor der Durchführung des Tests wurde der Patient gebeten die Augen zu schließen. Begonnen wurde die Testung mit dem Filament der Stärke 2,83, welches einer normalen Drucksensibilität entspricht. Der Monofilamentfaden wurde mithilfe des Plastikhaltestifts im 90° Winkel auf die Hautoberfläche aufgesetzt und bis zum Durchbiegen des Filaments Druck über eine Dauer von 1 bis 1,5 Sekunden auf die Haut des Patienten ausgeübt. Eine dreimalige richtige Antwort galt als positives Ergebnis. Wurde der 2,83 Monofilamentfaden nicht gespürt, wurde der nächstgrößere Durchmesser angewandt, so lange bis der ausgeübte Druck wahrgenommen werden konnte. Insgesamt wurden 17 Monofilamente (2,83-6,65) zur Testung verwendet. Nahm der Patient den Druck der Monofilamente 3,22 oder 3,61 wahr, lag ein vermindertes Berührungsempfinden (DLT - diminished light touch) vor. Von einer verminderten Schutzsensibilität (DPS- diminish protective sensation) musste man ausgehen, wenn der Patient den Druck der Monofilamente mit Werten zwischen 3,84 und 4,31 wahrnehmen konnte. Wurde der Druck durch ein Monofilament mit einer Stärke zwischen 4,56 und 6,45 wahrgenommen, deutete dies auf eine aufgehobene Schutzfunktion (LPS – loss of protective sensation) hin. Untersucht wurden der amputierte bzw. replantierte Finger jeweils radial- und ulnarseitig so distal wie möglich und stets im Vergleich zur nicht verletzten Gegenseite. Um die Ergebnisse vergleichbar machen zu können, wurden die 17 verwendeten Monofilamente ordinal skaliert (Level 1-17) [56] (Abb.12).



**Abb.12 Rolyan Semmes-Weinstein-Monofilamentfäden (Russka Ludwig Bertram GmbH, Isernhagen, Deutschland)**

Die Grafik bildet die Semmes-Weinstein-Monofilamentfäden ab. Wird von dem Patienten der Druck durch einen der Monofilamentfäden A-D (1,65 - 2,83) empfunden, spricht dies für eine normale Empfindung. Wird das Filament E oder F (3,22 oder 3,61) wahrgenommen, liegt ein vermindertes Berührungsempfinden vor. Von einer Verminderung der Schutzsensibilität wird ausgegangen, wenn die Monofilamente G - J (3,84 - 4,31) nicht vom Patienten gespürt werden. Zwischen K - T ist die Schutzsensibilität komplett aufgehoben.

## 2.4.2 Zwei-Punkte-Diskrimination (2-PD)

Die 2-PD wird als Untersuchungsmethode nach Nervenverletzungen angewandt, um das Vermögen des Patienten, zwei getrennte Reize voneinander unterscheiden zu können, zu überprüfen. Gemessen wurde die statische 2-PD. Bei der statischen 2-PD wird die Innervation der langsam adaptierenden Rezeptoren der Merkel-Zellen und Ruffinikörperchen beurteilt [56]. Die langsam adaptierenden Rezeptoren reagieren dabei vor allem auf den statischen Druck. In dieser Studie wurde zur Messung der 2-PD als Messinstrument der Touch-Test Zwei-Punkt-Diskriminator (Russka, Ludwig Bertram GmbH Isernhagen, Deutschland) verwendet. Das Messinstrument besteht aus einer mehreckigen Plasticscheibe, an dessen Rändern sich paarig angeordnete Plastikstifte befinden. Der Durchmesser der beiden Plastikstifte kann zwischen 1 und maximal 15mm in 1mm Abständen variiert werden. Vor der Testdurchführung wurde die zu untersuchende Hand dorsalseitig auf dem Tisch abgelegt und der Patient wurde gebeten seine Augen zu schließen und während der Untersuchung geschlossen zu halten. Zur

Messung der statischen 2-PD wurde mithilfe des Zweipunkt- Diskriminator longitudinal so lange Druck auf die palmare Fingerkuppe ausgeübt, bis sich die Haut leicht eindrücken ließ. Die statische 2-PD wurde radial- und ulnarseitig untersucht und immer im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Der Patient musste bei jeder Messung angeben, ob er ein oder zwei Punkte bei der Messung wahrnahm. Drei richtige Antworten waren nötig, um ein positives Resultat zu erreichen. Wurde von dem Patienten bei einem Abstand von 15mm die beiden Druckpunkte nicht als zwei getrennte Druckpunkte wahrgenommen, lag eine Beeinträchtigung der Sensibilität vor.

## **2.5 DASH-Fragebogen und DASH-Score**

Um die subjektiven Funktionseinschränkungen der Patienten nach Amputationsverletzungen im Alltag zu erfassen wurden die Patienten gebeten, den DASH (Disability of the Arm, Shoulder, and Hand) - Fragebogen auszufüllen. Der DASH - Fragebogen wurde von der Academy of Orthopedic Surgeons (AAOS), dem Concil of Musculoskeletal Specialty Societies (COMSS) und dem Institut for Work and Health (Toronto, Ontario) etabliert [60]. Dieser Fragebogen beinhaltet 30 Fragen, welche die Funktion der oberen Extremität bei Aufgaben des alltäglichen Lebens erfassen. Er dient als Instrument zur Selbstevaluation muskuloskelettaler Erkrankungen der oberen Extremität und wird als subjektives Testverfahren eingesetzt [61]. Jede der 30 Einzelfragen wird anhand einer Fünf-Punkte-Skala von 1 bis 5 bewertet [62]. Eine steigende Punktezahl sprach für eine schwer durchführbare Aufgabe und somit eine stärkere Beeinträchtigung. Beantwortete der Patient eine Frage mit einem Punkt, hatte er keine Schwierigkeiten die Aufgabe durchzuführen, bei fünf Punkten jedoch war es ihm nicht mehr möglich die Aufgabe zu erfüllen. Wurden alle 30 Fragen beantwortet ergab sich eine Mindestpunktzahl von 30 Punkten, die maximal erreichbare Punktzahl betrug 150. Damit der Test ausgewertet werden konnte, mussten mindestens 27 der 30 Fragen beantwortet werden. Die Zusatzfragen nach Sport und Musik wurden aufgrund der inhomogenen Freizeitgestaltung unseres Patientenkollektivs nicht erhoben. Anhand der erreichten Punktezahl des Fragebogens wurde der DASH-Score durch

nachfolgende Formel berechnet. Die Händigkeit des Patienten sowie Begleitverletzungen des Patienten wurden bei der Bestimmung des DASH-Scores nicht berücksichtigt. Durch die Berechnung des DASH-Scores ergab sich ein Score von 0 bis maximal 100. Die Funktionseinschränkung war umso höher, je höher der berechnete Score ausfiel [61]:

$$DASH - Score = \left[ \frac{(Summe\ von\ n\ Antworten)}{n} - 1 \right] \times 25$$

## 2.6 Beurteilung der Kraft

Für die Beurteilung der Handfunktion durch Messung der Kraft wurde das Biometric E-Link Evaluation System (Biometrics Ltd, Newport, UK) verwendet [55]. Dieses E-Link System Set besteht aus einem Dynamometer zur Messung der groben Kraft, einem Pinchmeter zur Messung des Spitzgriffs sowie dem zuvor beschriebenen Goniometer (siehe 2.6 und Abb.11) zur Bestimmung des Bewegungsausmaßes der Fingergelenke.

### 2.6.1 Dynamometer

Um die Kraftmessungen mittels Dynamometer durchführen zu können, musste das Verbindungskabel zwischen Dynamometer und dem Computer angeschlossen und das Gerät kalibriert werden. Der Patient saß auf einem Stuhl, wobei die Füße den Boden berührten und die Knie zur Hüfte und zu den Füßen einen 90° Winkel bildeten. Der Oberarm musste für die Messung am Körper anliegen und die Schulter zum Ellenbogen und Handgelenk einen 90° Winkel bilden, um die maximale Kraft zu erreichen [63]. Die Griffposition des Dynamometers konnte zwischen fünf möglichen Stufen variiert werden. Wir wählten für unsere Messungen die auf Abb.13 abgebildete Griffposition zwei.



**Abb.13 Dynamometer [55] (Biometrics Ltd, Newport, England)**

Die Grafik bildet das Dynamometer zur Messung der Kraft ab. Dargestellt ist das Goniometer in der von uns verwendeten Griffposition zwei.

## 2.6.2 Pinchmeter

Das Pinchmeter wurde zur Messung der Kraft der einzelnen Finger mittels Spitzgriff herangezogen. Um den Spitzgriff zu bestimmen, wurde das Pinchmeter vom Daumen und der Fingerspitze eines weiteren Fingers umschlossen und durch Druck des Patienten auf das Pinchmeter die Kraft der beteiligten Finger gemessen. Die Messung wurde zwischen Daumen und dem replantierten Finger bzw. Stumpf jeweils im Seitenvergleich durchgeführt. War der Daumen betroffen, wurde für den Gegengriff und die Kraftmessung der radiallyseitig nächstgelegene gesunde Finger herangezogen.





**Abb.14 Pinchmeter [55] (Biometrics Ltd, Newport, England)**

Auf der Grafik abgebildet ist die Messung des Spitzgriffes mittels Pinchmeter.

## **2.7 Schmerzempfinden mithilfe der numerischen Rangskala (NRS)**

Das subjektive Schmerzempfinden wurde mithilfe der numerischen Rangskala (NRS) überprüft [64,65]. Auf einer Skala von 0 bis 10 wurde die Schmerzintensität bestimmt. Bei einer Schmerzintensität von 0 verspürte der Patient keine Schmerzen, während bei der Zahl 10 der am stärksten vorstellbare Vernichtungsschmerz auftrat. Da einige Patienten keine Ruheschmerzen jedoch Schmerzen bei Belastung oder Kälte beschrieben, erfassten wir die NRS in Ruhe, unter Belastung und bei Kälte.

## 2.8 Datenauswertung, Statistik und Aufbewahrung

### 2.8.1 Software zur Datenauswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte durch IBM SPSS Statistics, Version 24.

Es wurden demographische Parameter der drei Gruppen Replantation, Nachamputation und Stumpfbildung beschrieben. Die Verteilung der Verletzungsdaten der Patienten wurden graphisch durch Pie Charts und Balkendiagramme dargestellt.

Faktoren wie Raucheranamnese, vaskuläre Nebenerkrankungen und Anzahl kointerarter Arterien und Venen, Alter, Geschlecht, Händigkeit, Amputationshöhe und Verletzungsmechanismus wurden statistisch durch den exakten Test nach Fisher hinsichtlich signifikanter Gruppenunterschiede ausgewertet. Für alle folgenden Tests gingen wir von einem Unterschied aus, wenn das Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  unterschritten wurde.

Bei den funktionellen Ergebnissen wurde zum Vergleich der Lage der Verteilung von unabhängigen Gruppen zunächst mit dem Shapiro-Wilk Test überprüft, ob die Daten in den Gruppen normalverteilt waren. Wurde die Normalverteilungsannahme nicht abgelehnt ( $p\text{-Wert} > 0,1$ ), so wurde der Vergleich mit dem T-Test durchgeführt. Im Falle der Ablehnung der Normalverteilung kam der Mann-Whitney U-Test zur Anwendung.

Zur graphischen Darstellung der Messwerte der 2-PD, des SWM-Tests, des Dynamometers und Pinchmeters sowie des DASH- Score und der NRS wurden Box Plots erstellt. Innerhalb der Box des Box Plots befanden sich 50 % der gemessenen Werte. Die horizontale Linie innerhalb der Box entsprach dem Median der gemessenen Werte, die obere und untere Begrenzung der Box dem 25%- (unteres) und 75%- (oberes) Quartil. Ausreißer wurden durch runde Kreise gekennzeichnet.

### **2.8.2 Aufbewahrung der Studiendaten**

Alle Daten werden pseudonymisiert und numerisch kodiert gespeichert, sodass eine Zuordnung zwischen Daten und einzelnen Probanden nicht stattfinden kann und ein Missbrauch ausgeschlossen ist. Der Code wird verschlossen aufbewahrt. Die pseudonymisierten Daten werden auf elektronischen Speichermedien gesichert. Sämtliche Daten werden in einem abschließbaren Schrank im Zimmer des Studienbetreuers der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen aufbewahrt, zu dem ausschließlich dem Doktoranden sowie den Prüfärzten Zugang gewährt ist. Die ärztliche Schweigepflicht wird in dieser Studie gewahrt. Die Personendaten werden vertraulich behandelt und für Dritte unzugänglich und getrennt von den Untersuchungsergebnissen aufbewahrt. Die Personendaten werden ausschließlich in Papierform dokumentiert. Der Patient ist darüber informiert, dass bei einer Besprechung von Ergebnissen Dritte Einsicht in die Originalunterlagen nehmen können. Alle Personen, die mit der Studie in Verbindung stehen, unterliegen der Schweigepflicht. Die Einwilligung der Patienten zur Einsichtnahme Dritter in ihre Krankenunterlagen muss schriftlich nach § 4 des Datenschutzgesetzes erfolgen.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Patienten**

In dieser Studie wurden Daten von 112 Patienten ausgewertet die zwischen 2008 – 2013 insgesamt 152 Fingeramputationsverletzung erlitten. Bei 84 Patienten (55%) war ein einzelner Finger von der Verletzung betroffen, bei 28 Patienten mit 68 Fingeramputationen (45%) lagen Mehrfingeramputationsverletzungen vor: 18 Patienten (24%) erlitten eine zwei-, acht Probanden (16%) eine drei-, und zwei Patienten (5%) eine Vierfingeramputationsverletzung. Von den 152 Amputationsverletzungen konnten 80 Finger (53%) initial replantiert werden. Hiervon wurden 44 (55%) erfolgreich replantiert (Gruppe R) und 36 Finger (45%) mussten im Verlauf nachamputiert werden (Gruppe N). Bei 72 Fingern von 58 Patienten (47,4% von 152 Fingeramputationsverletzungen) erfolgte eine primäre Stumpfbildung (Gruppe S) und in sieben Fällen wurde der Replantationsversuch aufgrund nicht auffindbarer Venen abgebrochen.

Vom Patientenkollektiv waren überwiegend männliche Patienten zwischen dem 41. und 60. Lebensjahr von der Verletzung betroffen (n=81). Mit 86,2% männlicher und nur 13,8% weiblichen Probanden bestand ein deutliches Ungleichgewicht in der Geschlechterverteilung, ein signifikanter Unterschied zwischen dem Replantatüberleben und dem Geschlecht ( $p=0,172$ ) konnte jedoch nicht festgestellt werden. Die überwiegende Anzahl der Patienten, 73 von 112 (65%) waren zum Zeitpunkt des Unfalls in einem handwerklichen Beruf tätig. Dabei war die dominante Hand in 56,3% der Fälle (n=85) am häufigsten von der Verletzung betroffen.

#### **3.1.1 Einfluss relevanter Parameter auf das Replantatüberleben**

Variablen, die Einflüsse auf das Replantatüberleben haben können, wie Raucheranamnese, Anzahl koaptierter Gefäße und vaskuläre Nebenerkrankungen, wurden mittels des Exakten Tests nach Fisher ausgewertet.

### **-Alter und Geschlecht und Händigkeit**

Sowohl das Alter der Patienten, jünger oder älter als 40 Jahre ( $p=0,349$ ), als auch das Geschlecht ( $p=0,172$ ), zeigten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Replantatüberlebens. In beiden Gruppen war die dominante Hand häufiger von der Verletzung betroffen, als die nicht dominante Hand, weshalb sich kein signifikanter Unterschied ( $p=1$ ) zeigte.

### **-Rauchen**

Die Zahl der Raucher in der Gruppe N mit 61% ( $n=22$ ) war beinahe doppelt so hoch wie die Zahl der Raucher in der Gruppe R mit 36% ( $n=16$ ) und somit erwiesen Nichtraucher im Exakten Test nach Fisher dennoch eine Tendenz zur Signifikanz bzgl. eines häufigeren Replantatüberleben ( $p=0,0685$ ) als Raucher.

### **-Anzahl der koaptierten Gefäße**

Ein signifikanter Unterschied auf das Replantatüberleben konnte durch die Anzahl koaptierter Venen ( $*p=0,001$ ), jedoch nicht durch die Anzahl koaptierter Arterien ( $p=0,459$ ) gezeigt werden. Die Verwendung von Veneninterponaten zeigte keinen Einfluss auf das Replantatüberleben.

### **-Vaskuläre Nebenerkrankungen**

Auch vaskuläre Nebenerkrankungen (Diabetes und pAVK  $p=1$ ) traten in beiden Gruppen gleichhäufig auf und stellten keinen Einfluss auf das Replantatüberleben dar. In Tab.1 findet sich ein Überblick der erhobenen Parameter mit den Ergebnissen des Exakten Tests nach Fisher.

### **-handwerklicher Job**

In beiden Gruppen waren mehr Patienten zum Unfallzeitpunkt in einem handwerklichen Job tätig. Somit ließ sich kein signifikanter Unterschied nachweisen ( $p=1$ ).

