

**Aus der Klinik für Plastische Chirurgie  
der Universität zu Lübeck  
Direktor: Prof. Dr. med. P. Mailänder**

---

Regenerationsergebnisse nach  
Nervenverletzungen an der oberen  
Extremität –  
Einflussfaktoren und die Optimierung klinischer  
Untersuchungsmethoden

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck  
- Aus der Medizinischen Fakultät -

vorgelegt von  
Bianca Sommer  
aus Wuppertal

Lübeck 2008

- 1. Berichtstatter / Berichtstatterin: Prof. Dr. med. Peter Mailänder**
- 2. Berichtstatter / Berichtstatterin: Prof. Dr. med. Wolfgang Heide**

**Tag der mündlichen Prüfung: 01.06.2010**

**Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 01.06.2010**

**Gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach**  
**- Dekan der Medizinischen Fakultät -**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
1.1	Klinik der Nervenverletzungen.....	5
1.2	Historische Entwicklung der Nerven Chirurgie .....	6
1.3	Ablauf der Nervenregeneration.....	7
1.4	Techniken zur Überbrückung peripherer Nervendefekte .....	9
1.4.1	Nervenkoaptation .....	9
1.4.2	Nerventransplantation.....	11
1.4.3	End zu Seit Koaptation .....	13
1.4.4	Tubulisation .....	14
1.5	Fragestellung.....	16
<b>2</b>	<b>Patienten und Methoden .....</b>	<b>18</b>
2.1	Patientengut .....	18
2.1.1	Altersverteilung im gesamten Patientengut .....	19
2.1.2	Geschlechtsverteilung im gesamten Patientengut.....	20
2.1.3	Verteilung der betroffenen Nerven im gesamten Patientengut .....	20
2.2	Ablauf der Untersuchung und Methoden .....	21
2.2.1	Anamnese .....	21
2.2.2	Inspektion .....	23
2.2.3	Palpation.....	23
2.2.4	Beurteilung der Sensibilität .....	24
2.2.5	Beurteilung der Temperatur- und Bewegungsempfindung, Beurteilung der Schutzsensibilität.....	29
2.2.6	Beurteilung der Motorik.....	29
2.2.7	Geräte, Software und Messung mit den Sonden .....	31
2.3	Verwandte statistische Methoden.....	37
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>39</b>
3.1	Einbestelltes Patientengut .....	39
3.2	Patienten ohne Nachuntersuchung .....	39
3.3	Inspektion .....	40
3.4	Palpation.....	41
3.5	Statische Zwei-Punkte-Diskriminationsfähigkeit (sZPD) .....	42
3.5.1	sZPD und Begleitverletzungen .....	43
3.5.2	sZPD und Alter .....	45
3.5.3	sZPD und Versorgungsart .....	46
3.5.4	sZPD und Abstand von der Nervenkoaptation zur Fingerspitze .....	47
3.5.5	sZPD und Versorgungszeitpunkt .....	47
3.5.6	sZPD und Vorbehandlungen .....	48
3.5.7	sZPD und Schmerzempfinden.....	48
3.5.8	sZPD und Verschmutzungsgrad.....	49
3.6	WEST (Weinstein-Enhanced-Sensory-Test) .....	49
3.6.1	WEST und sZPD .....	52
3.7	Ergebnisse der Motorik bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis .....	54
3.7.1	Aktive Beweglichkeit.....	54
3.7.2	Kraftmessung mit dem Vigorimeter .....	56

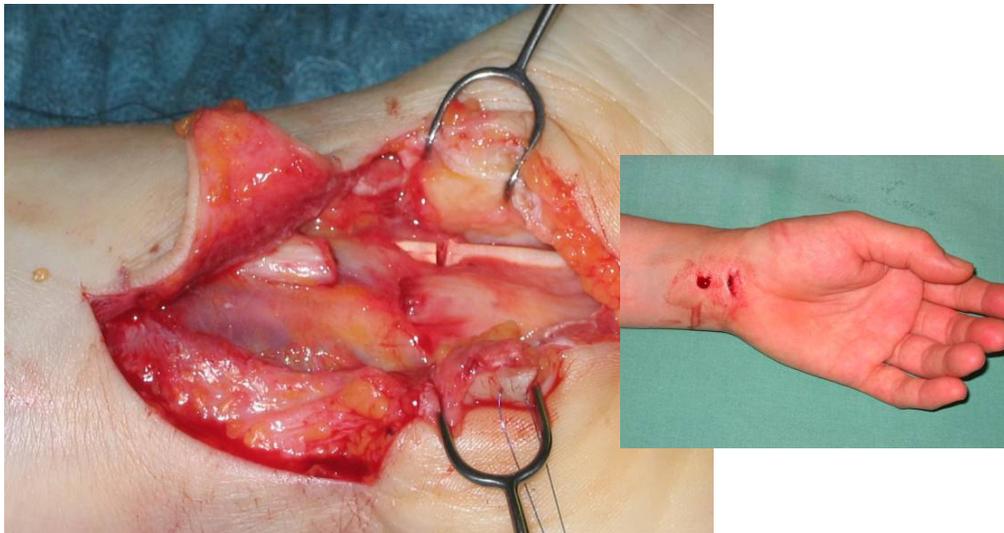
3.8	Ergebnisse des DASH.....	57
3.8.1	DASH und sZPD.....	58
3.8.2	DASH und Patientenzufriedenheit.....	60
3.8.3	DASH und Kraftmessung mit dem Vigorimeter.....	60
3.9	Hoffmann-Tinel-Zeichen.....	62
3.10	Verletzungssituation im untersuchten Patientengut.....	63
3.11	Verletzungsart im untersuchten Patientengut.....	64
3.12	Beziehung zwischen Verletzungsart und Verletzungssituation.....	65
3.13	Versorgungsart.....	66
3.14	Wechsel der Gebrauchshand.....	66
3.15	Sozialer Status.....	67
3.16	Patientenzufriedenheit.....	68
3.17	Allgemeiner gesundheitlicher Status.....	69
3.18	Ergebnisse der Sondenmessung.....	69
3.19	Weitere Untersuchungen.....	70
3.19.1	Umfangsmaße.....	70
3.19.2	Flaschenzeichen / Fromentzeichen.....	71
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>84</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>Publikationen.....</b>	<b>99</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Klinik der Nervenverletzungen

In der Handchirurgie nimmt die Verletzung peripherer Nerven der oberen Extremität mit 10% aller zu versorgenden Fälle einen wesentlichen Stellenwert ein. Durch motorische und sensible Ausfälle im entsprechenden Versorgungsgebiet des Nerven kommt es zum Verlust von sensomotorischen Fertigkeiten, die zu Bewältigung von Situationen im Berufsleben als auch im häuslichen Lebensumfeld von zentraler Bedeutung sind. Der hohe Anteil der postoperativen Arbeitslosigkeit [51] hat in den letzten Jahren den wirtschaftlichen Einfluss auf das Gesundheitssystem nach Verletzungen der oberen Extremität immer mehr in den Fokus neuer Studien gerückt [34,94]. Insbesondere Nervenverletzungen haben einen nachhaltigen Einfluss auf den sozioökologischen Status des Patienten und können zu erhöhten Behandlungskosten vor allem im Bereich Rehabilitation und sekundärer Rekonstruktion führen [34].