**Tab.1 Parameter der Studienpopulation**

Demographische Parameter der Studienteilnehmer unterteilt in Anzahl der Amputationsverletzungen insgesamt (Nr. Total), Anzahl der Replantationsversuche (R+N), Anzahl der erfolgreichen Replantationen (R) und Nachamputationen (N) von 2008 – 2013. Aufgrund fehlender oder unvollständiger Operationsberichte konnten in einigen wenigen Fällen keine Angabe über Arterien-, Venen- und Veneninterponatversorgung gemacht werden.

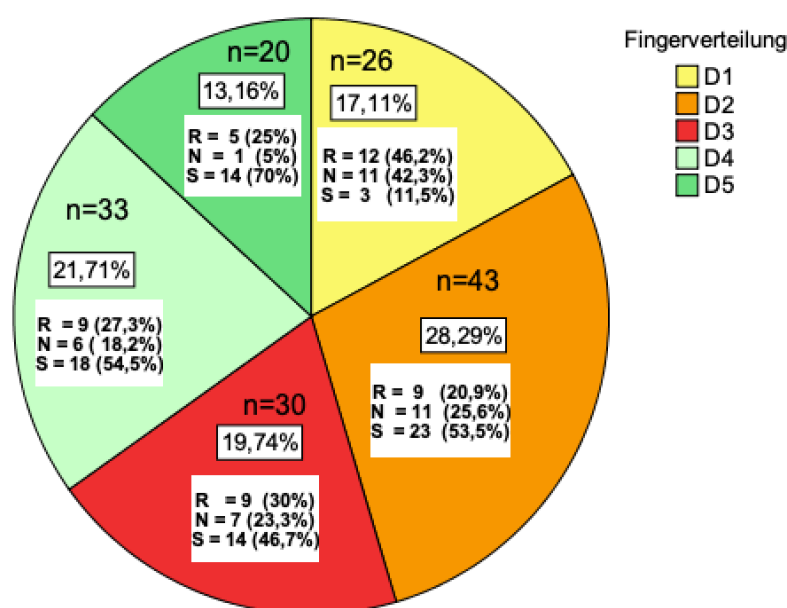
**Abk.:** n – Anzahl der Fälle; m – männlich; f – weiblich

Parameter	n	Nr. R+N	N	R	P-Wert
Alter					
< 40	49	27	10	17	P=0,349
>40	103	53	26	27	
Geschlecht					
m (n)	131	70	34	36	P=0,172
f (n)	21	10	2	8	
Dominante Hand					
Ja	85	46	21	25	P=1
Nein	66	34	15	19	
Fehlende Werte	1	0	0	0	
Nikotin					
Ja	80	38	22	16	P=0,0685
Nein	69	40	14	26	
Fehlende Werte	3	1	0	2	
Arterienversorgung					
1 Arterie	27	23	12	11	P=0,459
2 Arterien	58	55	23	32	
fehlende Werte	2	2	1	1	
Venenversorgung					
<b>1 Vene *</b>	25	25	18	7	<b>*P=0,001</b>
<b>2 Venen *</b>	44	44	13	31	
3 Venen	7	7	2	5	
fehlende Werte	4	4	3	1	
Veneninterponate					
1 Veneninterponat	11	9	5	4	P=0,687
2 Veneninterponate	13	13	6	7	
3 Veneninterponate	1	1	1	0	
kein Veneninterponat	125	55	23	32	
fehlende Werte	2	2	1	1	
Nebenerkrankungen					
Diabetes	6	2	1	1	P=1
pAVK	1	0	0	0	
arterielle Hypertonie	26	12	6	6	
Handwerklicher Job					
Ja	102	50	23	27	P=1
Nein	47	28	13	15	
Fehlende Werte	3	2	0	2	

### 3.1.2 Überleben anhand der Fingerverteilung

Eine Übersicht über die Fingerverteilung aller Fingeramputationsverletzungen mit der Anzahl der erfolgreichen Replantationen und Nachamputationen und der Stumpfbildungen sind in Abb.15. dargestellt. Mit 28,29% war der Zeigefinger (D2)

am häufigsten von einer Amputation betroffen. Am zweithäufigsten zogen sich Patienten eine Verletzung des Ringfingers (D4) 21,71% zu, gefolgt von Mittelfinger (D3) 19,74%, Daumen (D1) 17,11% und Kleinfinger (D5) 13,16%. Auffällig war, dass bei Daumenamputationsverletzungen im Vergleich zu den Langfingern (D2, D3, D4, D5) deutlich häufiger die Indikation zur Replantation gestellt wurde. Während von D1 Amputationsverletzungen initial 88,5% replantiert wurden, waren es bei den Kleinfingerverletzungen nur 30%. Lediglich bei D2 mussten mehr Finger nachamputiert werden als überlebten. Bei Amputationen von D1, D3, D4 und D5 überwog die Zahl erfolgreich replantierter Finger.

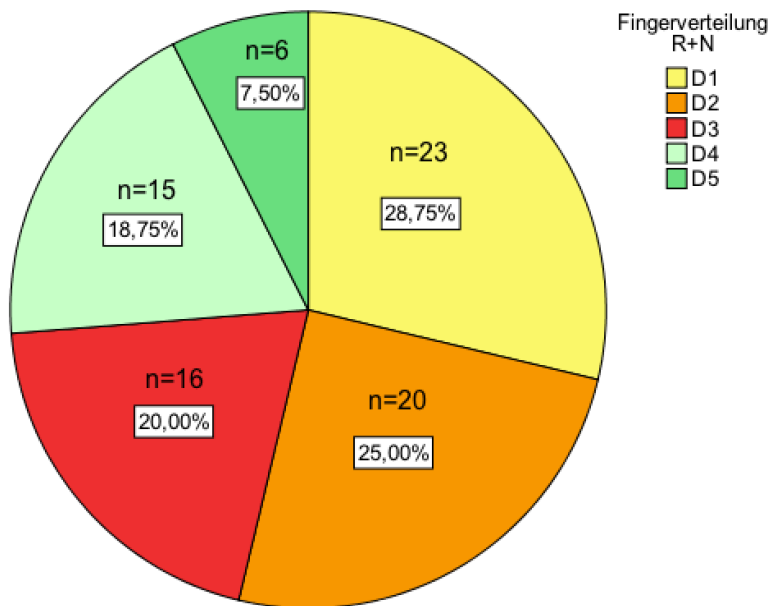


**Abb.15 Fingerverteilung aller Fingeramputationsverletzungen**

Die Grafik stellt anhand eines Kreisdiagrammes die Fingerverteilung nach Amputationsverletzung dar.

**Abk.:** D1 – Daumen, D2 – Zeigefinger, D3 – Mittelfinger, D4 – Ringfinger, D5 – Kleinfinger

Eine Übersicht über die Fingerverteilung aller Replantationsversuche ist in Abb.16 dargestellt. Unter allen replantierten Fingern wurde die Indikation zum Replantationsversuch am häufigsten bei D1 (in 28,75% der Fälle) gestellt. Am zweithäufigsten wurde D2 (25%) replantiert, gefolgt von D3 (20%), D4 (18,75%) und D5 (7,5%). Auffällig war, dass der Kleinfinger unter den replantierten Fingern den geringsten Anteil ausmachte.



**Abb.16 Fingerverteilung der initial replantierten Finger**

Die Grafik zeigt die Verteilung der replantierten Finger (Gruppe R und N) nach Fingeramputationsverletzung anhand von Kreisdiagrammen.

**Abk.:** D1 – Daumen, D2 – Zeigefinger, D3 – Mittelfinger, D4 – Ringfinger, D5 – Kleinfinger, R – Replantationsgruppe, N - Nachamputationsgruppe

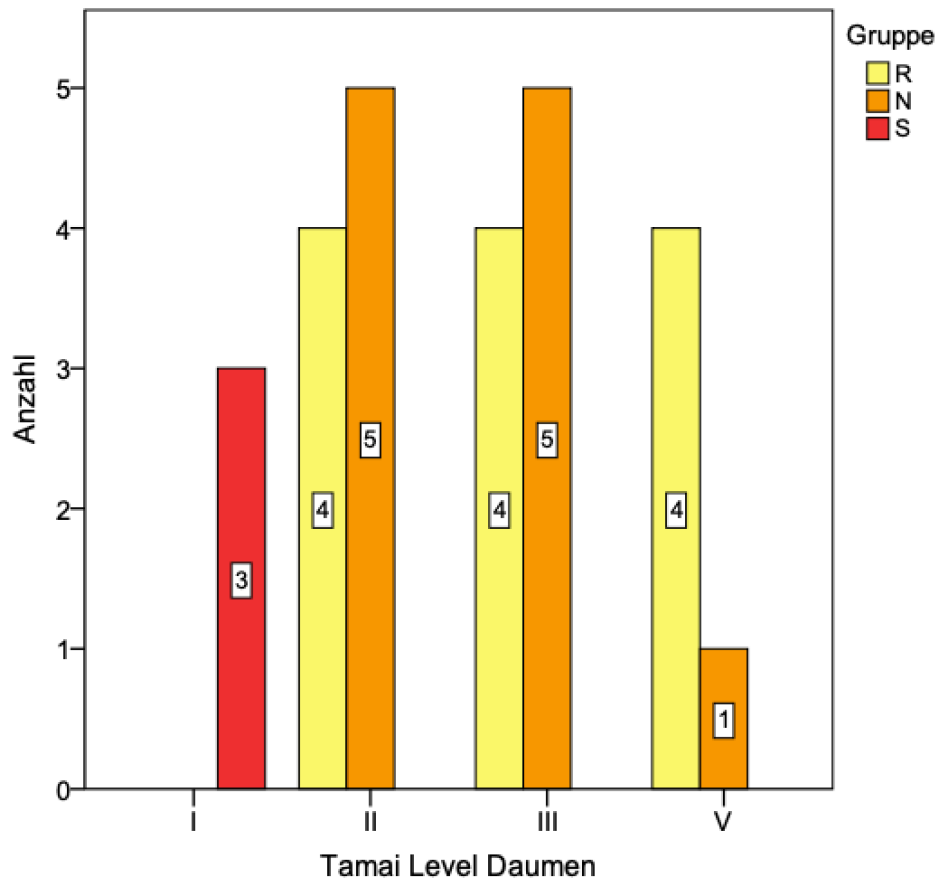
**3.1.3 Überleben anhand der Amputationshöhe nach Tamai**

Die Amputationshöhe wurde anhand der Tamai Level Klassifikation (siehe Abb.2) definiert. Eine Übersicht über die Amputationshöhe der drei Studiengruppen nach Daumenamputationsverletzungen findet sich in Abb.17, die der Langfingeramputationsverletzungen in Abb.18. Das Gesamtüberleben der Langfinger anhand des Tamai Level ist in Abb.19 dargestellt.

Die Mehrheit der Fingeramputationsverletzungen in unserer Studienpopulation fand bei den Daumenamputationsverletzungen (n=26) in jeweils 34,6% (n=9) auf Höhe Tamai Level II und III statt. Danach folgten Verletzungen auf Level V mit 19,2% (n=5) und Level I mit 11,5% (n=3). Von den jeweils neun replantierten D1 Amputationsverletzungen auf Höhe Tamai Level II und III überlebten jeweils 44,4% (n=4) und 55,6% (n=5) mussten im Verlauf nachamputiert werden. Auf Höhe Tamai Level V hingegen konnten 80%(n=4) erfolgreich replantiert werden.



Die Indikation zur primären Stumpfbildung wurde in allen Fällen (n=3) auf Höhe Tamai Level I gestellt.

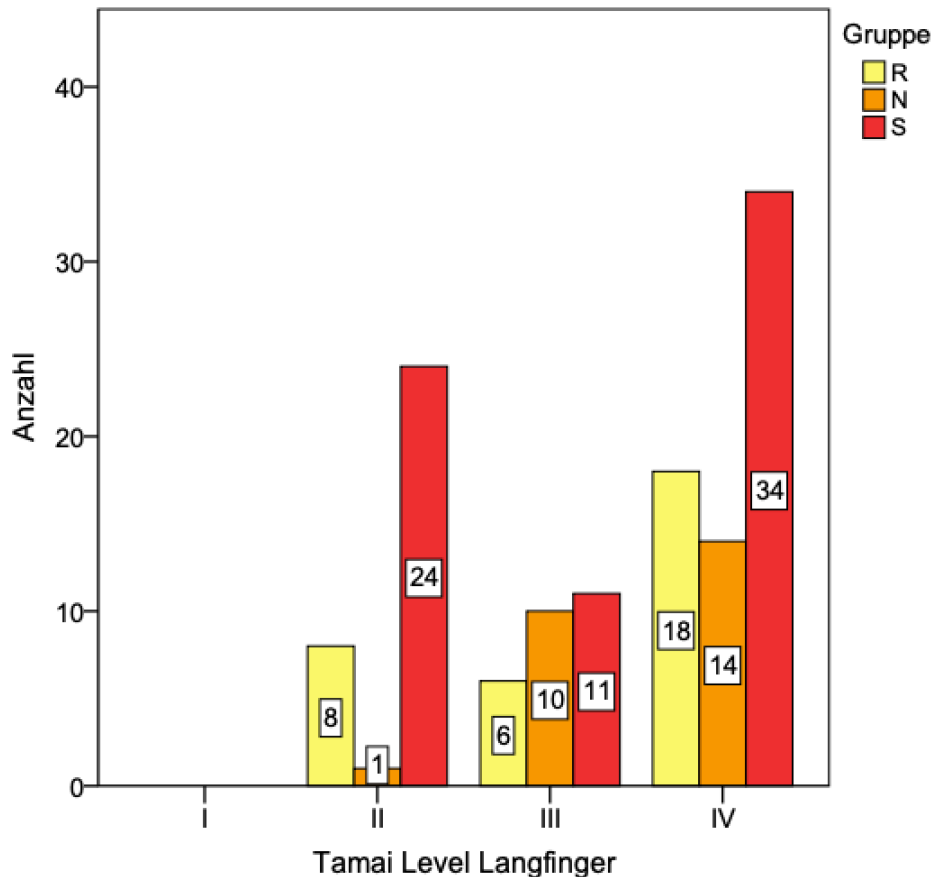


**Abb.17 Amputationshöhe der betroffenen Daumen anhand der Tamai Level Klassifikation**

Die Grafik zeigt die Verteilung der Amputationshöhen nach Tamai anhand von Balkendiagrammen.

**Abk.:** I – Tamai Level I, II – Tamai Level II, III – Tamai Level III, V – Tamai Level V

Bei den Langfingeramputationsverletzungen (n=126) lag die Amputationshöhe in 52,4% der Fälle auf Höhe Tamai Level IV (n=66). Am zweithäufigsten fand die Amputation auf Höhe Tamai Level II (n=33) 26,2% statt, gefolgt von Level III (n=27) 21,4%. Zu beobachten war, dass bei den meisten primären Stumpfbildungen die Amputationslinie auf Höhe Tamai Level IV lag, gefolgt von Level II. Auf Höhe Tamai Level I und V ereigneten sich bei den Langfingeramputationsverletzungen keine Amputationen. Eine genaue Übersicht der Langfingeramputationsverletzungen findet sich in Abb.18)

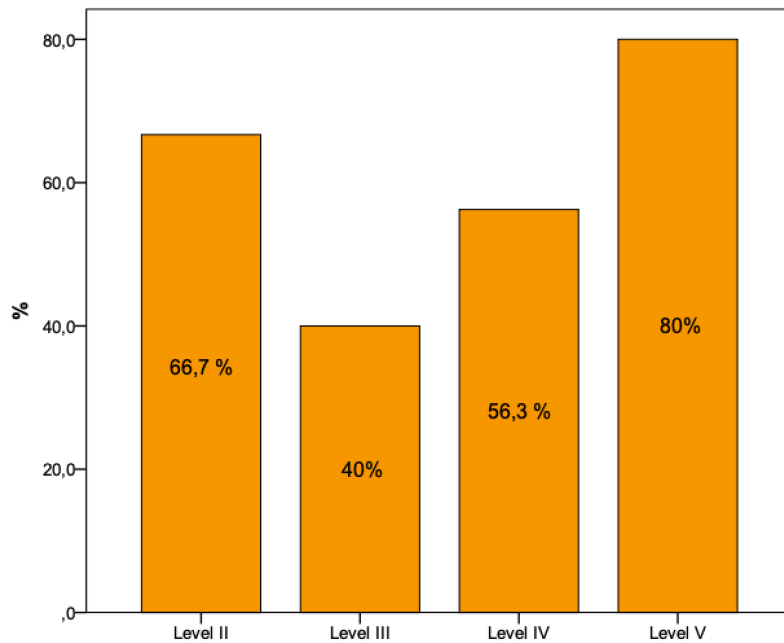


**Abb.18 Amputationshöhe der betroffenen Langfinger anhand der Tamai Level Klassifikation**

Die Grafik zeigt die Verteilung der Amputationshöhen nach Tamai anhand von Balkendiagrammen.

**Abk.:** I – Tamai Level I, II– Tamai Level II, III – Tamai Level III, IV – Tamai Level IV, V – Tamai Level V

Die besten Überlebensraten mit 80% konnten bei allen Amputationsverletzungen auf Höhe Tamai Level V festgestellt werden, gefolgt von Tamai Level II mit 66,7% und Level IV mit 56,3%. Die schlechteste Erfolgsrate mit nur 40 % Überlebensrate lieferten Verletzungen auf Höhe von Tamai Level III. Eine Übersicht ist in Abb.19 dargestellt. Trotz der klinisch relevanten Unterschiede der Überlebensraten konnte dennoch durch den exakten Test nach Fisher kein signifikanter Unterschied durch den Vergleich der Amputationshöhe anhand der Tamai Level nachgewiesen werden ( $p=0,242$ ).



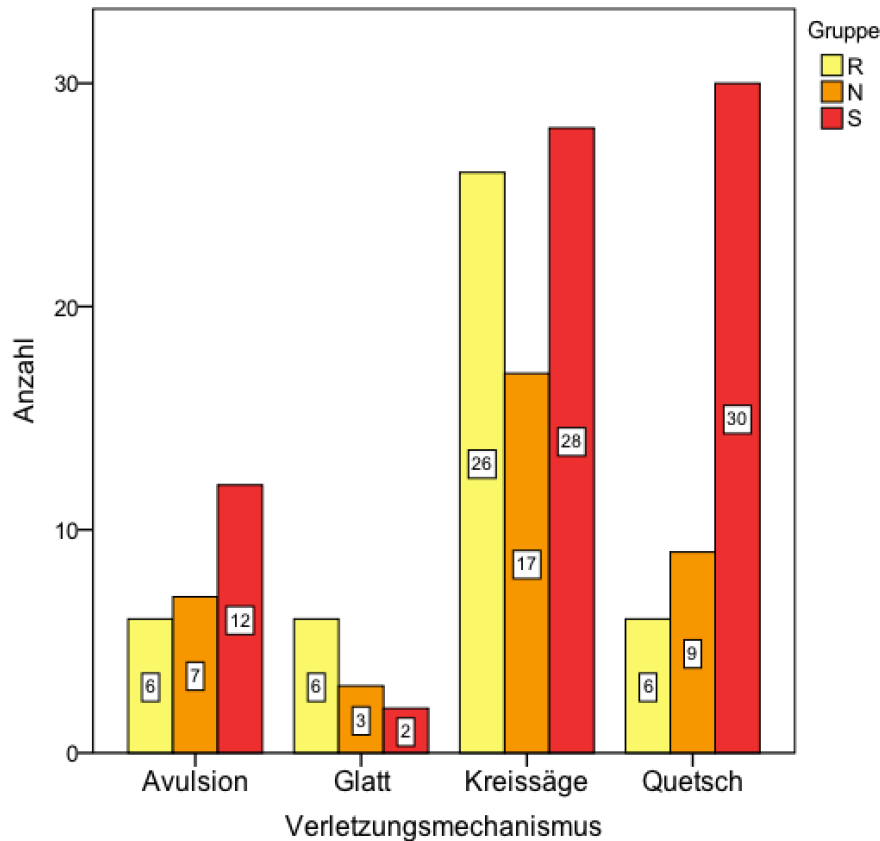
**Abb.19 Überleben anhand der Amputationshöhe der Daumen und Langfinger nach Tamai**

Die Grafik bildet das Replantatüberleben anhand der Tamai Level Klassifikation in Form von Balkendiagrammen ab.

**Abk.:** II – Tamai Level II, III – Tamai Level III, IV – Tamai Level IV

### 3.1.4 Überleben anhand des Verletzungsmechanismus

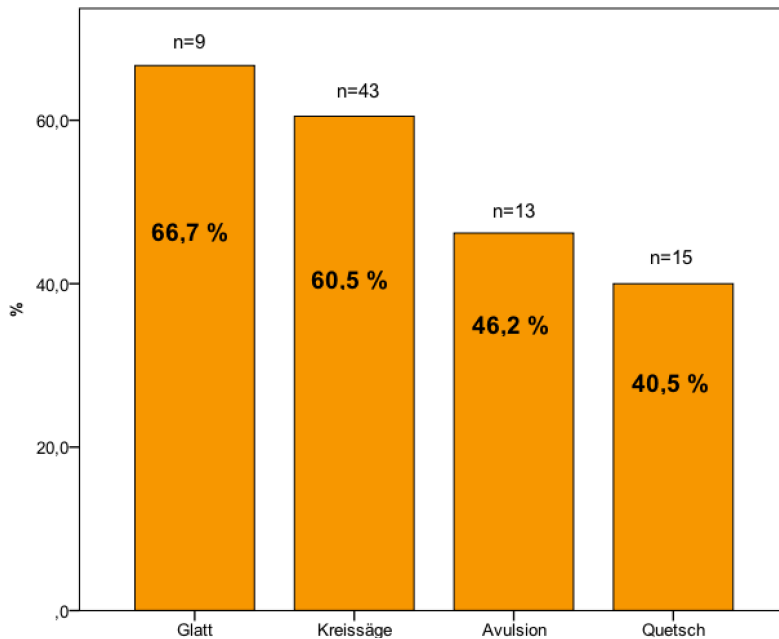
Eine genaue Übersicht über den Verletzungsmechanismus der Fingeramputationsverletzungen ist in Abb.20 dargestellt. Klassifiziert wurde der Verletzungsmechanismus in glatte (n=11), Quetsch- (n=45), Avulsions- (n=25) und Kreissägenverletzungen (n=71). Von 152 Amputationsverletzungen wurden 46,7% (n=71) durch Kreissägenverletzungen (KSV), 29,6% (n=45) durch Quetschverletzungen (Q), 16,4% (n=25) durch Avulsionsverletzungen (A) und 7,2% (n=11) durch glatte Durchtrennungen (G) hervorgerufen. Sowohl in der Gruppe der erfolgreichen Replantationen als auch in der Gruppe der Nachamputationen führten Kreissägenverletzungen am häufigsten zur Amputation. Quetschverletzungen resultierten am häufigsten in einer primären Stumpfbildung, gefolgt von Kreissägenverletzungen. Zu beachten ist, dass der größte Anteil an glatten Verletzungen in der Gruppe R auftrat. In der Gruppe N stellte sich als zweithäufigster Verletzungsmechanismus die Amputation durch Quetschverletzung heraus. Im Gegensatz dazu waren in der Gruppe R nach den Kreissägenverletzungen Quetsch-, Avulsions- und glatte Verletzungen in gleichen Anteilen ursächlich für die Amputation.



**Abb.20 Verletzungsmechanismus der Fingeramputationsverletzungen**

Die Grafik zeigt die Verteilung des Verletzungsmechanismus der betroffenen Finger anhand von Balkendiagrammen.

Eine Übersicht über das Überleben anhand des Verletzungsmechanismus aller Studienteilnehmer, unabhängig von der Studiengruppe, ist in Abb.21 dargestellt. Hier wurde die höchste Überlebensrate mit 66,7% nach glatten Amputationsverletzungen festgestellt, gefolgt von Kreissägenverletzungen, welche in 60,5% der Fälle erfolgreich replantiert werden konnten. Deutlich schlechtere Erfolgsraten waren bei Avulsionsverletzungen zu verzeichnen (46,2%). Quetschverletzungen zeigten sich mit einer Erfolgsrate von nur 40% am häufigsten frustrierend. Trotz der klinisch relevanten Unterschiede ergab sich mittels des exakten Tests nach Fisher kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,435$ ).



**Abb.21 Überleben anhand des Verletzungsmechanismus unabhängig von der Studiengruppe**

Die Grafik zeigt das Überleben anhand des Verletzungsmechanismus.

**Abk.:** n = Anzahl der Fälle

### 3.1.5 Intraoperative Parameter

Zusätzlich zu den Parametern, welche durch den Exakten Test nach Fisher ausgewertet wurden, wurden weitere intraoperative Parameter der drei Studiengruppen R, N und S erhoben. Ein intraoperativ erfasster Parameter war die Amputatverschmutzung. Eine regelrechte Lagerung und Transport der Amputate durch Verwendung von Eis konnte in der Gruppe R bei 40 Amputaten (90,9%) erfasst werden. Ähnliche Werte zeigten sich in der Gruppe N mit 33 regelrecht gelagerten abgetrennten Gliedmaßen (91,7%). In der Gruppe S konnte bei 55 Amputaten (76,4%) eine leitliniengerechte Lagerung und Transport nachgewiesen werden, 12 Amputate (16,7%) wurden nicht mitgebracht wurden.

Für die nachfolgende Analyse wurden nur die Patienten mit einem operierten Finger berücksichtigt. Es verblieben 47 der 80 Finger nach erfolgreicher Replantation, davon 25 in der Replantationsgruppe und 22 in der Nachamputationsgruppe. In der Gruppe der primären Stumpfbildung gingen 23 der 72 Finger in die Auswertung ein. Mitthilfe des Mann-Whitney-U-Tests konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Replantationsgruppe und Nachamputationsgruppe

für das Alter ( $p=0,436$ ) und die Operationsdauer ( $p=0,529$ ) gezeigt werden siehe Tab.2.

**Tab.2 intraoperative Parameter der Studienpopulation**

Intraoperative Parameter der Studienteilnehmer unterteilt in erfolgreiche Replantationen, Nachamputationen und Stumpfbildung von 2008 – 2013.

**Abk.:** n – Anzahl der Fälle; m – männlich; f – weiblich; Min – Minimum; Max – Maximum, R – Replantationsgruppe, N – Nachamputationsgruppe, S – primäre Stumpfbildung

<b>intraoperative Parameter</b>	<b>R</b>	<b>N</b>	<b>S</b>
<b>Verwendung von Eis</b> (n) (%)	40 (90,9 %)	33 (91,7%)	55 (76,4 %)
Amputat nicht mitgebracht (n) (%)	0	0	12 (16,7%)
<b>Amputatverschmutzung</b> (n)			
Amputat nicht mitgebracht	0	0	12 (16,7%)
Amputat verschmutzt	44 (100%)	36 (100%)	60 (83,3%)
<b>Op Zeit Replantation</b> (Median in min (Min-Max)) bei Einfingeramputationsverletzungen	364 (132 - 711)	354 (70 - 827)	-
<b>Op Zeit Stumpfbildung</b> (Median in min (Min-Max)) bei Einfingeramputationsverletzungen	-	39 (16 - 166)	37 (16 - 140)
<b>Alter</b> (Median in Jahre (Min-Max) bei Einfingeramputationsverletzungen	50 (11 -66)	45 (4 – 67)	

### 3.1.6 Postoperative Parameter

Nach teils langen Replantationszeiten erhoben wir postoperative Parameter, die nachfolgend in Tab.3 dargestellt sind. Innerhalb der Gruppe R wurden zehn Revisionen durchgeführt, davon musste bei zwei Patienten zweifach revidiert werden. In der Gruppe N wurden ebenfalls zehn Revisionen durchgeführt (bei 7 der 10 Revisionen resultierte die Revision in einer Nachamputation und bei 3 der 10 Revisionen führte erst die zweite Revision zur Nachamputation). Die beiden Revisionen der Gruppe S erfolgten aufgrund eines Infektes und einer Stumpfneuanlage. Eine ähnliche mediane stationäre Aufenthaltsdauer zeigte sich in den Gruppen R mit 21,5 Tagen versus 19 Tage in der Gruppe N. Patienten der Gruppe S verbrachten im Median 15 stationäre Tage in der Klinik. Patienten nach einer erfolgreichen Replantation waren im Median beinahe doppelt so lange krankgeschrieben wie Patienten nach primärer oder sekundärer Stumpfbildung. Die dauerhafte Arbeitsunfähigkeit mit 4,9% nach erfolgreicher Replantation ist jedoch niedriger als nach einer Amputation mit 7,8% (Gruppe N + S). Es konnte

jedoch kein signifikanter Unterschied ( $p=0,72$ ) nach Replantation (R) oder Amputation (N + S) festgestellt werden.

**Tab.3 postoperative Parameter der Studienpopulation**

postoperative Parameter der Studienteilnehmer unterteilt in erfolgreiche Replantationen, Nachamputationen und Stumpfbildung von 2008 – 2013.

**Abk.:** n – Anzahl der Fälle; m – männlich; f – weiblich; LQ – unteres Quartil; UQ – oberes Quartil; Min. – Minimum; Max. – Maximum; d – Tage, R – Replantationsgruppe, N – Nachamputationsgruppe, S – primäre Stumpfbildung

Postoperative Parameter	R	N	S
<b>Komplikationen (n)</b>			
Arteriell	-	31	7
Venös	21	35	7
Infektiös	3	9	4
Neurombildung	-	2	5
CRPS	2	0	4
<b>Revision (n)</b>	10	10	2
<b>Blutegeltherapie (%)</b>	50	86,1	0
<b>Dauerhafte Arbeitsunfähigkeit (%)</b>	4,9	7,8	

Für die nachfolgende Analyse wurden Patienten ausgeschlossen, welche an mehr als einem Finger operiert wurden. Es verblieben 84 der 112 Patientinnen und Patienten (75%), davon 25 in der Replantationsgruppe (29,8%), 22 in der Nachamputationsgruppe (26,2%) und 37 in der Stumpfbildungsgruppe (44,0%).

Die nachfolgende Tabelle enthält die Tage der Bettruhe nach Operation, die stationäre Verweildauer und die Tage der Arbeitsunfähigkeitsdauer der Patientinnen und Patienten der drei Gruppen. Die kleinsten Werte im Median zeigten sich für alle Variablen bei den Stumpfbildungen. Beim Vergleich der Verteilungen der Variablen der drei Gruppen mit dem Kruskal-Wallis Test ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei der Bettruhe und der Krankenhausverweildauer.

**Tab.4 Dauer der Bettruhe, der Verweildauer und der Arbeitsunfähigkeit**

unterteilt in erfolgreiche Replantationen, Nachamputationen und Stumpfbildung von 2008 – 2013.

**Abk.:** LQ – unteres Quartil; UQ – oberes Quartil; d – Tage, R – Replantationsgruppe, N – Nachamputationsgruppe, S – primäre Stumpfbildung

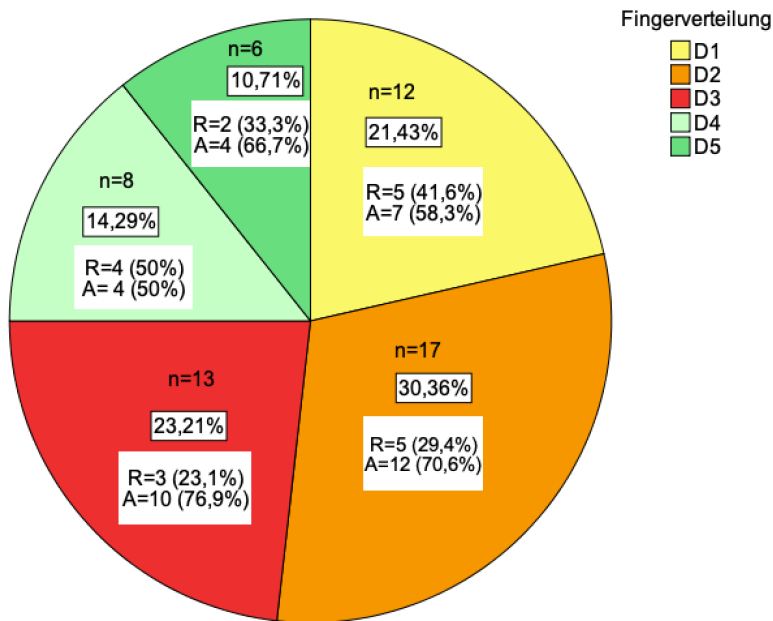
Variable	R	N	S	p-Wert
<b>Betruhe nach OP</b> (Median in d (LQ-UQ))	6 (5 - 7)	7 (6 - 10)	2 (1 - 3)	<b>P=0,001*</b>
<b>Verweildauer</b> (Median in d (LQ-UQ))	16 (13 - 29)	18 (14 - 25)	12 (6 - 18)	<b>P=0,008*</b>
<b>Arbeitsunfähigkeitsdauer</b> (Median in d (LQ-UQ))	96 (17 - 145)	40 (20 - 61)	29 (17 - 63)	P=0,05

## 3.2 Klinische Nachuntersuchung

### 3.2.1 Fingerverteilung der Nachuntersuchung

Eine Übersicht über die Fingerverteilung der nachuntersuchten Patienten nach erfolgreicher Replantation (Gruppe R) und Amputationsgruppe nach primärer und sekundärer Stumpfbildung (Gruppe A) ist in Abb.22 dargestellt. Mit 30,36% war D2 der häufigste nachuntersuchte Finger. Am zweithäufigsten wurde D3 nachuntersucht (23,21%), gefolgt von (D1) 21,43%, (D4) 14,29% und (D5) 10,71%.





### Abb.22 Fingerverteilung der Nachuntersuchung

Die Grafik zeigt die Fingerverteilung der nachuntersuchten Patienten der replantierten Finger (Gruppe R) und der Finger der Amputationsgruppe (primäre und sekundäre Stumpfbildung) (Gruppe A) anhand von Kreisdiagrammen.