Trotz der hohen klinischen Relevanz können Nervenverletzungen im Rahmen vermeintlicher Bagatellverletzungen leicht übersehen werden (Abb. 1).



**Abbildung 1: Inspektorisch minimale Schnittverletzung (rechts) bei intraoperativ sichtbarer vollständiger Durchtrennung des N. medianus**

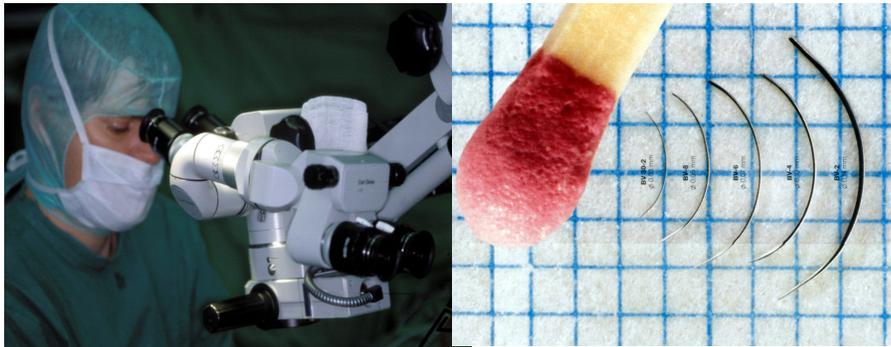
Bei Verletzung peripherer Nerven der oberen Extremität sind am häufigsten die Finger- und Hohlhandnerven betroffen, gefolgt von N. medianus und N. ulnaris [75,92]. Männliche Personen im Alter zwischen 16 und 35 Jahren stellen die größte Patientengruppe dar [75,88,92].

Bei vollständiger Durchtrennung eines Nerven ist die Koaptation von proximalem und distalem Stumpf die Therapie der Wahl. Ist eine solche Wiederherstellung nicht spannungsfrei möglich, stellt die Überbrückung mittels eines Nerventransplantates den Goldstandard dar [9,56]. Andere Formen der Rekonstruktion sind die Tubulisation [61] und die End zu Seit Koaptation.

## 1.2 Historische Entwicklung der Nerven Chirurgie

Die erste geschichtliche Erwähnung der Nervenkoaptation findet sich bei Galen von Pergamon aus dem 2. Jahrhundert nach Christus. Avicenna, ein persischer Arzt und Philosoph der Jahrtausendwende, gab die Empfehlung einen durchtrennten Nerven zu nähen, da ansonsten die Heilung ausbliebe. Jedoch blieb bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts die Nervenkoaptation sehr umstritten.

Bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die Wiedervereinigung der Stümpfe eines durchtrennten peripheren Nerven nur auf indirekte Weise durch Annäherung des umliegenden Weichteilgewebes, „cum carne“, erreicht. Die erste epineurale Nervenkoaptation wurde 1873 durch Hüter beschrieben. Bis zu diesem Zeitpunkt trugen neue physiologische und anatomische Erkenntnisse, wie zum Beispiel die Beschreibung der Schwanzzellen 1839 [104] und der Wallerschen Degeneration 1850 [128] sowie große Fortschritte in der Chirurgie zu dieser Entwicklung bei.



**Abbildung 2: Intraoperative Nutzung des Operationsmikroskops bei der Nerven-naht (links), Nadelmaterial für die Nerven-naht in verschiedenen Größen (rechts), daneben: Streichholzkopf zum Größenvergleich**

Vor allem die Einführung des Operationsmikroskops 1921 durch Nysten brachte den entscheidenden technischen Fortschritt, der als spätere Grundlage für die mikrochirurgische Versorgung peripherer Nervendefekte ab den 60er Jahren diente (Abb.2). Seitdem ist die primäre spannungslose Nervenkoaptation die Methode der Wahl, die als Ziel die optimale Koaptation bei minimaler Traumatisierung hat. Dabei ist immer zu berücksichtigen, dass eine völlige anatomische Wiederherstellung eines Nerven nicht möglich ist.

### **1.3 Ablauf der Nervenregeneration**

Nervenverletzungen können nach unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifiziert werden. Die gängigste ist die Einteilung nach Seddon [<sup>107,106</sup>]. Dieser beschreibt die drei Kategorien Neurapraxie, Axonotmesis und Neurotmesis. Die Neurapraxie ist eine lokale Schädigung des Nerven, die bei erhaltener Kontinuität und Hüllstruktur der Axone zu einer segmentalen Demyelinisation und damit verbunden zu Fortleitungsstörungen führt. Durch

lokale Reparaturprozesse des Myelin kann die volle Funktion des Nerven wieder hergestellt werden. Die Neuropraxie ist somit eine reversible Schädigung eines Nerven. Ein klinisches Beispiel ist eine leichte Druckschädigung, wie sie z.B. bei der operativen Lagerung auftreten kann.

Die Axonotmesis ist die Schädigung eines peripheren Nerven mit alleiniger Durchtrennung der Axone bei erhaltenem Endo-, und Perineurium. Es kommt zur Waller-Degeneration [128], einer anterograden Degeneration des distalen Axonabschnittes, sowie zum Markscheidenzerfall. Bei erfolgreicher Regeneration ist die weitgehende Wiederherstellung der Funktion wahrscheinlich. Ursächlich ist ebenfalls meist eine Druckschädigung.

Bei der Neurotmesis ist die Kontinuität des gesamten Nervenquerschnittes unterbrochen. In diesem Stadium ist eine chirurgische Versorgung erforderlich.

Sunderland [114,113] propagierte eine detailliertere Einteilung, die sich jedoch auf die von Seddon stützt. Neuropraxie und Axonotmesis stellen die Stadien Sunderland I und II dar. Die Neurotmesis lässt sich in drei weitere Stadien nach Sunderland einteilen. Sunderland III ist die Kontinuitätsunterbrechung der Axone und des Endoneuriums bei erhaltenem Perineurium. Sunderland IV trifft für die Kontinuitätsunterbrechung der Axone und des Perineuriums bei erhaltenem Epineurium zu und das Stadium V ist die komplette Kontinuitätsunterbrechung des gesamten Nerven.