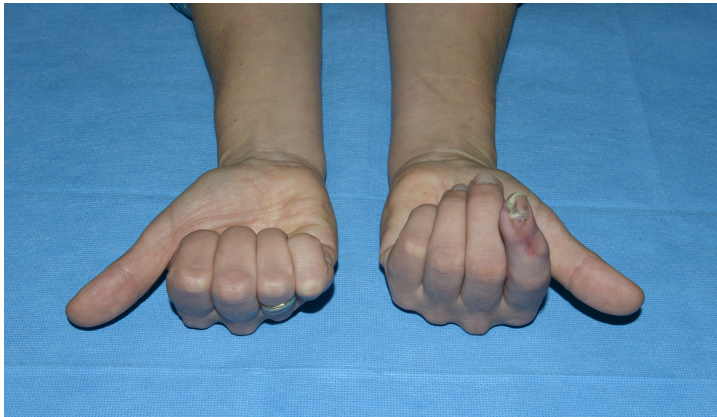
**Abk.:** D1 – Daumen, D2 – Zeigefinger, D3 – Mittelfinger, D4 – Ringfinger, D5 – Kleinfinger, R – Replantationsgruppe, A – Amputationsgruppe

Klinische Verlaufskontrollen mit Kraft-, Bewegungs- und Sensibilitätsmessungen und dem DASH-Fragebogen wurden bei 56 Patienten durchgeführt. Von den 56 Patienten wurden 19 Patienten der Replantationsgruppe (Gruppe R) und 37 Patienten der Amputationsgruppe A (Gruppen N + S) nachuntersucht. Der Bewegungsumfang wurde durch Messung des Fingernageltischabstands (FNTA), Fingerkuppenhohlhandabstand (FKHA) und durch die Goniometermessung bestimmt. Die Nachuntersuchung erfolgte im Median 971 Tage postoperativ, frühestens 6 Monate postoperativ.

### 3.2.2 Bewegungsumfang durch FKHA

Die Messung des FKHA wurde bei 14 der 19 Patienten der Gruppe R durchgeführt. Die fünf Patienten mit Daumenamputationsverletzungen der Replantationsgruppe konnten in dieser Messung nicht berücksichtigt werden, da mit dem FKHA nur das Beuge-/Streckdefizit der Langfinger und nicht des Daumens bestimmt

wird. In der Gruppe R betrug der Median des gemessenen FKHA der erkrankten Hand 2 cm und der Mittelwert 2,14 cm. Maximal wurde ein FKHA von 6 cm und minimal ein FKHA von 0 cm gemessen. In der Gruppe A konnte der FKHA aufgrund der nicht vollständig vorhandenen Fingerlänge durch die Stumpfbildung nicht bestimmt werden.



**Abb.23 FKHA nach Kreissägenverletzung**

Auf dem Foto zu sehen ist die Messung des FKHA. Die Patientin zog sich die Amputationsverletzung durch eine Kreissägenverletzung zu. Bei dieser Patientin betrug der FKHA 4 cm.

**Abk.:** FKHA – Fingerkuppenhohlhandabstand

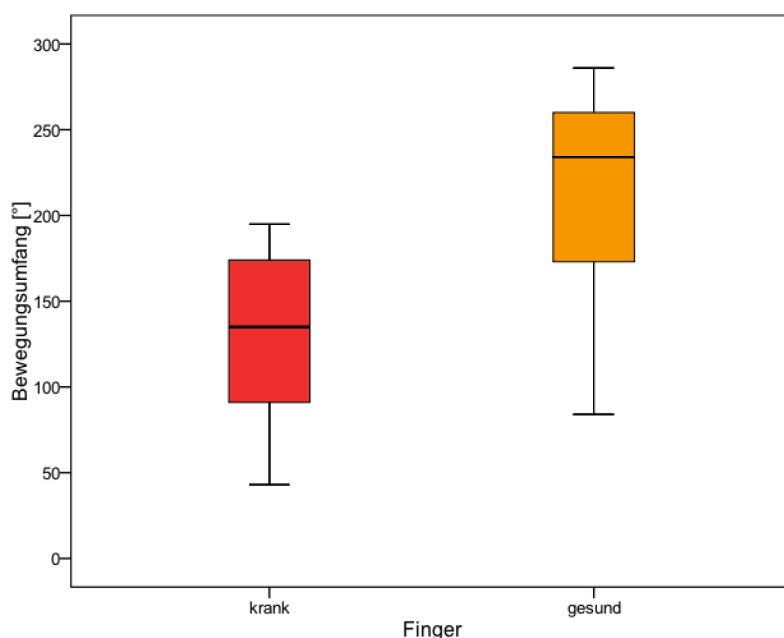
### 3.2.3 Bewegungsumfang durch FNTA

Der FNTA konnte, wie auch der FKHA, bei 14 der 19 Patienten der Gruppe R gemessen werden. Der mediane FNTA der erkrankten Hand in der Gruppe R betrug 0,75 cm, der Mittelwert lag bei 0,86 cm. Der minimal gemessene FNTA betrug 0 cm und der maximal gemessene FNTA eines replantierten Fingers 2 cm. Der FNTA der Gruppe A konnte, ebenso wie der FKHA, aufgrund der nicht vollständig vorhandenen Fingerlänge durch die Stumpfbildung nicht gemessen werden.

### 3.2.4 Bewegungsumfang der Fingergelenke mittels Goniometer

Die Ergebnisse der Messung des totalen Bewegungsumfanges der einzelnen Fingergelenke der gesunden und verletzten Hand sind in nachfolgender Abb.24 dargestellt. In der Gruppe R wurde bei allen 19 Patienten der Bewegungsumfang

der Fingergelenke (MCP- und IP-Gelenke) des verletzten replantierten Fingers, mit dem des gesunden Fingers der Gegenseite verglichen. Mithilfe des Goniometers wurde ein totaler Bewegungsumfang des replantierten Fingers von mindestens  $43^\circ$  und maximal  $195^\circ$  (Umfang  $87^\circ - 178^\circ$ ) gemessen. Der Median des erreichten Bewegungsumfanges der replantierten Finger lag bei  $135^\circ$  und der Mittelwert bei  $132^\circ$ . An der nicht verletzten gesunden Hand wurde ein medianer Bewegungsumfang von  $234^\circ$  erreicht. Der minimal erreichte Bewegungsumfang lag bei  $84^\circ$ , der maximale bei  $286^\circ$  (Umfang  $172^\circ - 260^\circ$ ). Nach erfolgreicher Replantation konnten im Median 58% des Bewegungsumfanges der gesunden Hand erreicht werden.



**Abb.24 Bewegungsumfang der Fingergelenke der Replantationsgruppe**

In der Grafik wurden die Ergebnisse der Messung des totalen Bewegungsumfanges [°] der Fingergelenke der verletzten und gesunden Seite der Studiengruppe R anhand von Box Plots dargestellt.

### 3.3 Sensibilität

#### 3.3.1 Rolyan Semmes-Weinstein-Monofilamentfäden-Test

Durch den Semmes-Weinstein-Monofilamenten-Test (SWM-Test) wurden die Druckempfindlichkeit der Haut und die Reduktion der Sensibilität der verletzten

Nerven bestimmt. Der SWM-Test kam bei 17 Patienten mit 33 Nervenrekonstruktionen in der Gruppe R und bei 37 Patienten mit 74 Nervenrekonstruktionen der Gruppe A zum Einsatz. Zwei der 19 Patienten der Gruppe R mussten von dieser Untersuchung ausgeschlossen werden, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, da bei der Replantation aufgrund der distalen Verletzung keine Nervenkoaptation stattgefunden hatte. Bei einem Patienten konnte während der Operation nur einer der beiden Digitalnerven koaptiert werden, weshalb nur ein Nerv mit in die Auswertung eingehen konnte. Somit wurden insgesamt 54 Patienten mit 107 Nervenrekonstruktionen mittels des SWM-Tests nachuntersucht und die Ergebnisse ausgewertet. In der Gruppe R wurde bei 21,2% eine normale Sensibilität (N) erreicht. Bessere Ergebnisse lieferte die Gruppe A mit 37,8%. Ein vermindertes Berührungsempfinden (DLT) wurde in 48,5% der Fälle in Gruppe R und in 32,4% in Gruppe A festgestellt. Das Auftreten einer verminderten Schutzsensibilität (DPS) wurde ähnlich häufig in den Gruppen R (24,2%) und A (27%) beobachtet. Etwas häufiger mit 24,2% trat die DPS in der Gruppe R auf. Eine aufgehobene Schutzfunktion (LPS) konnte in der Gruppe R in 6,1% der Fälle und in der Gruppe A in 2,7% der Fälle festgestellt werden. Eine Übersicht der Ergebnisse stellt Tab.5 dar.

**Tab.5 SWM-Test**

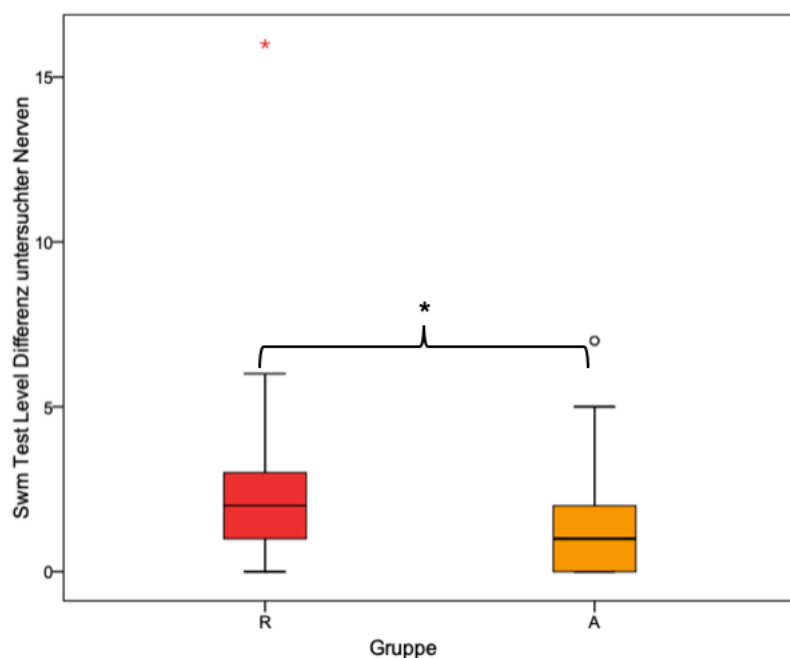
Übersicht über die Anzahl der Nervenverletzungen innerhalb der beiden Gruppen und die Anzahl der messbaren Ergebnisse der statischen 2-PD.

**Abk.:** SWM-Test – Semmes-Weinstein-Monofilament-Test; Gruppe R – Replantationsgruppe; A – Amputationsgruppe (N+S)

	Gruppe R	Gruppe A
Anzahl der Nervenverletzungen	38	74
Anzahl untersuchter Nerven	33	74
Normale Sensibilität (N)	7 (21,2%)	28 (37,8%)
Vermindertes Berührungsempfinden (DLT)	16 (48,5%)	24 (32,4%)
Verminderte Schutzsensibilität (DPS)	8 (24,2%)	20 (27%)
Aufgehobene Schutzfunktion (LPS)	2 (6,1%)	2 (2,7%)

Die 17 verwendeten Monofilamentfäden des SWM-Tests wurden ordinal skaliert, um Differenzen der Sensibilität im Vergleich zur gesunden Seite zu berechnen

und die Reduktion der Sensibilität graphisch darzustellen. Die Level- Differenzen wurden zwischen den Werten der verletzten Digitalnerven und den Werten der nicht verletzten Digitalnerven der Gegenseite ermittelt. In der Gruppe R zeigte sich eine mediane Reduktion um zwei Stufen und im Gegensatz dazu eine medianen Reduktion um eine Stufe in der Gruppe A. Auffällig war das Auftreten eines extremen Ausreißers in Gruppe R. Box Plots zum Vergleich der Reduktion der Sensibilität nach Nervenverletzungen der beiden Gruppen sind in nachfolgender Abb.25 abgebildet. Durch den Mann-Whitney-U-Test konnte ein signifikant besseres Wiedererlangen der Sensibilität (\*p=0,034) in der Gruppe R nachgewiesen werden.



**Abb.25 SWM-Test Level Differenz untersuchter Nerven**

In der Grafik abgebildet wurden die Ergebnisse der SWM-Tests Stufen Differenz koaptierter Nerven der Studiengruppen R und A.

**Abk.:** SWM-Test – Semmesweinsteinmonofilament Test, R – Replantationsgruppe, A – Amputationsgruppe

### 3.3.2 Zwei-Punkte-Diskrimination (2-PD)

Um das Wiedererlangen der Sensibilität nach Nervenrekonstruktion zu überprüfen, wurde die statische 2-PD bestimmt. Da nicht in allen Fällen eine 2-PD mit einem Abstand < 15mm bestimmt werden konnte wurden zunächst die messbaren Ergebnisse ausgewertet. In der Gruppe R konnte die statische 2-PD bei

29/33 erfolgreichen Nervenkoaptationen (87,9%) bestimmt werden. Ähnliche Ergebnisse lieferte die Gruppe A mit einer messbaren statischen 2-PD von 89,2%. Eine Übersicht über die messbaren Ergebnisse der 2-PD ist in folgender Tab.6 und die graphische Darstellung in Abb.26 dargestellt.

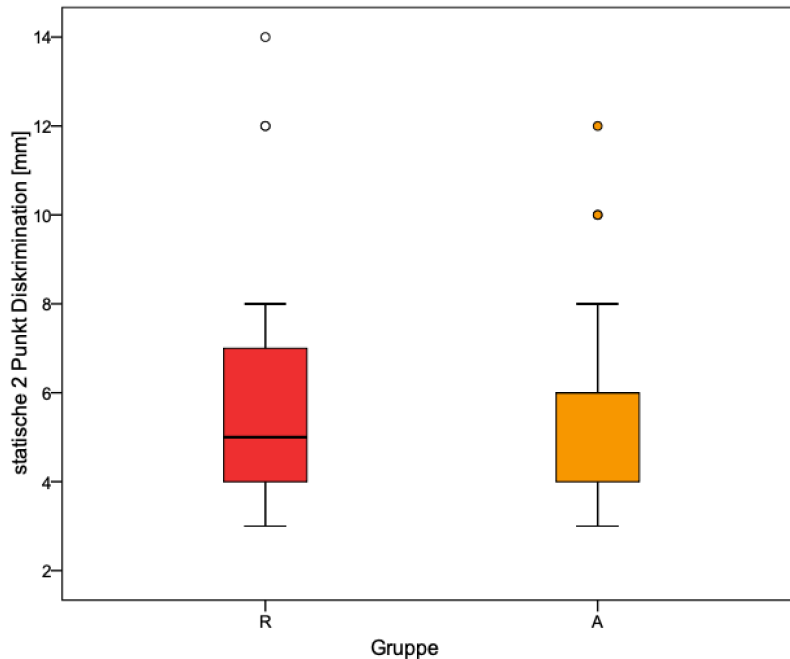
**Tab.6 2-PD**

Übersicht über die Anzahl der Nervenverletzungen innerhalb der beiden Gruppen und die Anzahl der messbaren Ergebnisse der statischen 2-PD.

**Abk.:** 2-PD – 2 Punkte Diskrimination; Gruppe R – Replantationsgruppe; A – Amputationsgruppe

	<b>Gruppe R</b>	<b>Gruppe A</b>
Anzahl der Nervenverletzungen	38	74
Anzahl der rekonstruierten Nerven	33	-
Anzahl Nerven mit messbarer statischer 2 PD	29 (87,9%)	66 (89,2%)

Bei der statischen 2-PD betrug der Median der messbaren Ergebnisse in der Gruppe R 5 mm, verglichen mit 6 mm in der Gruppe A. Die messbaren Ergebnisse der statischen 2-PD der Studiengruppen R und A wurde anhand von Box Plots in der nachfolgenden Grafik 25 dargestellt. Durch den Mann-Whitney-U-Test konnte kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,97$ ) zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden.