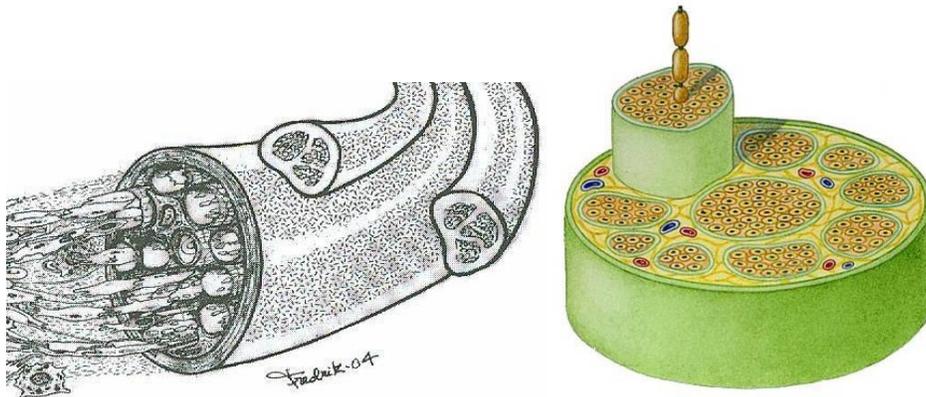
Die Regenerationsvorgänge nach Nervenläsionen verlaufen im distalen und proximalen Nervenanteil unterschiedlich ab. Im proximalen Nervenstumpf kann sich aufgrund der intakten Axone ein Wachstumskegel ausbilden. Am distalen Nervenstumpf kommt es zur Waller-Degeneration und parallel dazu zum Markscheidenzerfall. Es findet außerdem eine vermehrte Proliferation der Schwann-Zellen, die neurotrophe Faktoren produzieren, statt. Die Schwann Zellen und eingewanderte Makrophagen phagozytieren abgestorbenes Zellmaterial des zerfallenen axoplasmatischen Zytoskellets. Die Makrophagen wiederum setzen außerdem Zytokine frei, die zur vermehrten Schwann-Zellproliferation führen [14,41,23,83]. Durch Anordnung der

Schwann-Zellen innerhalb des Neurilemms der zerfallenen Nervenfasern entstehen längsorientierte Zellsäulen, die so genannten Büngner Bänder [17]. Das Aussprossen neuer Axone aus dem proximalen Nervenstumpf findet bei erfolgreichem Einwachsen in die Basallamina des noch bestehenden Endoneuriums entlang dieser Leitstrukturen statt. Der Mechanismus und die Regulation dieses gerichteten Auswachsens ist bislang noch nicht eindeutig geklärt [62]. Die durchschnittliche Wachstumsrate für die am schnellsten regenerierenden Axone wird mit 1 bis 2 Millimeter pro Tag geschätzt [15,106]. Findet das proximale Nervenende bei seinem Wachstum überhaupt keinen Anschluss an das Erfolgsorgan, kommt es an der Durchtrennungsstelle zu einer kolbenartigen Auftreibung, dem Neurom.

## **1.4 Techniken zur Überbrückung peripherer Nervendefekte**

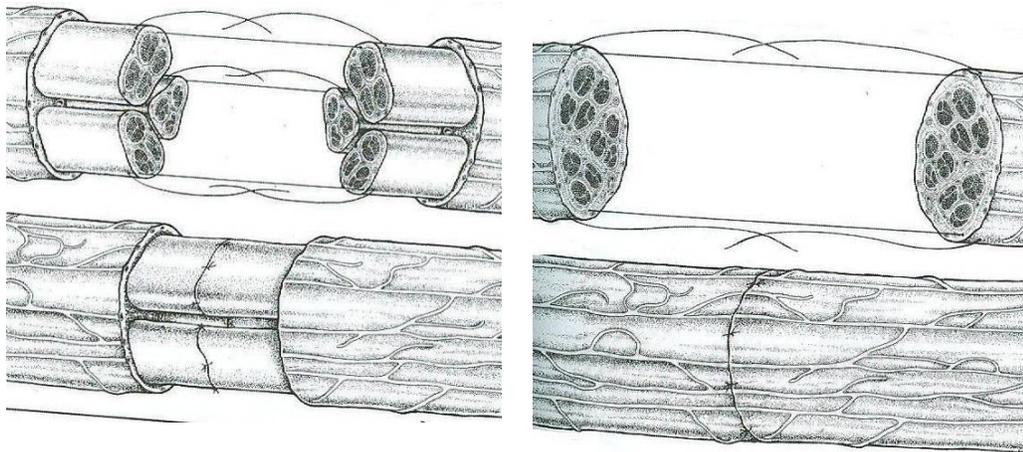
### **1.4.1 Nervenkoaptation**

Die primäre Nervenkoaptation ist zurzeit der Therapiestandard in der Behandlung von peripheren Nervendefekten. Sie ist jedoch nur dann möglich, wenn sich eine spannungsfreie Koaptation erzielen lässt. Abgeleitet von den anatomischen Strukturen eines Nerven, die genäht werden, unterscheidet man grundsätzlich die epineurale, die perineurale und die epiperineurale Koaptation. Jeder Nerv ist umgeben vom Epineurium, einer gefäßtragenden Bindegewebshülle. In dieser liegen die Faszikel. Ein Faszikel fasst ein Bündel von Axonen und wird eingehüllt vom Perineurium. Jedes Axon wird vom Endoneurium umgeben (Abb. 3 und 4).



**Abbildung 3 (links) und Abbildung 4 (rechts): Schematische Darstellung des Aufbaus eines Nerven; Dahlin und Lundborg [62]**

Die epineurale Naht ist demnach eine Naht des Epineuriums, wo hingegen bei der perineuralen die Naht von Faszikeln durch Erfassen des Perineuriums erfolgt. Die epiperineurale Naht stellt eine Kombination der beschriebenen Techniken dar, durch Fassen beider Strukturen (Abb.5).



**Abbildung 5: Schematische Darstellung der perineuralen (links) und der epineuralen Nervenkoaptation (rechts); Dahlin und Lundborg [62]**

### 1.4.2 Nerven transplantation

In einigen Fällen gelingt es, durch Mobilisation der Nervenstümpfe oder durch Umlagerung des Nervens eine ausreichende Annäherung der Enden zu erreichen. Wo dies jedoch nicht möglich ist, sind alternative Verfahren zur Überbrückung des Defektes notwendig, da eine Nervenkoaptation unter Spannung mit deutlich minderwertigen regenerativen Ergebnissen einhergeht [66,101,79,118].

Der Goldstandard für die Überbrückung von Nervendefekten, die nicht spannungsfrei zu koaptieren sind, ist das autologe Nerven transplantat. Nervendefekte entstehen bei traumatischen Nervenverletzungen mit Substanzverlusten, jedoch auch bei verzögerter operativer Versorgung und daraus resultierender Nervenretraktion [110,8,80] oder bei einem erforderlichen ausgedehnten Debridement der Nervenenden.