**Abb.26 statische 2-PD**

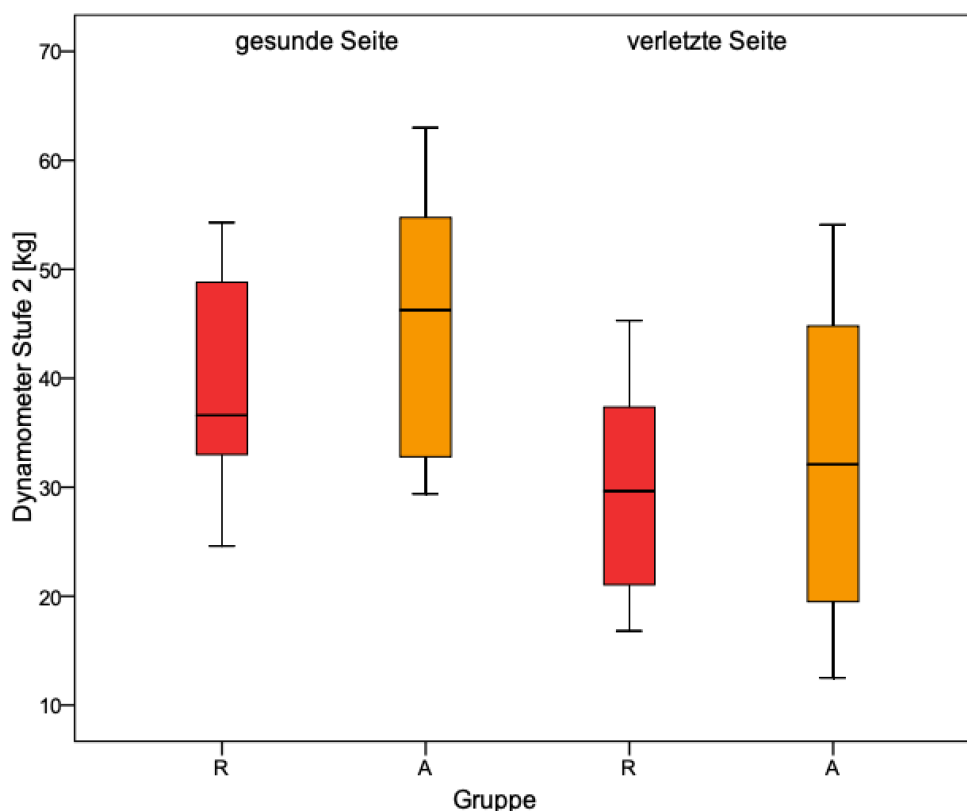
In der Grafik 26 wurden die Ergebnisse der messbaren statischen 2-PD (gemessen in mm) der Studiengruppen R und A anhand von Box Plots dargestellt.

**Abk.:** 2-PD – Zwei-Punkte-Diskrimination, R – Replantationsgruppe, A – Amputationsgruppe

### 3.4 Kraftmessung

Das Wiedererlangen der groben Kraft, gemessen in kg, wurde mithilfe des unter 2.6.1 beschriebenen Dynamometers bestimmt. Die Kraftmessung konnte bei 14 Probanden der Gruppe R und 37 Probanden der Gruppe A durchgeführt werden. Von jedem Studienteilnehmer der beiden Studiengruppen wurde die Kraft der verletzten als auch der gesunden Hand gemessen. Die mediane Kraft der verletzten Hand betrug in der Gruppe R 33,8 kg. In der Gruppe A hingegen wurde im Median nur eine Kraft von 28,5 kg erreicht. Jedoch war in der Gruppe R mit nur 29% (4/14 Fällen) die dominante Hand deutlich seltener von der Verletzung betroffen als in der Gruppe A, in der 59,4% (22/37 Fällen) die dominante Hand betrafen. Bei den Kraftmessungen der gesunden Hand lag der Median in der Gruppe R mit 36,6 kg deutlich unter dem der Gruppe A mit 47 kg. Zu beachten ist, dass die mediane Kraft der gesunden Hand in der Gruppe A höher lag als in der Gruppe R. Dieses Ergebnis könnte darauf hinweisen, dass in der Gruppe A

die Personen eine bessere Ausgangskraft hatten als Probanden der Gruppe R. Die Ergebnisse der Dynamometermessung der Studiengruppen R und A der gesunden und kranken Seite wurden anhand von Box Plots in der nachfolgenden Abb.27 dargestellt. In der Gruppe R wurden nach der Verletzung 92,3% der Kraft der gesunden Hand erreicht. Im Gegensatz dazu konnten nach primärer und sekundärer Stumpfbildung nur 60,6% der Kraft der gesunden Hand erreicht werden. Mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests zeigte sich bei der Dynamometermessung in der Gruppe A eine signifikant reduzierte Kraft der verletzten Seite im Vergleich zur gesunden (\*p=0,000). Innerhalb der Gruppe R konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der verletzten und gesunden Seite (p=0,125) festgestellt werden. Des Weiteren fand sich kein signifikanter Unterschied der Kraft zwischen den gesunden Seiten beider Gruppen (p=0,095) und den verletzten Seiten beider Gruppen (p=0,658).



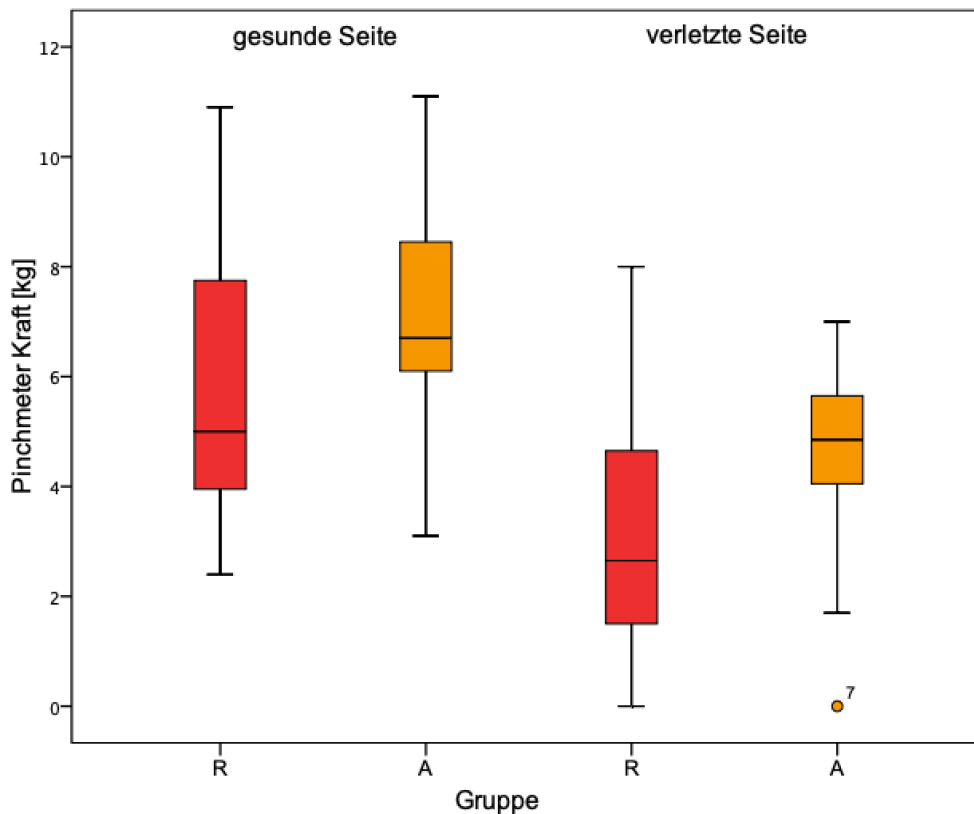
**Abb.27 Kraftmessung Dynamometer**

In den beiden Grafiken wurden die Ergebnisse der Dynamometermessung der verletzten und gesunden Hand der Studiengruppen R und A anhand von Box Plots dargestellt.

**Abk.:** R – Replantationsgruppe, A – Amputationsgruppe



Die Kraft der einzelnen Finger wurde mithilfe des Pinchmeters, wie im Teil Patienten und Methoden, Abschnitt 2.6.2 beschrieben, überprüft. Gemessen wurde der Gegengriff des Daumens und des betroffenen Fingers der verletzten im Vergleich zur gesunden Seite. Im Falle einer Daumenamputationsverletzung wurde der am nächsten gelegene unverletzte radiale Finger für die Messung herangezogen. In der Gruppe R konnte bei drei der 19 Probanden dieser Test nicht durchgeführt werden, da das Gerät zum Untersuchungszeitpunkt nicht vorhanden war. In der Gruppe A konnte diese Kraftmessung bei zwei von 37 Probanden aufgrund desselben Grundes nicht in die Auswertung aufgenommen werden. Der Pinchtest im Gegengriff wurde somit bei insgesamt 51 Patienten durchgeführt. In der Gruppe R betrug die mediane Kraft des Spitzgriffs der gesunden Hand 5 kg, die der kranken Hand hingegen 2,7 kg. Bei den Kraftmessungen der Gruppe A wurden bei dem Spitzgriff der gesunden Finger im Median 6,2 kg gemessen und bei dem Gegengriff der verletzten Finger 3,4 kg. Im Gruppenvergleich erreichten beide Gruppen ähnliche Ergebnisse bezogen auf die Ausgangskraft, 55% (Gruppe A) vs. 54% (Gruppe R). Die Ergebnisse des Pinchtests der Studiengruppen R und A der gesunden und kranken Seite wurden anhand von Box Plots in der nachfolgenden Abb.28 abgebildet. Mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests konnte bei der Messung mit dem Pinchmeter eine signifikant reduzierte Kraft der verletzten Seite sowohl innerhalb der Gruppe R (\* $p=0,004$ ) als auch der Gruppe A (\* $p=0,000$ ) gezeigt werden. Zwischen den gesunden Seiten beider Gruppen ( $p=0,239$ ) und den verletzten Seiten beider Gruppen ( $p=0,471$ ) konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.



**Abb.28 Kraftmessung Pinchmeter**

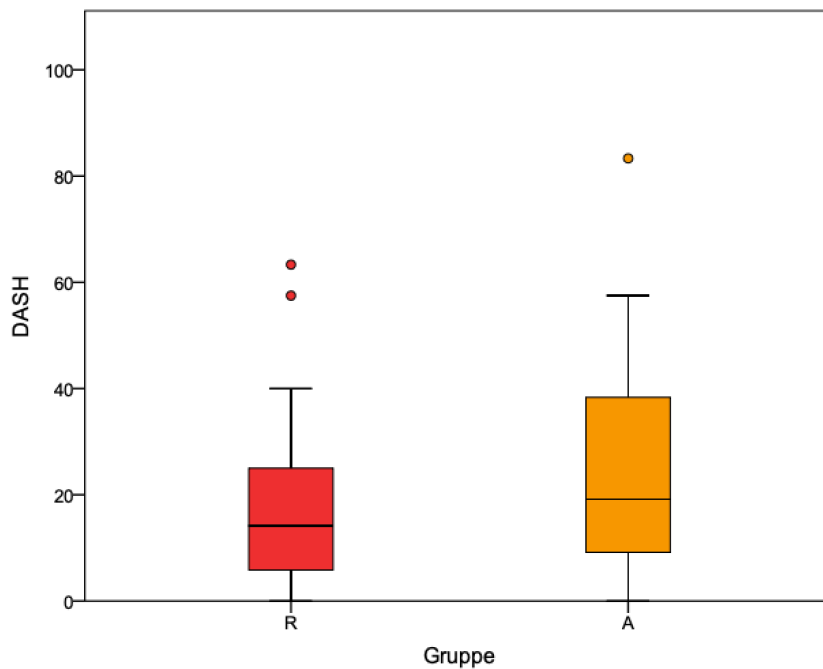
In den beiden Grafiken dargestellt wurden die Ergebnisse des Pinchtest der kranken und gesunden Hand der Studiengruppen R und A anhand von Box Plots.

**Abk.:** R – Replantationsgruppe, A – Amputationsgruppe

### 3.5 DASH-Score

Der DASH-Score wurde, wie unter 2.5 beschrieben anhand der Antworten des DASH-Fragebogens errechnet. Die Auswertung mittels des DASH-Fragebogens konnte bei allen 56 Patienten erfolgen. Durch die Berechnung des DASH-Scores konnte ein Mindestscore von 0 und ein Maximalscore von 100 erreicht (s. 2.5) werden. Der mediane DASH-Score der Gruppe R (14,17) lag niedriger als der mediane DASH-Score der Gruppe A (19,17). Somit erreichte die Gruppe R das bessere Ergebnis. Der Ausreißer der Gruppe A lagen ebenso wie die obere deutlich über den Ausreißern und dem Maximalwert der Gruppe R (63,33). Dennoch konnte mit dem Mann-Whitney-U-Test keine statistische Signifikanz zwischen beiden Gruppen festgestellt werden ( $p=0,436$ ). Die Ergebnisse des DASH-

Scores der Studiengruppen R und A wurden anhand von Box Plots dargestellt und sind in der nachfolgenden Abb.29 abgebildet.



**Abb.29 DASH-Score**

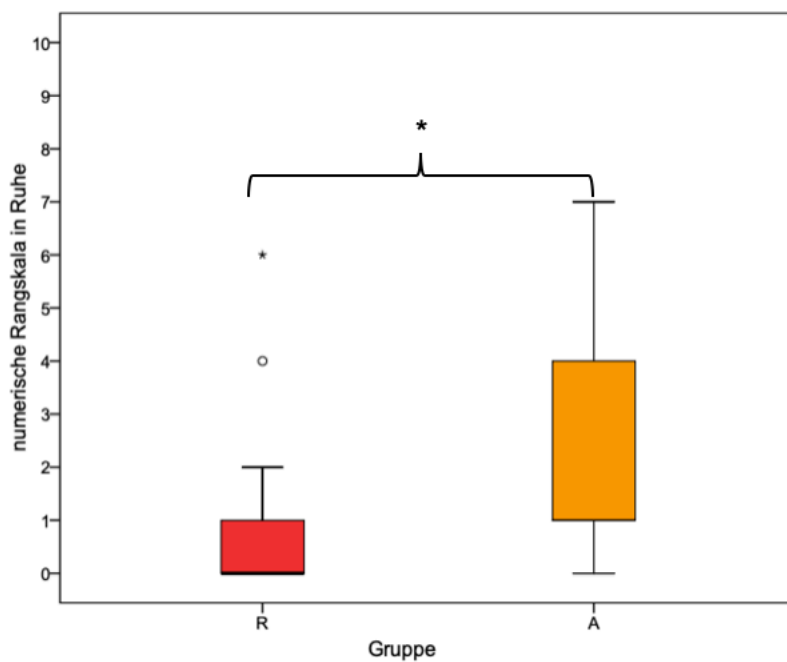
In der Grafik abgebildet wurden die Ergebnisse des DASH-Scores der Studiengruppen R und A anhand von Box Plots.

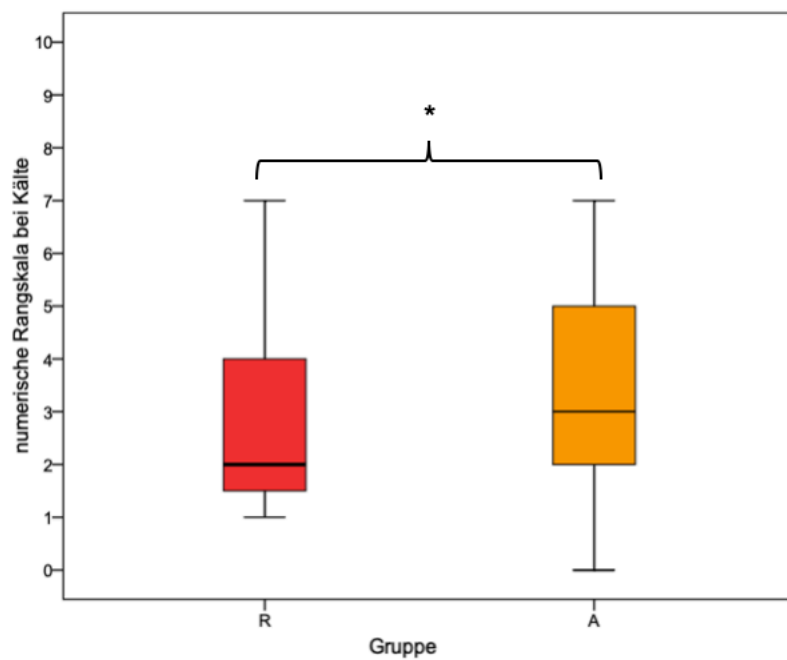
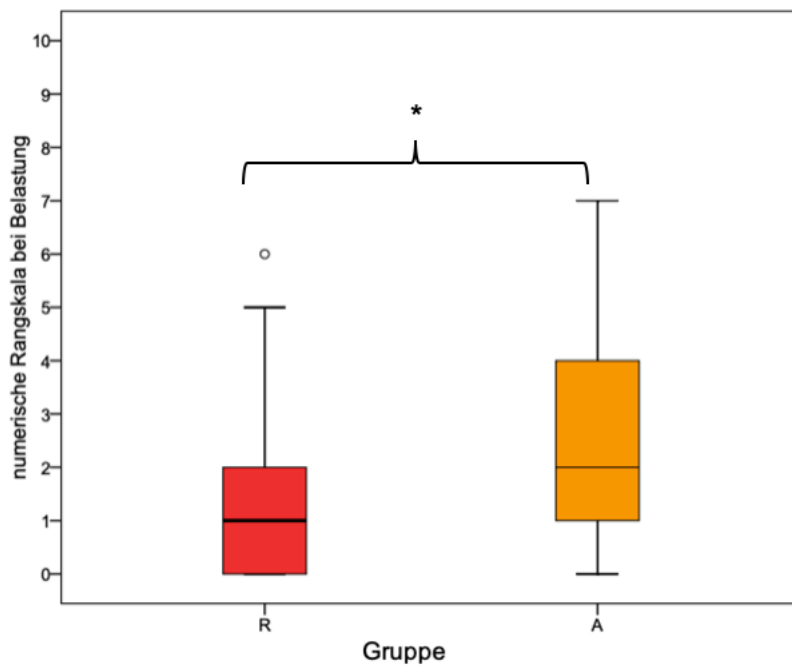
**Abk.:** R – Replantationsgruppe, A – Amputationsgruppe

### 3.6 NRS

Das subjektive Schmerzempfinden konnte, wie im Abschnitt „Patienten und Methoden“ unter 2.7 beschrieben, mittels der NRS bei allen 56 Patienten bestimmt werden. Erfragt wurde die NRS in Ruhe, bei Belastung und bei Kälte. Deutliche Divergenzen in der subjektiven Schmerzwahrnehmung traten sowohl innerhalb der Gruppen, als auch zwischen den beiden Gruppen auf. Die stärkste Schmerzintensität mit einer medianen NRS von drei gaben die Patienten der Gruppe A bei Kälte an. Weniger starke Kälteschmerzen mit einer medianen Schmerzintensität von zwei wurden von den Patienten der Gruppe R beschrieben. Am deutlichsten zeigten sich zwischen den Studienpopulationen Unterschiede im subjektiven Schmerzwahrnehmen in Ruhe. Während die Patienten der Gruppe R im Median in Ruhe keine Schmerzen beschrieben, traten bei Patienten der Gruppe A auch in Ruhe Schmerzen auf. Bei Belastung lag in der

Gruppe R die NRS im Median einen Rang eine unter der NRS der Gruppe A mit zwei. Bezüglich des subjektiven Schmerzempfindens erzielte die Gruppe R in allen drei Schmerzqualitäten die besseren Ergebnisse. Durch Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests konnte eine signifikante Differenz zwischen den beiden Gruppen und den Schmerzen in Ruhe (\*p=0,013), bei Belastung (\*p=0,009), und bei Kälte (\*p=0,039) festgestellt werden. Die Ergebnisse der NRS der Studien- gruppen R und A wurden anhand von Box Plots dargestellt und sind in den nach- folgenden Abb.30-32 abgebildet.