Bei der Versorgung mit einem Transplantat unterscheidet man grundsätzlich das autologe und das allogene Nerven transplantat. Das autologe Nerven transplantat findet sich erstmalig unter Phillipeaux 1870 dokumentiert [87]. Es gilt heute nach Einführung des Operationsmikroskops als der Goldstandard zur Überbrückung nicht spannungsfrei koaptierbarer peripherer Nervendefekte [81,9]. Defizite der autologen Nerven transplantation sind die begrenzte Menge an Spendermaterial und die obligate Spendermorbidity. Die zurzeit gängigen Spendernerven sind sensible Hautnerven. Die häufigste Anwendung findet hierbei der N. suralis (Abb.6), der über eine Länge von bis zu 40 cm gewonnen werden kann, nur wenig interfaszikuläres Bindegewebe aufweist und in seinem subfaszialen Verlauf kaum Äste abgibt [112].



**Abbildung 6: Sekundäre Rekonstruktion des N. medianus mit einem N. suralis Interponat. Anfang (gelber Pfeil links) und Ende (gelber Pfeil rechts) des Transplantates sind im Bild markiert.**

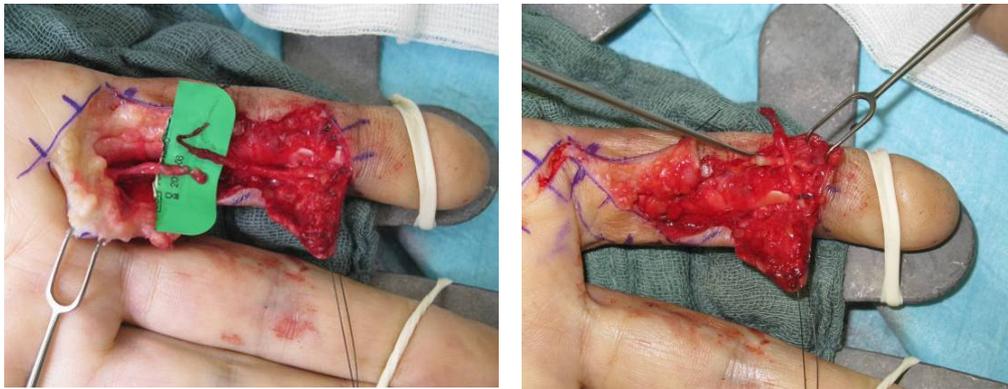
Defekte eines Nerven mit Durchmessern über dem der Spendernerven verlangen die Bündelung mehrerer Nerven zur Überbrückung der Läsion [81,79]. In seltenen Fällen ist die Verwendung vaskularisierter Nerventransplantate möglich, die Indikationstellung sollte jedoch auf spezielle Nervenverletzungen beschränkt werden. Ein Beispiel ist die Rekonstruktion von Läsionen des Plexus brachialis mit struktureller Unversehrtheit der Wurzeln, bei welcher z.B. der N. ulnaris als vaskularisiertes Interponat genutzt werden kann, wenn gleichzeitig eine lang bestehende Lähmung der intrinsischen Handmuskulatur besteht.

Das allogene Nerventransplantat wurde erstmals 1876 von Albert [2] erwähnt. Es handelt sich um ein nicht gängiges Procedere. Im Gegensatz zum autologen Transplantat fehlen zwar die Nachteile Spendermorbidity und begrenztes Spendermaterial, jedoch bringt das allogene Transplantat andere Nachteile mit sich. Diese äußern sich vor allem in Abstoßungsreaktionen durch das immunogen wirkende Fremdmaterial oder in der Beeinträchtigung des Patienten durch die erforderliche immunsuppressive Therapie. Eine klinische Anwendung allogener Nerventransplantate ist zurzeit

aufgrund der starken Medikamentennebenwirkung nur bei aus anderer Indikation vor bestehender systemischer Immunsuppression vertretbar, wie es bei Transplantation innerer Organe oder im Rahmen von Fremdhandtransplantationen der Fall ist [54].

### 1.4.3 End zu Seit Koaptation

Die End zu Seit Koaptation ist schon seit über 100 Jahren bekannt, jedoch wird sie im klinischen Alltag selten angewendet. Viterbo [126] und Lundborg [64] nahmen die Forschungen im Tierexperiment wieder auf und 1999 zeigte Zhang dass bei der End zu Seit Anastomose ein echtes seitliches Aussprossen von Axonen stattfindet. Das bedeutet, dass die End zu Seit Koaptation eines verletzten Nerven an einen benachbarten gesunden „Spendernerven“ zu einem Aussprossen von Axonen des gesunden Nerven in den koaptierten Nerven führt. Einige bisherige Arbeiten zeigen positive regenerative Ergebnisse nach End zu Seit Koaptation [77,40]. Durchgeführt wurde die End zu Seit Koaptation bisher bei verschiedenen Nerven, darunter Plexusläsionen, Verletzungen des N. medianus und N. ulnaris sowie der Fingernerven.



**Abbildung 7: End zu Seit Koaptation des ulnaren (links) auf den radialen Digitalnerven (rechts) bei langstreckiger Schädigung des ulnaren Zeigefingernerven.**

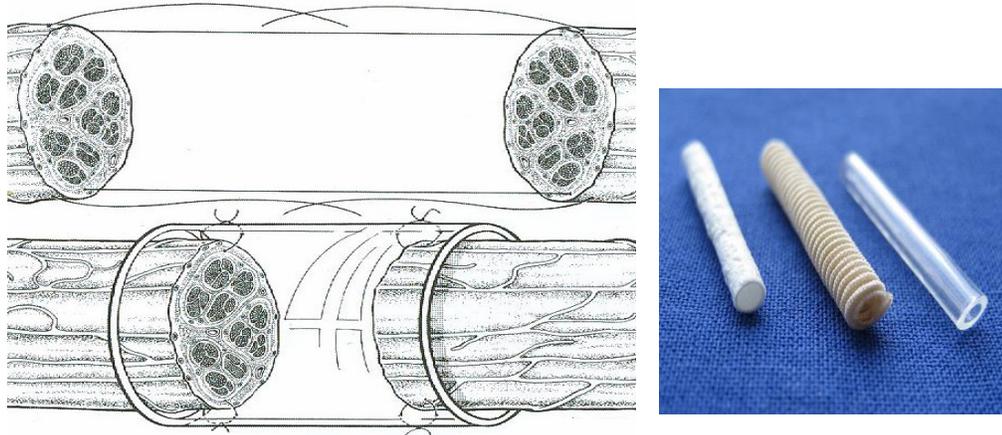
Wesentlicher Vorteil dieser Technik ist, dass kein Fremdmaterial benötigt wird, und im Gegensatz zur Tubulisation auch die Defektlänge nicht von Bedeutung ist. Ein Nachteil der Technik besteht in der Tatsache, dass bei Koaptation ggf. Axone unterschiedlicher sensibler oder motorischer Qualität des Spender- und des Nervenstumpfes aufeinander treffen und es dementsprechend im Versorgungsgebiet des Nerven nicht mehr zur ursprünglichen Innervation kommen kann. Außerdem ist die Qualität der Regeneration durch die vergleichsweise geringe Zahl aussprossender Axone limitiert. Die End zu Seit Koaptation kann bei spezieller Indikation ein geeignetes Verfahren darstellen. Ist jedoch eine primäre Kontinuitätswiederherstellung des Nerven zu erzielen, so ist diese im Allgemeinen vorzuziehen.

#### **1.4.4 Tubulisation**

Als Tubulisation wird die Überbrückung eines durchtrennten Nerven und die Annäherung beider Nervenstümpfe mittels eines Röhrchen bezeichnet (Abb. 8, links).

Erstmalige Erwähnungen dieses Verfahrens finden sich im späten 19. Jahrhundert. Es wurde seitdem eine Vielzahl an Materialien als Nervenröhrchen verwendet (Abb.8, rechts). Diese waren sowohl biologischer als auch synthetischer Art. Unter anderem zählten hierzu Arterien [17], Venen, Muskeln

[<sup>38,55</sup>], Sehnen [<sup>13</sup>], Knochen [<sup>58</sup>], Amnion [<sup>84</sup>], Kollagen [<sup>8,48,60</sup>], und Pseudosynovia [<sup>65</sup>], sowie Gelatine, Polymere aus L-Laktid und Glykolid [<sup>68,69,86</sup>], Silikon [<sup>67</sup>] und weitere künstliche und natürliche Substanzen [<sup>22</sup>].



**Abbildung 8:** *Links:* Schematische Darstellung der Nervenrekonstruktion durch Überbrückung des Defektes durch ein Nervenröhrchen (Tubulisation). Dahlin und Lundborg [<sup>62</sup>]; *Rechts:* Die aktuell in Europa CE-zertifizierten Nervenröhrchen; von links nach rechts: NeuraGen (Integra LifeSciences) aus Kollagen I, Neurotube (Synovis) aus Poly(DL-lactid- $\epsilon$ -caprolacton) und Neurolac (Polyganics) aus Polyglykolsäure.

Die Verwendung von Nervenröhrchen kann insbesondere wegen der Vermeidung der Spendermorbidity, freier Verfügbarkeit und des geringeren operativen Aufwandes eine sinnvolle Alternative gegenüber der autologen Nervenrekonstruktion darstellen [<sup>61</sup>] (Abb. 9). Dies gilt insbesondere bei Verletzungen kleinerer, rein sensibler Nerven wie den Nn. digitales proprii.



**Abbildung 9: Überbrückung eines 18 mm langen Defektes eines N. digitalis communis (links) mit Hilfe eines Nervenröhrchens (rechts).**

Ein weiterer Vorteil liegt vor allem darin, dass sie eine primäre Versorgung von Defektverletzungen ermöglichen. Ein Nachteil der Tubulisation ist jedoch der beschränkte Einsatz auf eine Defektstrecke von maximal 20 bis 30 mm. Die Verwendung von Venen als Tubulisationsmaterial wurde in den vergangenen Jahren wiederholt untersucht [47,117]. Es konnten klinisch Defekte bis zu 15 mm, experimentell im Tiermodell am Hasen bis zu 30 mm, überbrückt werden [110,111]. Jedoch liegt ein wesentlicher Nachteil darin, dass die Venen durch den Gewebedruck kollabieren [5,6].

## 1.5 Fragestellung

Im Mittelpunkt der Promotionsarbeit steht die Beurteilung des Therapieerfolges nach Rekonstruktion peripherer Nervenverletzungen. Ziel der Arbeit ist, mögliche Einflussfaktoren auf das klinische Ergebnis herauszuarbeiten. Hierbei sollen insbesondere die Faktoren Alter, Geschlecht, Verletzungshöhe, Versorgungszeitpunkt, Begleitverletzungen und Verschmutzungsgrad der Wunde berücksichtigt werden.

Welche Untersuchungen zur klinischen Beurteilung der Nervenregeneration im klinischen Alltag sowie in speziellen Studiensituationen sinnvoll erscheinen ist ein weiterer wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit. Zurzeit existieren viele Messverfahren zur Beurteilung der Nervenregeneration nach Verletzungen peripherer Nerven. Jedoch sind einige dieser Verfahren aufwendig und zeitintensiv. Ein Ziel dieser Studie war deshalb, eine Aussage darüber

treffen zu können, welche Verfahren im klinischen Alltag sinnvoll sind und ob die Beschränkung auf einige wenige Verfahren möglich ist.

Da eine objektive Bestimmung trophischer Störungen der Haut nach Nervenrekonstruktion in der Praxis zurzeit nur unzureichend erfolgt, wurden zudem erstmalig mithilfe spezieller Sondensysteme in diesem Zusammenhang objektivierbare Messungen der Hauttrophik durchgeführt.

## **2 Patienten und Methoden**

### **2.1 Patientengut**

Insgesamt wurden in der Plastischen Chirurgie des Universitätsklinikum Schleswig Holstein vom 1. Januar 2000 bis 31. Dezember 2004 an 356 Patienten Operationen an 372 Nerven der oberen Extremität durchgeführt. Die Versorgung erfolgte bei 333 Patienten (89%) durch die Nervenkoaptation, bei 36 Patienten (10%) durch autologe Transplantation und bei 3 Patienten (1%) durch Tubulisation.

Die Erfassung der Patienten erfolgte unter Durchsicht der Operationsberichte der Plastischen Chirurgie des Universitätsklinikum Schleswig Holstein aus den Jahren 2000 bis 2005. Es wurden Patienten mit folgendem Kriterium in die Studie eingeschlossen: Operation an einem oder mehreren Nerven der oberen Extremität, bei denen primäre oder sekundäre Nervenkoaptationen, -transplantationen oder eine Rekonstruktion durch Einbringen kollagener Nervenröhrchen erfolgte. Ausgeschlossen wurden Patienten bei welchen lediglich eine Neurolyse oder eine Nervenverlagerung durchgeführt wurde.