**Abb.30 bis 32 numerische Rangskala (NRS) in Ruhe, bei Belastung und bei Kälte**

In der Grafik abgebildet wurden die Ergebnisse der visuellen Analogskala der Studiengruppen R und A anhand von Box Plots.

**Abk.:** R – Replantationsgruppe, A – Amputationsgruppe

## 4 Diskussion

Seit der ersten erfolgreichen Daumenreplantation durch Komatsu und Tamai 1965 [4-8] wurden in den letzten Jahrzehnten zahlreiche Fingerreplantationen durchgeführt und die Resultate anhand des Replantatüberlebens verglichen [6,8,16-22,24-26,28-31,66-70]. Replantationen haben sich dadurch weltweit zu einem Goldstandard der Versorgung von Fingeramputationsverletzungen bei gerechtfertigter Indikation entwickelt. Dennoch werden auch Replantationsindikationen kontrovers diskutiert [8,71]. Replantierte Finger resultieren oft in Steifheit [9,12], Unbeweglichkeit [12] und Kälteintoleranz [72,73]. Brown geht sogar so weit, in seiner Veröffentlichung von 1982 zu behaupten, dass ein gut verheiltes funktioneller Stumpf für viele Patienten die beste Lösung sei [74].

Heutzutage werden in den USA im Vergleich zu vor 15 Jahren deutlich weniger Replantationen durchgeführt und die verbliebene 62% der Handchirurgen, welche Replantationen noch durchführen, machen dies weniger als fünfmal pro Jahr, und somit eher selten [8]. Dabei spielen technische und praktische Gründe, sowie eine oft nicht ausreichende Expertise eine Rolle. Nicht vergessen werden darf, dass das Replantatüberleben nicht nur von der Operationstechnik, sondern auch von der Motivation der Patienten abhängt [75]. Obwohl es bisher viele Studien über das Replantatüberleben gibt, beschreiben nur wenige Studien die funktionellen und sensiblen Langzeitergebnisse nach Daumenreplantationen [4,7,14] und nur eine dieser genannten Studien vergleicht die Resultate zwischen erfolgreichen Replantationen und Nachamputationen. Studien über das funktionelle und sensible Ergebnis nach Replantationen vs. Nachamputationen und primärer Stumpfbildung, welche Daumen und Langfinger einschließen, konnten durch unsere Literaturrecherche nicht gefunden werden.

### 4.1 Replantatüberleben und Verletzungsmechanismus

Das Langzeitüberleben nach Replantation variiert in der bisherigen Literatur deutlich und wird zwischen 29 bis über 90% angegeben

[7,8,11,16,18,19,28,67,69]. In unserer Studie betrug die Erfolgsrate 55%. Dieses Ergebnis ist mit einer von Fufa et al. 2013 in den USA veröffentlichten Studie vergleichbar. In dieser Studie fand sich eine Überlebensrate von 57% und der Verletzungsmechanismus wurde klassifiziert in Glatte-, Quetsch- und Avulsionsverletzungen. Die Indikation zur Replantation in dieser Studie wurde dann gestellt, wenn sich die Amputationslinie distal des Ansatzes der Sehne des Musculus Flexor digitorum superficialis befand. Das Ergebnis dieser Studie stellte sich als die höchste Erfolgsrate innerhalb der letzten 10 Jahre in den USA heraus [8]. Im Vergleich zu unserer Studie waren jedoch 69% der Amputationen glatte Verletzungen, während in unseren Gruppen schwieriger zu replantierende Kreissägenverletzungen den größten Anteil ausmachten. Deutlich schlechtere Ergebnisse als die genannten, mit einem Replantatüberleben von 39,5%, wurden 1977 in einer anderen Studie publiziert. Hierbei wurden die Verletzungen in glatte (32,5%), Quetsch (65,1%) und Avulsionsverletzungen (2%) unterteilt [66]. Es wäre denkbar, dass das Replantatüberleben 1977 aufgrund noch nicht ausreichend ausgereifter chirurgischer Techniken schlechter ausfiel. Agarwal et al veröffentlichten 2010 eine Studie einer 92%-igen Überlebensrate nach Daumenamputationsverletzungen. Hierbei wiesen die glatten Amputationsverletzungen ein Überleben von 94% auf, Avulsions-, und Quetschverletzungen von 89%, dabei lag das Durchschnittsalter bei 42 Jahren [19]. Zwischen 1958 und 1980 wurden in Japan 228 Finger replantiert und die Erfolgsrate betrug 87%. In dieser Studie waren die meisten Patienten zum Verletzungszeitpunkt zwischen 20 und 40 Jahre alt [5]. In unserer Studie wies der überwiegende Anteil der Patienten zum Verletzungszeitpunkt ein Alter zwischen 41 bis 60 Jahre auf, der Altersdurchschnitt lag somit deutlich höher. Ein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des Replantationsüberlebens bei den unter 41-jährigen Patienten konnte in unserer Studienpopulation jedoch nicht nachgewiesen werden. Des Weiteren wurden in der zuvor beschriebenen Publikation mit der Erfolgsrate von 87% auch die inkompletten Amputationsverletzungen hinzugezählt. Dadurch könnte Bias entstanden sein, da subtotale Amputationen ein besseres Überleben aufweisen als komplette Amputationsverletzungen [5,29]. Von den unterschiedlichen

Verletzungsmechanismen zeigten in der Vergangenheit glatte Verletzungen ein signifikant besseres Überleben als Quetsch- und Avulsionsverletzungen [16].

Unserer Einteilung des Verletzungsmechanismus in vier Kategorien steht in Übereinstimmung mit einer Veröffentlichung aus dem Jahr 1996 von Janezic, welche nach kompletten Daumenamputationsverletzungen ebenfalls eine Unterteilung in Glatte-, Kreissägen-, Avulsions- und Quetschverletzungen vornahm [29]. Auch hier führten Kreissägenverletzungen am häufigsten zur Amputation (60%). Das Replantatüberleben nach KSV wurde mit 69% angegeben, nach glatten Amputationsverletzungen zeigte sich auch hier mit 75% Erfolgsrate das beste Ergebnis. Die schlechtesten Überlebensraten wurden ebenso nach Avulsionsverletzungen mit 50% Überlebensrate und Quetschverletzungen mit 60% Replantatüberleben beobachtet. Das gesamte Replantatüberleben war in dieser Veröffentlichung mit 66% etwas besser als das unsere. Die Ergebnisse dieser Studie sind annähernd vergleichbar mit den von uns erhobenen Daten. Glatte Amputationsverletzungen wiesen nach unserer Studienlage mit 66,7% das beste Replantatüberleben auf, gefolgt von Kreissägenverletzungen mit 60,5%. Deutlich schlechtere Ergebnisse lieferten Avulsionsverletzungen mit 46,2% und Quetschverletzungen mit einer nur 40,5%-igen Überlebenswahrscheinlichkeit. In allen drei unserer Studiengruppen war der häufigste Amputationsmechanismus die Verletzung durch die Kreissäge. Glatte Durchtrennungen traten in der Gruppe R häufiger auf als in den Gruppen N und S. Im Vergleich zu einigen vorangegangenen Studien hatten wir eine deutlich größere Anzahl an schweren Verletzungsmechanismen wie KSV-, Quetsch- und Avulsionsverletzungen zu verzeichnen. Trotz der klinisch relevanten Unterschiede konnte dennoch in unserer Studienpopulation kein statistisch signifikanter Unterschied durch den Verletzungsmechanismus nachgewiesen werden. Die in der Literatur beschriebene Lokalisation von Kreissägenverletzungen deckt sich mit unseren Ergebnissen. Kreissägenverletzungen führen häufig zu einer proximalen Fingeramputationsverletzung und je proximaler die Amputation, desto häufiger ist das Auftreten von Mehrfingeramputationsverletzungen [34,35].



## 4.2 Amputationshöhe

In einer 22-Jahresperiode zwischen 1958 und 1980 wurden in Japan 228 Finger replantiert, hierbei traten 80% der Fingerverletzungen auf Höhe Tamai Level III bis V auf [5]. Bei den Langfingeramputationsverletzungen in unserer Studie trat die Amputation am häufigsten proximal der Ansatzsehne der FDS auf Höhe Tamai Level IV (52,4%) auf. 26,2% der Verletzungen betrafen Tamai Level II und 21,4% Level III. Insgesamt fanden 48% der Amputationen distal der Ansatzsehne der FDS und 52% proximal statt. Auch bei den Daumenamputationsverletzungen traten proximale Amputationen auf Höhe Tamai Level III (34,6%) und IV (19,2%), häufiger auf als distale Verletzungen auf Höhe Tamai Level I (11,5%) und II (34,6%). In vorangegangenen Studie korrelierten Amputationsverletzungen proximal der FDS mit einem schlechteren Transplantatüberleben [10,12,76]. Agarwal hingegen beschreibt in seiner 2010 veröffentlichten Studie einen nicht signifikanten Trend mit schlechterem Überleben je weiter distal sich die Amputation befindet [19]. Eine Assoziation zwischen Überleben und dem Verletzungsmechanismus konnte in eben genannter Publikation nicht nachgewiesen werden. Sharma et al konnten ebenfalls keine Korrelation zwischen des Daumenreplantatüberlebens und dem Verletzungsmechanismus, der Höhe der Amputation oder dem Einsatz von Veneninterponaten verzeichnen. Jedoch scheint es, als habe die Verwendung von Veneninterponaten einen positiven Einfluss auf das Replantatüberleben bei schweren Quetsch- und Avulsionsverletzungen [24]. Wie auch bei Sharma et al. hatte die Höhe der Amputation keine statistisch signifikante Relevanz auf das Replantatüberleben in der vorliegenden Studie.

## 4.3 Risikofaktoren für Replantatversagen

Bezüglich des Einflusses auf das Replantatüberleben werden in der Literatur unterschiedliche Risikofaktoren diskutiert. Als Risikofaktoren für ein Replantatversagen gelten unter anderem sowohl vaskuläre Nebenerkrankungen wie Diabetes mellitus [8,77] und Nikotinabusus [27,59,67], als auch die Anzahl koaptierter Gefäße [8,67]. In unserer Studienpopulation konnte ein statistisch signifikanter

Unterschied auf das Replantatüberleben durch die Anzahl koaptierter Venen (\* $p=0,001$ ), jedoch nicht durch die Anzahl koaptierter Arterien ( $p=0,459$ ) gezeigt werden. Die Verwendung von Veneninterponaten oder das Vorhandensein vaskulärer Nebenerkrankungen hatte keinen Einfluss auf das Replantatüberleben. Nichtraucher erwiesen eine Tendenz zur Signifikanz für ein besseres Replantatüberleben ( $p=0,0685$ ) und zeigten eine nahezu doppelte Häufigkeit in der Gruppe der erfolgreichen Replantationen. Es wäre denkbar, dass bei einer größeren Fallzahl ein signifikant besseres Ergebnis erreicht werden würde. Ergebnisse in Übereinstimmung mit unserer Studie liefert eine von Fufa et al publizierte Studie, in der Nichtraucher und die Anzahl koaptierter Venen ein signifikant besseres Überleben darstellten [8]. Durch das Alter, das Geschlecht, den Einsatz von Veneninterponaten, vaskuläre Nebenerkrankungen und auch die Händigkeit der Patienten konnte, wie auch in unserer Studie, kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

#### **4.4 Funktionelle Ergebnisse und Bewegungsumfang**

In den bisher wenigen Studien wurde meist nur über das funktionelle Ergebnis nach Daumenreplantationen und nicht nach Langfingerreplantationen berichtet [4,7,19]. Zudem wurde nur in einer der Studien das funktionelle- und Regenerationsergebnis zwischen Replantationen und Nachamputationen verglichen [7].

Mithilfe des FKHAs und FNTAs konnte die Streck- und Beugefähigkeit der Langfinger bestimmt werden. Dabei konnten diese Messungen nur in der Gruppe R durchgeführt werden. Da der median gemessene FKHA größer ausfiel als der mediane FNTA, spricht dies für ein stärkeres Beuge- als Streckdefizit. Erklären könnte man dies dadurch, dass in einigen Fällen zur Knochenstabilisierung eine Arthrodese in leichter Flexion durchgeführt wurde und dadurch der Patient nicht mehr die Möglichkeit hatte, das Fingergelenk komplett zu extendieren. Zudem kommt es meistens zu Verklebungen der Sehnen, wodurch Bewegungseinschränkungen verursacht werden. Verantwortlich könnte jedoch auch eine nicht ausreichende Beübung des Gelenkes aufgrund mangelnder Patientencompliance sein.

In einer Veröffentlichung des medizinischen Zentrums für Orthopädie der Duke University wurde im Durchschnitt ein Bewegungsumfang der Fingergelenke von 206° gemessen [40]. Schlechtere Ergebnisse als die zuvor genannten wurden in einer Metaanalyse 2011 veröffentlicht. Der totale Bewegungsumfang der Finger wurde in 13 Studien bestimmt. Der wiedererlangte totale Bewegungsumfang nach erfolgreichen Replantationen betrug 174°. Die Daten des Bewegungsumfanges wurden ausschließlich nach Finger- und nicht nach Daumenreplantationen erhoben [17].

Im Rahmen unserer Nachuntersuchung lag der Fingerbewegungsumfang nach Replantation mit durchschnittlich 132° und einem Median von 135° unter dem der vorangegangenen Studie. Ausschlaggebend hierfür könnte sein, dass in den vorangegangenen Studien nur der Bewegungsumfang der Langfinger gemessen wurde. Da der Daumen ein Gelenk weniger aufweist als die Langfinger, ist auch der Bewegungsumfang geringer. Unsere Vermutung bestätigt eine 2006 veröffentlichte Studie von Unglaub et al., in welcher der durchschnittliche Bewegungsumfang nach Daumenreplantationen 56° betrug [4]. In einer weiteren 2013 veröffentlichten Studie lag der durchschnittliche Bewegungsumfang nach Avulsionsverletzungen des Ringfingers bei 185° [20]. In der zuletzt genannten Studie könnte das bessere Resultat darauf zurückzuführen sein, dass die überwiegende Anzahl der Avulsionsverletzungen distal des Ansatzes der FDS auftraten und die Patienten dadurch weniger Bewegungseinschränkungen aufwiesen. Zudem fand die Nachuntersuchung frühestens 1 Jahr postoperativ statt. Im Vergleich dazu wurden Patienten in unserer Studie bereits nach 6 Monaten postoperativ untersucht. Möglicherweise hätte sich das Ergebnis durch eine spätere Nachuntersuchung zu einem besseren Ergebnis verändern können.

Die amerikanische Gesellschaft für Handchirurgie teilt die Ergebnisse des Bewegungsumfanges der Fingergelenke nach Sehnenrekonstruktionen in unterschiedliche Kategorien ein. Ein exzellentes Ergebnis wird bei 100%, ein gutes Ergebnis zwischen 75-99%, ein befriedigendes Ergebnis zwischen 50-74% und ein schlechtes Ergebnis kleiner 50% des Bewegungsumfanges im Vergleich zum gesunden Finger erreicht [17,78]. Mit einem medianen Bewegungsumfang von 58% erreichten die an unserem Zentrum replantierten Finger laut der

amerikanischen Gesellschaft für Handchirurgie ein befriedigendes Ergebnis. In einer Studie von Janezic wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen funktionellem Outcome und Amputationshöhe festgestellt [14].