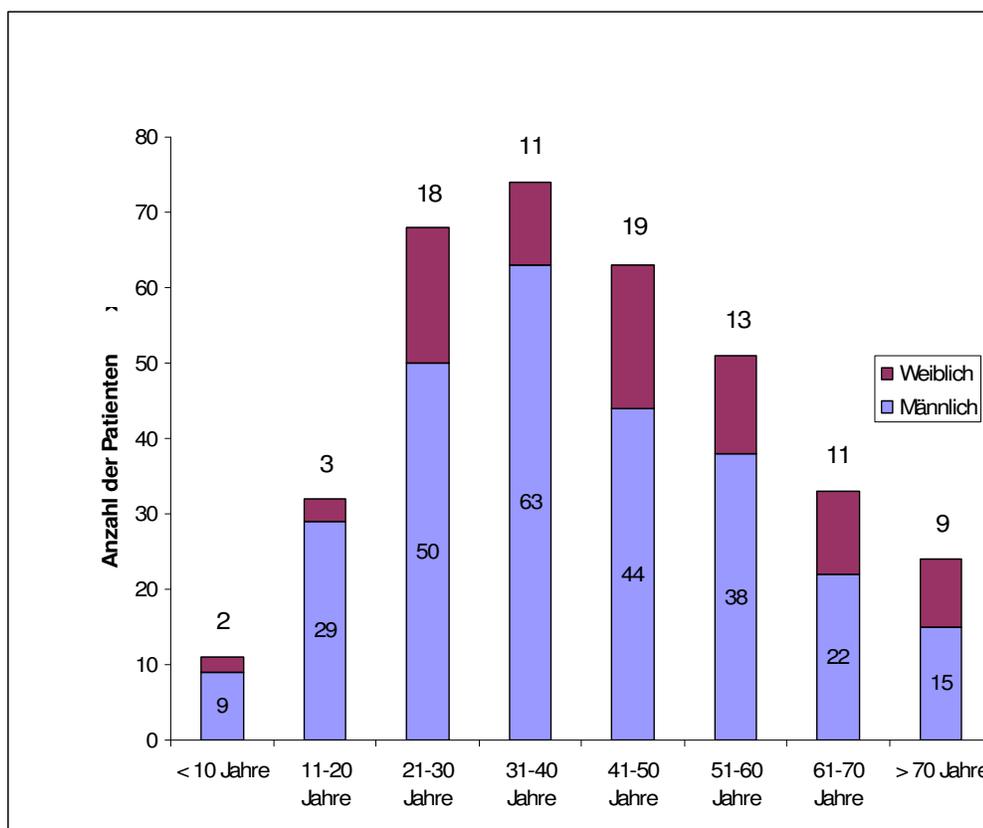
Des Weiteren wurden aus den Operationsberichten der Zeitpunkt der Versorgung und versorgte Begleitverletzungen ermittelt. Zur weiteren Datenerhebung wurden für diese Patienten die Krankenakten aus den Archiven unseres Klinikums bestellt, um die Adressen, Telefonnummern und zuständige Krankenkasse sowie Daten über mögliche postoperative Komplikationen, Unfall-, und Aufnahmezeitpunkte, mögliche vorherige Versorgungen durch andere Kliniken oder Ärzte und die poststationäre Behandlung in unserer Poliklinik zu erheben.

Die Patienteneinbestellung erfolgte zunächst schriftlich. An jeden Patienten wurde eine formelle Einladung unserer Klinik zu einer freiwilligen Nachuntersuchung sowie eine ausführliche Aufklärung über Gründe, Art und Dauer der Untersuchung geschickt. Des Weiteren erhielt der Patient mit diesem

Brief eine Einverständniserklärung zur Unterschrift und einen frankierten Antwortbogen für die Klinik zur möglichen Terminvereinbarung. Es wurde darauf hingewiesen, dass auch eine telefonische Terminvereinbarung oder –absage möglich ist. War eine schriftliche Kontaktaufnahme nicht erfolgreich, wurde ein telefonischer Kontakt hergestellt. Im Falle von veralteten Kontaktdaten, wurde bei Krankenkassen, Hausarzt bzw. Hausärztin oder Online-Telefonbüchern nach der aktuellen Anschrift recherchiert. In einigen Fällen war die Kontaktaufnahme trotz aufwändiger Recherche nicht möglich. Um die Datenmenge beim Patientengut mit Verletzungen des N. digitalis proprius sinnvoll zu reduzieren, wurde nach Rücksprache mit den Statistikern der Biometrischen Beratung unserer Universität ein Auswahlkriterium gewählt, welches einen zu erwartenden hohen Rücklauf hat, jedoch keinen wesentlichen Einfluss auf die späteren Ergebnisse haben kann. Es wurden die Patienten mit Wohnsitz in Lübeck und Bad Schwartau angeschrieben, so dass ein möglichst heterogenes Patientengut zustande kam.

### **2.1.1 Altersverteilung im gesamten Patientengut**

Die Altersspanne im Patientengut reichte von vier bis 88 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 41 Jahre. Die Altersverteilung wird in Abbildung 10 dargestellt.



**Abbildung 10: Altersverteilung im gesamten Patientengut unterteilt in männliche und weibliche Patienten.**

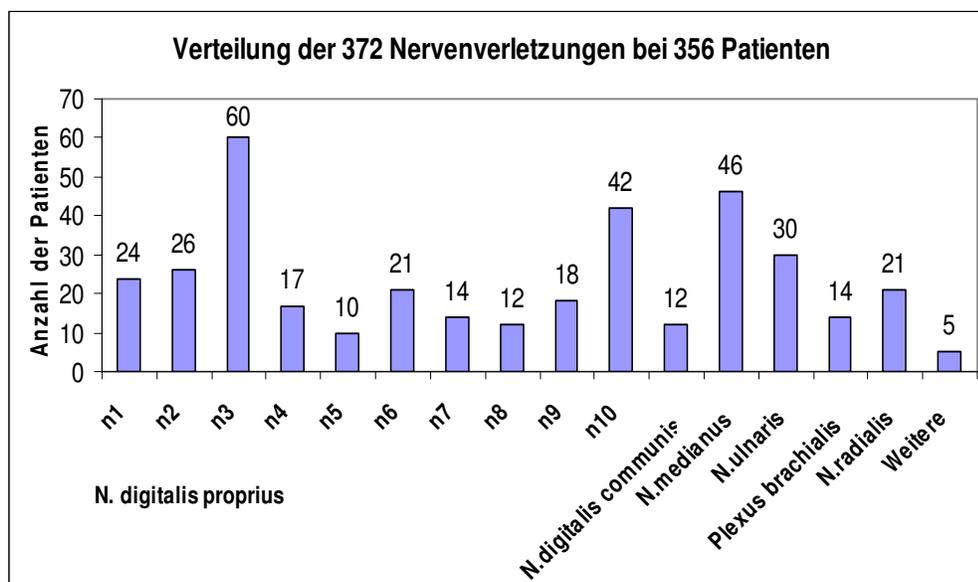
### 2.1.2 Geschlechtsverteilung im gesamten Patientengut

Bei insgesamt 356 Patienten waren 86 Frauen (24,7%) und 270 Männer (75,3%) von Nervenverletzungen betroffen. Von den 90 nachuntersuchten Patienten waren 65 Männer (72,2%) und 25 Frauen (27,8%).

### 2.1.3 Verteilung der betroffenen Nerven im gesamten Patientengut

Im gesamten Patientengut (n=356) wurden 372 Nerven versorgt. Es traten insgesamt in 13 Fällen Kombinationsverletzungen auf. Es handelte sich hierbei um Kombinationsverletzungen von Finger- und Hohlhandnerven (2), von Hohlhandnerv und N. medianus, N. ulnaris und N. radialis (1), von N. medianus und N. ulnaris (5) sowie von N. ulnaris und N. radialis (1). Bei 4 Patienten traten gleichzeitig Verletzungen des Plexus brachialis und Verlet-

zungen des N. medianus (3) bzw. N. ulnaris (1) im Unterarmbereich auf (Abb.11).



**Abbildung 11:** Die Aufteilung aller Nervenverletzungen in die einzelnen Nervengruppen. N1-N10: Nn. digitales proprii durchnummeriert, beginnend mit N. digitalis proprius radialis des Daumen bis N. digitalis proprius ulnaris des Kleinfinger. Unter „weitere“ fallen N. musculocutaneus, Ramus superficialis nervi radialis und N. cutaneus antebrachii.

## 2.2 Ablauf der Untersuchung und Methoden

Bei allen Untersuchungen erfolgte die Beurteilung immer im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

### 2.2.1 Anamnese

Zur Anamneseerhebung wurden persönliche Daten des Patienten mit Hilfe von 2 Fragebögen gewonnen. Der erste Fragebogen beinhaltet Fragen nach bibliographischen Daten, Unfallhergang, Verschmutzungsgrad der Wunde, Arbeitsunfähigkeit, Missempfindungen, Schmerzen, Vorerkrankungen wie Polyneuropathie und Diabetes mellitus, sowie dem Raucher-, bzw. Nichtraucherstatus.

Zudem erfolgte die Ermittlung einer möglichen verletzungsbedingten Funktionseinschränkung im täglichen Leben mittels des Fragebogens DASH [109].

Der DASH-Fragebogen ist ein standardisierter Fragebogen zur Beurteilung der Fähigkeiten des Patienten, in seinem Lebensumfeld bestimmte Tätigkeiten auszuführen [43]. Der Fragebogen besteht aus einem Hauptteil mit 30 Fragen und zwei zusätzlichen Modulen für den Bereich Arbeit / Beruf und den Bereich Sport / Musik mit jeweils vier Fragen. Die Fragen können auf einer Skala von eins bis fünf Punkten bewertet werden (Tab.1).

<b>1</b>	<b>Keine Schwierigkeiten</b>
<b>2</b>	<b>Geringe Schwierigkeiten</b>
<b>3</b>	<b>Mäßige Schwierigkeiten</b>
<b>4</b>	<b>Erhebliche Schwierigkeiten</b>
<b>5</b>	<b>Nicht möglich</b>

**Tabelle 1: Skala im DASH-Fragebogen (1-5)**

Die Patienten sollen alle Fragen gemäß dem Zustand in der vergangenen Woche beantworten. Sollten die Patienten in der vergangenen Woche keine Gelegenheit gehabt haben, eine der aufgeführten Tätigkeiten durchzuführen, so soll die am ehesten zutreffende Antwort gewählt werden. Es ist nicht entscheidend, mit welchem Arm oder welcher Hand sie diese Tätigkeiten ausüben. Die Auswertung erfolgte nach den neuen Richtlinien des Institutes für Arbeit und Gesundheit in Toronto, Kanada, aus dem Frühjahr 2002 [109].

Die maximal erreichbare Punktzahl liegt bei 150 Punkten, das mögliche Minimum bei 30 Punkten. Die Auswertung erfolgt nach folgender Formel:

$$\frac{[(\text{erreichte Punktzahl} - 1)]}{\text{Anzahl der beantworteten Fragen}} \times 25 = \text{DASH-Wert (0-100)}.$$

Die Zusatzmodule beinhalten jeweils vier Fragen. Die Berechnung des DASH-Wertes erfolgt folgendermaßen:

$$\frac{\text{Erreichte Punktzahl} - 1}{4 \text{ (=Anzahl der beantworteten Fragen)}} \times 25 = \text{DASH-Wert (0-100)}.$$

Wurden weniger als 10% der Fragen nicht beantwortet, darf der Mittelwert aller anderen Fragen für den fehlenden Wert bzw. Werte verwendet werden. Sind allerdings 3 oder mehr Fragen nicht beantwortet worden, so darf dieser Teil nicht gewertet werden. In den Zusatzmodulen dürfen keine Antworten fehlen.

### 2.2.2 Inspektion

Zur Inspektion gehören die Beurteilung der Handinnenfläche und der Fingerkuppen hinsichtlich möglicher Narbenbeschaffenheit, Hautfärbungsunterschiede, Fingerspitzenatrophie, Beschaffenheit der Papillarleisten, Haar-anomalie, Muskelatrophie und Hyperkeratose. Ein Vorschub und eine Verdickung des Nagelbettes unter den distalen Nagelrand werden als Nagelbettzeichen nach Alfvöldie bezeichnet und ist als Folge chronischer Denervierung beschrieben.

### 2.2.3 Palpation

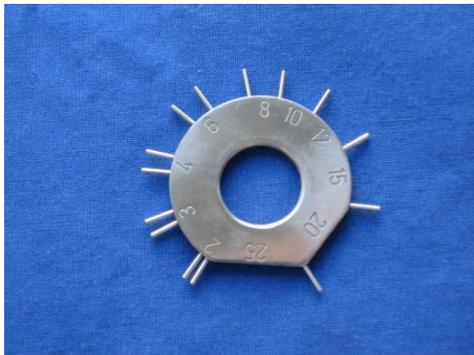
Bei der Palpation werden fühlbare Temperaturdifferenzen zur Gegenseite sowie Unterschiede in der Schweißsekretion beurteilt. Das so genannte Hoffmann-Tinel-Zeichen, oder auch Beklopfungszeichen, ist ein Zeichen der Schädigung oder noch nicht vollständigen Regeneration bzw. Maturation des Nerven. Es gilt als positiv wenn bei Beklopfung der Haut im Verlauf des Nerven eine elektrisierende Missempfindungen im sensiblen Versorgungsgebiet ausgelöst wird [<sup>50,119</sup>].