#### **4.5 Regeneration der Sensibilität**

In der Gruppe R war die Rate der messbaren statischen 2-PD mit medianen 5mm leicht besser im Vergleich zur Gruppe A mit medianen 6mm. Ähnliche, wenngleich auch leicht schlechtere Ergebnisse wurden im Rahmen einer Metaanalyse im September 2011 mit 30 Studien gemessen. Insgesamt wurden in diesen Studien 2.273 replantierte Finger evaluiert. Die Sensibilitätsbestimmung anhand der Zwei-Punkte-Diskrimination wurde in zwölf der 30 Studien bestimmt und betrug im Mittel 7mm [16]. In einer vorangegangenen Studie des medizinischen Zentrums für Orthopädie der Duke University konnte zwischen 1974 und 1979 bei neun erfolgreichen Re-Vaskularisationen eine durchschnittliche 2-PD von 10mm gemessen werden [40]. Im Vergleich zu dieser Studie lagen unsere Messergebnisse über denen der zuvor genannten Studie.

Unsere Patienten wurden frühestens 6 Monate postoperativ einbestellt, in einer anderen Studie jedoch erst nach einem Jahr [20]. Auch eine unter Spannung durchgeführte Naht könnte ein Grund für dieses schlechte Regenerationsergebnis sein.

In einer von Adani 2013 veröffentlichten Studie wurde die Sensibilität nach kompletten Avulsionsverletzungen anhand der statischen und dynamischen 2-PD überprüft. Bei der statischen 2-PD wurden Werte zwischen 9-15mm (Mittelwert 12 mm), bei der dynamischen 2-PD Werte zwischen 8-15mm (Mittelwert 10 mm) gemessen [20]. Im Gegensatz zu unserer Studie wurde die 2-PD in der zuvor beschriebenen Studie nur bei den erfolgreichen Replantationen gemessen. Es liegen somit keine Vergleichswerte der 2-PD nach primärer oder sekundärer Stumpfbildung vor. Goldner et al veröffentlichte 1990 eine Studie, in der Patienten nach Daumennachamputationen deutlich häufiger eine 2-PD < 7mm erreichten, als diejenigen nach erfolgreicher Daumenreplantation [7]. Hierbei kam es bei

5% der Patienten nach erfolgreicher Daumenreplantation zu keinem Wiedererlangen der Sensibilität.

Während die 2-PD die räumliche Diskrimination misst, misst der SWM-Test die Druckempfindlichkeit der Haut [56]. Kritik an der 2-PD Messung ist, dass es sich um einen nicht objektiver Test handelt, da es untersucherabhängig ist, einen standardisierten Druck auf die Haut auszuüben [46,56,79]. Deshalb sollten die Untersuchungen immer von demselben Untersucher durchgeführt werden.

Im Gegensatz zur 2-PD stellt die Testung mittels Semmes Weinstein Monofilamentfäden eines der verlässlichsten objektiven Testverfahren zur Evaluation der Regenerationsergebnisse dar [46,80]. Laut unserer Literaturrecherche wurden die Regenerationsergebnisse jedoch in anderen Replantationsstudien meist nur anhand der nicht objektivierbaren 2-PD und nur in einer Studie anhand des objektiven SWM-Test gemessen [4]. In dieser 2006 veröffentlichten Studie wurde das Regenerationsergebnis nach 24 erfolgreichen Daumenreplantationen anhand des SWM-Test überprüft. Bei einem Patienten (4%) zeigte sich eine normale Sensibilität, sechs Patienten (25%) wiesen ein vermindertes Berührungsempfinden auf (DLT), bei 13 Patienten (54%) war eine verminderte Schutzsensibilität vorhanden (DPS), bei drei Patienten (12%) lag eine aufgehobene Schutzfunktion vor und bei 4% war keine Testung möglich. Hierbei konnte ein signifikant schlechteres Ergebnis bei Patienten mit Quetsch- und Avulsionsverletzungen, verglichen mit glatten Verletzungen gezeigt werden [4]. Im Vergleich zur vorliegenden Studie konnte in unserer Gruppe R bei 21,2% der Patienten eine normale Sensibilität gemessen werden. Eine DLT wurde bei 48,5%, eine DPS bei 24,2% und eine LPS bei 6,1% gemessen.

Als möglicher Einflussfaktor auf schlechte Regenerationsergebnisse nach Nervenrekonstruktion wird in der Literatur ein Patientenalter > 54 Jahre diskutiert [81].

## 4.6 Kraftmessung mittels Dynamometer und Pinchmeter

Bei den Dynamometer Kraftmessungen fiel auf, dass die Studienteilnehmer der Gruppe A eine deutlich größere mediane Kraft der gesunden Hand erreichten als die Probanden der Gruppe R. Daraus lässt sich schließen, dass Patienten der Gruppe A mehr Kraft in der gesunden Hand entwickeln konnten als Probanden der A. Während jedoch die Patienten nach erfolgreicher Replantation 92,3% der Ausgangskraft erreichten, konnten nach primärer und sekundärer Stumpfbildung nur 60,6% der Kraft der gesunden Hand gemessen werden. Dahingegen traten bei der Kraftmessung mit dem Pinchmeter vernachlässigbar geringe Gruppenunterschiede auf. In der Gruppe R konnte 54% der ursprünglichen Kraft, verglichen mit 55% in der Gruppe A gemessen werden. Somit hatten die Patienten der Gruppe R die geringsten Krafeinbußen, obwohl durch die Replantation nicht wieder die ursprüngliche Kraft hergestellt werden konnte. Kraftunterschiede der gesunden Hand im Gruppenvergleich könnten damit zusammenhängen ob jeweils die dominante oder nicht dominante Hand des Patienten von der Verletzung betroffen ist [55].

In einer 2002 veröffentlichten Studie konnten statistisch signifikante Unterschiede in Kraftmessungen mittels Dynamometer und Pinchmeter zwischen der dominanten und der nicht dominanten Hand festgestellt werden [82]. In einer 2006 veröffentlichten Studie über funktionelle Langzeitergebnisse nach Daumenreplantationen wurde die mittlere Kraft der verletzten Hand der Dynamometermessung mit 70% und die des Pinchtest mit 68% im Vergleich zur gesunden Seite angegeben [4]. Verglichen mit dieser Studie konnten in unserem Zentrum durch die Dynamometermessung deutliche bessere und im Pinchtest ein schlechteres Ergebnis verzeichnet werden. Das schlechtere Ergebnis des Pinchtest könnte sich dadurch erklären lassen, dass in unserer Studienpopulation einige Finger mit weniger Kraftreserven, wie D4 und D5, betroffen waren.

## 4.7 DASH-Score

Der DASH-Score, welcher anhand des DASH-Fragebogens ermittelt wurde, ist ein subjektives Testverfahren zur Beurteilung der Funktionalität der oberen Extremität. Durch den Vergleich der Mediane des DASH-Scores der Studiengruppen fiel auf, dass der mediane DASH-Score der Gruppe R (14,17) deutlich geringer war und somit das bessere Ergebnis lieferte, als der DASH-Score der Gruppe A (19,17). Mit einem p-Wert von 0,436 konnte jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Die von uns erhobenen Ergebnisse sprechen demnach für eine stärkere Funktionseinschränkung der oberen Extremität und Patientenunzufriedenheit nach Fingeramputation statt nach Fingerreplantation. Der Test hat jedoch seine Limitation, da er nicht zwischen dominanter und nicht dominanter Hand unterscheidet [60-62,83]. Außerdem muss bedacht werden, dass die Erhebung des DASH-Scores auf einem subjektiven Testverfahren beruht und somit stark von der psychischen Verfassung des Patienten und somit der Patientenzufriedenheit abhängt. Somit könnte ein schlechteres Ergebnis resultieren, wenn ein Patient eine primäre Stumpfbildung erhielt, dessen Wunsch es jedoch war, den Finger zu behalten. Bedacht werden muss auch, dass sich die Fragen des DASH auf das Bewegungsausmaß der gesamten Armfunktion beziehen und kaum spezifische Fragen zur ausschließlichen Handfunktion beinhaltet [57,58,60,62,83]. Die Ergebnisse können somit auch durch die Funktion oder Dysfunktion von anderen Gelenken der oberen Extremität beeinflusst werden.

## 4.8 NRS

In einer 1990 veröffentlichten Studie traten Schmerzen bei Kälte nach erfolgreicher Replantation doppelt so häufig auf wie in der Nachamputationsgruppe [7]. Auch Jones und Schlenker berichteten über Kälteintolleranz als häufigstes Symptom nach erfolgreicher Replantation [26,84]. In der durch uns recherchierten Literatur konnte keine Aussage über die Schmerzsymptomatik nach Stumpfbildung ausfindig gemacht werden. In unserer Studienpopulation gaben die

Patienten nach Stumpfbildung im Median eine stärkere Schmerzintensität in Ruhe, bei Kälte und bei Belastung an, als Patienten nach erfolgreicher Replantation. Bei allen drei Schmerzqualitäten konnten in der Gruppe R signifikant bessere Ergebnisse dargestellt werden. Der relevanteste Unterschied ist jedoch, dass beinahe alle Patienten nach Stumpfbildung auch Ruheschmerzen angaben, wohingegen bei Patienten nach erfolgreicher Replantation in Ruhe im Median keine Schmerzen auftraten. Verantwortlich hierfür könnte zum Beispiel ein vermehrtes Auftreten von Neuomen nach Stumpfbildung oder ein nicht ausreichend durchgeführtes Abhärtungstraining sein.

#### **4.9 Limitationen der Studie**

Eine vollständig prospektive klinisch randomisierte Studie wäre aufgrund ethischer Aspekte im Falle von Fingeramputationsverletzungen nicht möglich gewesen. Es wäre ethisch nicht vertretbar, den Zufall entscheiden zu lassen, welcher Patient eine Replantation erhält und bei welchem Patienten eine Stumpfbildung erfolgt. Deshalb erfolgte die Entscheidung nicht per Zufall, sondern durch den Operateur. Wenn kein Amputat mitgebracht wurde, konnte keine Replantation stattfinden und es erfolgte eine primäre Stumpfbildung. Zwölf der 72 primären Stumpfbildungen fanden aufgrund nicht mitgebrachter, nicht auffindbarer Amputate statt.

Die relativ geringe Probandenzahl der Nachuntersuchung kam dadurch zustande, dass viele Patienten aufgrund von Ausschlusskriterien, wie z.B. zusätzlicher subtotaler Amputationen oder fehlender Deutschkenntnisse nicht zur Nachuntersuchung eingeladen werden konnten. Nicht auszuschließen lassen sich auch schlechtere Überlebensraten aufgrund von fehlender Patientencompliance und Sprachbarriere.

Weitere Patienten lehnten eine Studienteilnahme von vornherein ab. Patienten mit weiten Anfahrtswegen wollten aufgrund der Fahrtstrecke aus zeitlichen und finanziellen Gründen nicht an der Nachuntersuchung teilnehmen. Dadurch fiel



die Fallzahl der Nachuntersuchungen geringer aus als die Anzahl der möglichen Probanden.

Auch Goldner hatte bei der Durchführung seiner Studie 1990 Probleme mit der Probandenrekrutierung. Von 69 Patienten nach erfolgreicher Replantation erschienen nur 25 Patienten zur Nachuntersuchung. Von den Patienten, bei welchen aus der Verletzung eine primäre oder sekundäre Stumpfbildung erfolgte, erschienen nur 18 der 42 Patienten zur Nachuntersuchung [7].

## 5 Zusammenfassung

*Hintergrund:* Das Überleben nach Fingerreplantationen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Bisher publizierte Daten variieren in Fallzahl und Erfolgsraten. Ziel dieser Studie ist, die Anzahl an Amputationsverletzungen inklusive prä-, intra- und postoperativer Daten retrospektiv an unserem Zentrum zu erfassen und somit mögliche Einflussfaktoren auf das Replantatüberleben zu identifizieren. Durch eine postoperative Nachuntersuchung sollen die Funktionalität und Sensibilität nach Fingerreplantation versus Stumpfbildung durch subjektive (SWM-Test, 2-PD, Dynamometer- und Pinchmetermessung) und objektive Testverfahren (DASH-Score, NRS) auf signifikante Gruppenunterschiede verglichen werden.

*Patienten und Methoden:* In dieser Studie wurden 112 Patienten mit 152 Fingeramputationsverletzungen, die zwischen 2008 - 2013 in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen versorgt wurden, in eine Replantationsgruppe oder Amputationsgruppe (primäre und sekundäre Stumpfbildung) rekrutiert. Wir klassifizierten den Verletzungsmechanismus nach vier Kategorien (Glatte, Quetsch-, Avulsions-, und Kreissägenverletzung). Faktoren wie Raucheranamnese, vaskuläre Nebenerkrankungen, Anzahl koaptierter Arterien und Venen, Geschlecht, Alter, Händigkeit, Beruf, Amputationshöhe und Verletzungsmechanismus, welche Einfluss auf das Replantatüberleben haben können, wurden statistisch durch den Fisher's Exakt Test (Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ ) hinsichtlich signifikanter Gruppenunterschiede ausgewertet. Bei Erfüllung der Einschlusskriterien wurden die Probanden zur Evaluation der funktionellen und sensiblen Regenerationsergebnisse eingeladen. Bei fehlender Normalverteilung erfolgte die Datenauswertung durch den Mann-Whitney U-Test. 19 Patienten nach erfolgreicher Fingerreplantation (Gruppe R) und 37 Patienten nach primärer und sekundärer Stumpfbildung (Gruppe A) erschienen zur Nachuntersuchung.

*Ergebnis:* Das Replantatüberleben lag bei 55%. Die höchste Erfolgsrate mit 66,7% wurde nach glatten Amputationsverletzungen festgestellt, gefolgt von Kreissägenverletzungen (60,5%), Avulsionsverletzungen (46,2%) und

Quetschverletzungen (40%). Ein signifikanter Unterschied (\*p=0,001) auf das Replantatüberleben konnte durch die Anzahl koaptierter Venen festgestellt werden, während die Anzahl der Arterien (p=0,459) keinen statistisch messbaren Einfluss hatte. Die signifikant kürzeste Bettruhe (\*p=0,001) und Verweildauer im Krankenhaus (\*p=0,008) wurde in der Gruppe der primären Stumpfbildung beobachtet. Durch den SWM-Test ergab sich ein signifikanter Unterschied in der medianen Reduktion der Sensibilität in der Gruppe R (\*p=0,034). Die Überprüfung der medianen statischen 2-PD (p=0,97) und des medianen DASH-Scores (p=0,436) der beiden Gruppen ergab keine relevanten Unterschiede. Signifikant weniger Schmerzen fanden sich in der Gruppe R (NRS in Ruhe \*p=0,013, NRS bei Belastung \*p=0,009, NRS bei Kälte \*p=0,039). Innerhalb der Gruppe A konnte in der Dynamometermessung eine signifikant reduzierte Kraft der verletzten Seite im Vergleich zur gesunden Seite festgestellt werden (\*p=0,000). In der Pinchmessung fand sich eine signifikant reduzierte Kraft der verletzten, im Vergleich zu der gesunden Seite, sowohl nach Replantation (\*p=0,004), als auch nach Amputation (\*p=0,000).

*Schlussfolgerung:* Ein signifikanter Unterschied (\*p=0,001) auf das Replantatüberleben konnte durch die Anzahl koaptierter Venen festgestellt werden. Nichtraucher erwiesen im Fisher's Exakt Test zwar knapp kein signifikant besseres Replantatüberleben (p=0,0685), zeigten allerdings eine nahezu doppelte Häufigkeit in der erfolgreichen Replantationsgruppe. Ein signifikant niedrigeres Schmerzniveau und das Wiedererlangen der Sensibilität beim SWM-Test konnte in der Replantationsgruppe beobachtet werden. Die geringste Verweildauer im Krankenhaus jedoch zeigte sich in der Gruppe der primären Stumpfbildungen.

Diese Studie zeigt, dass gute funktionelle und sensible Ergebnisse nach einer Replantation erwartet werden können. Es sind jedoch größere Fallzahlen notwendig, um weitere statistisch signifikante Unterschiede nachzuweisen. Auch könnten durch größere Fallzahlen Mehrfingeramputationsverletzungen mit Einfingeramputationsverletzungen verglichen auf ein besseres Outcome hin untersucht werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Malt RA, McKhann C. Replantation of Severed Arms. *JAMA* 1964; **189**: 716-22.
- [2] Lloyd MS, Teo TC, Pickford MA, Arnstein PM. Preoperative management of the amputated limb. *Emerg Med J* 2005; **22**(7): 478-80.
- [3] Kleinert JM, Graham B. Macroreplantation: an overview. *Microsurgery* 1990; **11**(3): 229-33.
- [4] Unglaub F, Demir E, Von Reim R, Van Schoonhoven J, Hahn P. Long-term functional and subjective results of thumb replantation. *Microsurgery* 2006; **26**(8): 552-6.
- [5] Tamai S. Twenty years' experience of limb replantation--review of 293 upper extremity replants. *J Hand Surg Am* 1982; **7**(6): 549-56.
- [6] Komatsu S, Tamai S. Successful replantation of a completely cut-off thumb: Case report. *Plast Reconstr Surg* 1968; **42**: 374-7.
- [7] Goldner RD, Howson MP, Nunley JA, Fitch RD, Belding NR, Urbaniak JR. One hundred eleven thumb amputations: replantation vs revision. *Microsurgery* 1990; **11**(3): 243-50.
- [8] Fufa D, Calfee R, Wall L, Zeng W, Goldfarb C. Digit replantation: experience of two U.S. academic level-I trauma centers. *J Bone Joint Surg Am* 2013; **95**(23): 2127-34.
- [9] Beris AE, Lykissas MG, Korompilias AV, Mitsionis GI, Vekris MD, Kostas-Agnantis IP. Digit and hand replantation. *Arch Orthop Trauma Surg* 2010; **130**(9): 1141-7.
- [10] Kaplan FT, Raskin KB. Indications and surgical techniques for digit replantation. *Bull Hosp Jt Dis* 2001; **60**(3-4): 179-88.
- [11] Soucacos PN. Indications and selection for digital amputation and replantation. *J Hand Surg Br* 2001; **26**(6): 572-81.
- [12] Sud V, Freeland AE. Skeletal fixation in digital replantation. *Microsurgery* 2002; **22**(4): 165-71.

- [13] Yamano Y, Matsuda H, Nakashima K, Shimazu A. Some methods for bone fixation for digital replantation. *Hand* 1982; **14**(2): 135-40.
- [14] Janezic TF, Arnez ZM, Solinc M, Zaletel-Kragelj L. Functional results of 46 thumb replantations and revascularisations. *Microsurgery* 1996; **17**(5): 264-7.
- [15] Daoutis N, Efstathopoulos D, Gerostathopoulos N, et al. Replantation of the thumb: survival rate and functional recovery in correlation with type of injury. *Microsurgery* 1993; **14**(7): 454-6.
- [16] Sebastin SJ, Chung KC. A systematic review of the outcomes of replantation of distal digital amputation. *Plast Reconstr Surg* 2011; **128**(3): 723-37.
- [17] Sears ED, Chung KC. Replantation of finger avulsion injuries: a systematic review of survival and functional outcomes. *J Hand Surg Am* 2011; **36**(4): 686-94.
- [18] Rosberg HE. Disability and health after replantation or revascularisation in the upper extremity in a population in southern Sweden - a retrospective long time follow up. *BMC Musculoskelet Disord* 2014; **15**: 73.
- [19] Agarwal JP, Trovato MJ, Agarwal S, Hopkins PN, Brooks D, Buncke G. Selected outcomes of thumb replantation after isolated thumb amputation injury. *J Hand Surg Am* 2010; **35**(9): 1485-90.
- [20] Adani R, Pataia E, Tarallo L, Mugnai R. Results of replantation of 33 ring avulsion amputations. *J Hand Surg Am* 2013; **38**(5): 947-56.
- [21] Adani R, Marcoccio I, Castagnetti C, Tarallo L. Long-term results of replantation for complete ring avulsion amputations. *Ann Plast Surg* 2003; **51**(6): 564-8; discussion 9.
- [22] Adani R, Castagnetti C, Busa R, Caroli A. Ring avulsion injuries: microsurgical management. *J Reconstr Microsurg* 1996; **12**(3): 189-94.
- [23] Biemer E. Definitions and classifications in replantation surgery. *Br J Plast Surg* 1980; **33**(2): 164-8.
- [24] Sharma S, Lin S, Panozzo A, Tepper R, Friedman D. Thumb replantation: a retrospective review of 103 cases. *Ann Plast Surg* 2005; **55**(4): 352-6.

- [25] Ward WA, Tsai TM, Breidenbach W. Per Primam thumb replantation for all patients with traumatic amputations. *Clin Orthop Relat Res* 1991; (266): 90-5.
- [26] Schlenker JD, Kleinert HE, Tsai TM. Methods and results of replantation following traumatic amputation of the thumb in sixty-four patients. *J Hand Surg Am* 1980; **5**(1): 63-70.
- [27] Weiland AJ, Raskin KB. Philosophy of replantation 1976-1990. *Microsurgery* 1990; **11**(3): 223-8.
- [28] Waikakul S, Sakkarnkosol S, Vanadurongwan V, Un-nanuntana A. Results of 1018 digital replantations in 552 patients. *Injury* 2000; **31**(1): 33-40.
- [29] Janezic TF, Arnez ZM, Solinc M, Zaletel-Kragelj L. One hundred sixty-seven thumb replantations and revascularisations: early microvascular results. *Microsurgery* 1996; **17**(5): 259-63.
- [30] Holmberg J, Arner M. Sixty five thumb replantations. A retrospective analysis of factors influencing survival. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 1994; **28**(1): 45-8.
- [31] Hamilton RB, O'Brien BM, Morrison A, MacLeod AM. Survival factors in replantation and revascularization of the amputated thumb--10 years experience. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1984; **18**(2): 163-73.
- [32] Nissenbaum M. Class IIA ring avulsion injuries: an absolute indication for microvascular repair. *J Hand Surg Am* 1984; **9**(6): 810-5.
- [33] Hoxie SC, Capo JA, Dennison DG, Shin AY. The economic impact of electric saw injuries to the hand. *J Hand Surg Am* 2009; **34**(5): 886-9.
- [34] Frank M, Lange J, Napp M, Hecht J, Ekkernkamp A, Hinz P. Accidental circular saw hand injuries: trauma mechanisms, injury patterns, and accident insurance. *Forensic Sci Int* 2010; **198**(1-3): 74-8.
- [35] Bonte W, Goldberg R. [Accidental circular saw injuries]. *Z Rechtsmed* 1982; **89**(3): 173-80.
- [36] Allen MJ. Conservative management of finger tip injuries in adults. *Hand* 1980; **12**(3): 257-65.

- [37] Foucher G, Henderson HR, Maneaud M, Merle M, Braun FM. Distal digital replantation: one of the best indications for microsurgery. *International J Microsurg* 1981; **3**: 263-70.
- [38] Hirase Y. Salvage of fingertip amputated at nail level: new surgical principles and treatments. *Ann Plast Surg* 1997; **38**(2): 151-7.
- [39] Ishikawa K, Ogawa Y, Soeda H, Yoshida Y. A new classification of the amputation level for the distal part of the fingers. *J Jpn Soc Microsurg* 1990; **3**: 54-62.
- [40] Urbaniak JR, Evans JP, Bright DS. Microvascular management of ring avulsion injuries. *J Hand Surg Am* 1981; **6**(1): 25-30.
- [41] Kay S, Werntz J, Wolff TW. Ring avulsion injuries: classification and prognosis. *J Hand Surg Am* 1989; **14**(2 Pt 1): 204-13.
- [42] Sapega AA, Heppenstall RB, Sokolow DP, et al. The bioenergetics of preservation of limbs before replantation. The rationale for intermediate hypothermia. *J Bone Joint Surg Am* 1988; **70**(10): 1500-13.
- [43] Sebastin SJ, Ho A, Karjalainen T, Chung KC. History and evolution of the Kessler repair. *J Hand Surg Am* 2013; **38**(3): 552-61.
- [44] Kessler I, Nissim F. Primary repair without immobilization of flexor tendon division within the digital sheath. An experimental and clinical study. *Acta Orthop Scand* 1969; **40**(5): 587-601.
- [45] Idler RS, Steichen JB. Complications of replantation surgery. *Hand Clin* 1992; **8**(3): 427-51.
- [46] Manoli T, Schulz L, Stahl S, Jaminet P, Schaller HE. Evaluation of sensory recovery after reconstruction of digital nerves of the hand using muscle-in-vein conduits in comparison to nerve suture or nerve autografting. *Microsurgery* 2014; **34**(8): 608-15.
- [47] Siemionow M, Brzezicki G. Chapter 8: Current techniques and concepts in peripheral nerve repair. *Int Rev Neurobiol* 2009; **87**: 141-72.
- [48] Siemionow M, Bozkurt M, Zor F. Regeneration and repair of peripheral nerves with different biomaterials: review. *Microsurgery* 2010; **30**(7): 574-88.

- [49] Tos P, Battiston B, Ciclamini D, Geuna S, Artiaco S. Primary repair of crush nerve injuries by means of biological tubulization with muscle-vein-combined grafts. *Microsurgery* 2012; **32**(5): 358-63.
- [50] Meek MF, Coert JH. Clinical use of nerve conduits in peripheral-nerve repair: review of the literature. *J Reconstr Microsurg* 2002; **18**(2): 97-109.
- [51] Sachanandani NF, Pothula A, Tung TH. Nerve gaps. *Plast Reconstr Surg* 2014; **133**(2): 313-9.
- [52] Pabari A, Yang SY, Seifalian AM, Mosahebi A. Modern surgical management of peripheral nerve gap. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2010; **63**(12): 1941-8.
- [53] Hentz VR, Narakas A. The results of microneurosurgical reconstruction in complete brachial plexus palsy. Assessing outcome and predicting results. *Orthop Clin North Am* 1988; **19**(1): 107-14.
- [54] Gilbert A, Pivato G, Kheiralla T. Long-term results of primary repair of brachial plexus lesions in children. *Microsurgery* 2006; **26**(4): 334-42.
- [55] Goodson A, McGregor AH, Douglas J, Taylor P. Direct, quantitative clinical assessment of hand function: usefulness and reproducibility. *Man Ther* 2007; **12**(2): 144-52.
- [56] Novak CB. Evaluation of hand sensibility: a review. *J Hand Ther* 2001; **14**(4): 266-72.
- [57] Germann G, Wind G, Harth A. [The DASH(Disability of Arm-Shoulder-Hand) Questionnaire--a new instrument for evaluating upper extremity treatment outcome]. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 1999; **31**(3): 149-52.
- [58] Germann G, Harth A, Wind G, Demir E. [Standardisation and validation of the German version 2.0 of the Disability of Arm, Shoulder,Hand (DASH) questionnaire]. *Unfallchirurg* 2003; **106**(1): 13-9.
- [59] Landry GJ, McClary A, Liem TK, Mitchell EL, Azarbal AF, Moneta GL. Factors affecting healing and survival after finger amputations in patients with digital artery occlusive disease. *Am J Surg* 2013; **205**(5): 566-9; discussion 9-70.



- [60] Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med* 1996; **29**(6): 602-8.
- [61] Changulani M, Okonkwo U, Keswani T, Kalairajah Y. Outcome evaluation measures for wrist and hand: which one to choose? *Int Orthop* 2008; **32**(1): 1-6.
- [62] Dowrick AS, Gabbe BJ, Williamson OD, Cameron PA. Outcome instruments for the assessment of the upper extremity following trauma: a review. *Injury* 2005; **36**(4): 468-76.
- [63] Mathiowetz V, Rennells C, Donahoe L. Effect of elbow position on grip and key pinch strength. *J Hand Surg Am* 1985; **10**(5): 694-7.
- [64] Ponce de Leon S, Lara-Munoz C, Feinstein AR, Wells CK. A comparison of three rating scales for measuring subjective phenomena in clinical research. II. Use of experimentally controlled visual stimuli. *Arch Med Res* 2004; **35**(2): 157-62.
- [65] Lara-Munoz C, De Leon SP, Feinstein AR, Puente A, Wells CK. Comparison of three rating scales for measuring subjective phenomena in clinical research. I. Use of experimentally controlled auditory stimuli. *Arch Med Res* 2004; **35**(1): 43-8.
- [66] Weiland AJ, Villarreal-Rios A, Kleinert HE, Kutz J, Atasoy E, Lister G. Replantation of digits and hands: analysis of surgical techniques and functional results in 71 patients with 86 replantations. *J Hand Surg Am* 1977; **2**(1): 1-12.
- [67] Sanmartin M, Fernandes F, Lajoie AS, Gupta A. Analysis of prognostic factors in ring avulsion injuries. *J Hand Surg Am* 2004; **29**(6): 1028-37.
- [68] Malizos KN, Beris AE, Kabani CT, Korobilias AB, Mavrodontidis AN, Soucacos PN. Distal phalanx microsurgical replantation. *Microsurgery* 1994; **15**(7): 464-8.
- [69] Bieber EJ, Wood MB, Cooney WP, Amadio PC. Thumb avulsion: results of replantation/revascularization. *J Hand Surg Am* 1987; **12**(5 Pt 1): 786-90.
- [70] Arakaki A, Tsai TM. Thumb replantation: survival factors and re-exploration in 122 cases. *J Hand Surg Br* 1993; **18**(2): 152-6.

- [71] Payatakes AH, Zagoreos NP, Fedorcik GG, Ruch DS, Levin LS. Current practice of microsurgery by members of the American Society for Surgery of the Hand. *J Hand Surg Am* 2007; **32**(4): 541-7.
- [72] May JW, Jr., Toth BA, Gardner M. Digital replantation distal to the proximal interphalangeal joint. *J Hand Surg Am* 1982; **7**(2): 161-6.
- [73] Gelberman RH, Urbaniak JR, Bright DS, Levin LS. Digital sensibility following replantation. *J Hand Surg Am* 1978; **3**(4): 313-9.
- [74] Brown PW. Less than ten--surgeons with amputated fingers. *J Hand Surg Am* 1982; **7**(1): 31-7.
- [75] Earley MJ, Watson JS. Twenty four thumb replantations. *J Hand Surg Br* 1984; **9**(1): 98-102.
- [76] Urbaniak JR, Roth JH, Nunley JA, Goldner RD, Koman LA. The results of replantation after amputation of a single finger. *J Bone Joint Surg Am* 1985; **67**(4): 611-9.
- [77] Heistein JB, Cook PA. Factors affecting composite graft survival in digital tip amputations. *Ann Plast Surg* 2003; **50**(3): 299-303.
- [78] Small JO, Brennen MD, Colville J. Early active mobilisation following flexor tendon repair in zone 2. *J Hand Surg Br* 1989; **14**(4): 383-91.
- [79] Bell-Krotoski J, Weinstein S, Weinstein C. Testing sensibility, including touch-pressure, two-point discrimination, point localization, and vibration. *J Hand Ther* 1993; **6**(2): 114-23.
- [80] Bell-Krotoski J. Advances in sensibility evaluation. *Hand Clin* 1991; **7**(3): 527-46.
- [81] Kallio PK, Vastamaki M. An analysis of the results of late reconstruction of 132 median nerves. *J Hand Surg Br* 1993; **18**(1): 97-105.
- [82] Incel NA, Ceceli E, Durukan PB, Erdem HR, Yorgancioglu ZR. Grip strength: effect of hand dominance. *Singapore Med J* 2002; **43**(5): 234-7.
- [83] Marks M, Audige L, Herren DB, Schindele S, Nelissen RG, Vliet Vlieland TP. Measurement properties of the German Michigan Hand Outcomes

Questionnaire in patients with trapeziometacarpal osteoarthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2014; **66**(2): 245-52.

- [84] Jones JM, Schenck RR, Chesney RB. Digital replantation and amputation-comparison of function. *J Hand Surg Am* 1982; **7**(2): 183-9.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, die vorliegende Arbeit selbstständig ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst zu haben. Die von mir verfasste Dissertation stellt keine Kopie anderer Dissertationen dar. Es wurden nur die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet. Die von mir verwendete Literatur ist vollständig angegeben.

Teile dieser Dissertation wurden auf dem DGPRAC Graz 2017 präsentiert und anschließend im Rahmen von Abstract Publikationen veröffentlicht (Wahler T, Hauch SM, Bott TS, Schaller HE, Daigeler A. Funktionelle Ergebnisse nach erfolgreicher Fingerreplantation im Vergleich zur Fingeramputation. GMS Meeting Abstract DGPRAC Graz **2017**; Hauch SM, Bott TS, Schaller HE, Daigeler A. Einflussfaktoren auf die Erfolgsrate von Fingerreplantationen. GMS Meeting Abstract DGPRAC Graz **2017**).

Ich versichere, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in der Studie genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt betreibt, bestehen.

Die Studienplanung erfolgte gemeinsam mit Prof. Dr. Hans-Eberhardt Schaller und PD Dr. Theodora Wahler.

Das Verfassen des Studienprotokolls, die Rekrutierung der Probanden und die Erhebung der Studiendaten erfolgte durch die Doktorandin Sarah M. Bott unter Anleitung der Betreuerin PD Dr. Theodora Wahler.

## Danksagung

Herrn Professor H.-E. Schaller danke ich für Vergabe des Themas und für die Möglichkeit die Dissertation in der Abteilung für Hand-, Plastische, Rekonstruktive- und Verbrennungschirurgie der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen absolvieren zu dürfen.

Frau PD Dr. Theodora Wahler möchte ich für die intensive und zeitaufwendige Betreuung der Doktorarbeit, die Beantwortung meiner Fragen und Ihre Unterstützung danken.

Zum Erfolg meiner Doktorarbeit haben auch wesentlich das Team der Ergotherapie und das Team des Aktenarchivs beigetragen.

Bernd Kuhn aus der Abteilung für Ergotherapie danke ich für die Geräteeinweisung des Elink Systems und die Nutzung der Räumlichkeiten der Ergotherapie für die Nachuntersuchungen der klinischen Studie.

Danken möchte ich auch den Mitarbeitern des Aktenarchives für ihre Unterstützung bei der Beschaffung der Patientenakten.

Meinem Ehemann danke ich für das Redigieren meiner Doktorarbeit und seine Unterstützung.

Ebenso möchte ich meiner Familie für Ihre Unterstützung während meines Studiums und meiner Dissertation danken.