## 2.2.4 Beurteilung der Sensibilität

### 2.2.4.1 Zwei-Punkte-Diskriminationsfähigkeit

Bei der Zwei-Punkte-Diskriminationsfähigkeit (ZPD) sind zwei Verfahren zu unterscheiden. Die statische Zwei-Punkte-Diskrimination (sZPD) beschrieben durch Weber [<sup>129</sup>] gibt den kleinsten möglichen Abstand zwischen zwei Punkten an, die der Patient noch als zwei unterschiedliche wahrnimmt. Die dynamische Zwei-Punkte-Diskrimination (dZPD) nach Dellon [<sup>26,32</sup>] ermittelt den gleichen Abstand, jedoch bei zwei sich gleichzeitig bewegenden Punkten, die während der Bewegung immer im gleichen Abstand zu einander stehen.

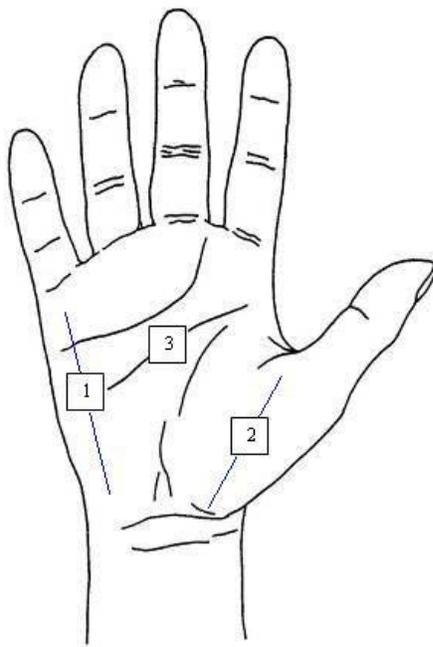
Zur Durchführung wurde eine Zwei-Punkte-Diskriminationsscheibe, der Zweipunkttestern von Greulich, verwendet [<sup>45</sup>] (Abb.12).



**Abbildung 12: Greulich-Stern der Firma Link GmbH und Co, Hamburg**

Dieser besitzt Stahlstifte in verschiedenen Abständen von 2, 3 und 4 mm sowie 6, 8, 10, 12, 15 und 20 mm. Der Patient wird nach einer Demonstration gebeten, die Angaben ohne direkten Sichtkontakt zu machen. Der untersuchende Finger wird leicht durch Gegendruck auf den Fingernagel fixiert. Die Stifte werden dann unter Ausnutzung des Eigengewichtes gleichzeitig und mit leichtem Druck auf die Fingerendgliedhälfte aufgesetzt. Begonnen wird mit einem möglichst großen Abstand. Ist der Patient in der Lage, zwei Punkte zu unterscheiden, wird mit dem nächst kleineren Abstand fortgefahren, bis eine Unterscheidung von zwei Punkten nicht möglich ist. Die korrekte Mitarbeit des Patienten wird getestet, indem gelegentlich auch nur ein Stahlstift aufgesetzt wird. Der letzte noch zu unterscheidende

Abstand gilt dann als Wert für die sZPD. Das gleiche Verfahren gilt auch für die dZPD. Hier werden jedoch die zwei Stahlstifte über die Haut gestrichen. Bei Schädigungen des Plexus brachialis und des N. medianus wurden die sZPD und dZPD für alle Fingerendgliedhälften, sowie für die Haut im Bereich der Thenar- und Hypothenarmuskulatur und einem Punkt der zentralen Handinnenfläche durchgeführt. Die genaue Ermittlung dieser Punkte geht aus Abb. 13 hervor.



**Abbildung 13:** 1) Hypothenar = halber Abstand zwischen Grundgelenk des Kleinfinger zum tastbaren proximalem Ende des Os pisiforme; 2) Thenar = halber Abstand zwischen dem Metacarpophalangealgelenk und dem Carpometacarpalgelenk des Daumens; 3) Palmar = Zentrum der Hohlhand.

Bei Verletzungen des N. ulnaris erfolgte die Ermittlung der sZPD und dZPD nur an den Fingerendgliedhälften der Mittel- bis Kleinfinger sowie Thenar, Palma und Hypothenar. Bei Verletzungen der Nn. digitales communes und der Nn. digitales proprii wurde nur an dem jeweiligen betroffenen Finger und an einem direkt benachbarten Finger gemessen.

Die gewonnenen Ergebnisse werden nach einem Schema der British Medical Research Council Classification of Sensory Recovery [76] erfasst, wel-

ches von Hight und Sanders begründet und durch Mackinnon und Dellon modifiziert wurde [70]. Es werden die gemessenen Abstände der sZPD und die Beurteilung der Oberflächensensibilität in Bezug zueinander gesetzt (Tab. 2).

S0	Fehlen jeglicher Sensibilität im autonomen Gebiet
S1	Wiedererlangung der tiefen Schmerzempfindung im autonomen Gebiet
S2	Wiedererlangung gewisser oberflächlicher Schmerz- und Berührungsempfindungen im autonomen Gebiet
S2+	Wiedererlangung von Schmerz- und Berührungsempfindungen im autonomen Gebiet mit bleibenden Parästhesien
S3	Wiedererlangung von Schmerz- und Berührungsempfindungen im autonomen Gebiet mit Verschwinden der Parästhesien, statische Zwei-Punkte- Diskrimination > 15 mm
S3+	Siehe S3, statische Zwei- Punkte- Diskrimination 7 bis 15 mm
S4	Vollständige Rückkehr der Sensibilität, statische Zwei- Punkte- Diskrimination < 7 mm

**Tabelle 2: Beurteilung der Sensibilität nach der British Medical Research Council Classification of Sensory Recovery[76] und Mackinnon und Dellon[70].**

#### 2.2.4.2 Weinstein Enhanced Sensory Test (WEST)

Der WEST [19] basiert auf dem Semmes- Weinstein- Monofilamenttest, der wiederum seine Wurzeln in den so genannten von- Frey- Haaren hat [103].. In unserer Studie wurde noch der WEST-D zur Untersuchung der Patienten eingesetzt. Die folgenden Abbildungen beziehen sich auf die aktuelle Version WEST-Hand der Firma Connecticut Bioinstruments.

Farbe des Filaments	Aufdruckstärke in Gramm
röt	10
lila	2
blau	0,5
grün dunkel	0,07
grün hell	0,025

**Tabelle 3: Filamentfarben-, und -stärken in Gramm des WEST-D.**

Bei diesem Test stehen insgesamt 5 Nylon Filamente mit unterschiedlicher Dicke zur Verfügung (Tab. 3 und Abb.14-15). Beim Aufsetzen auf das Fingerendglied biegt sich das Nylon Filament, so dass mit immer gleichem Druck die Haut berührt wird. Der Druck variiert je nach Stärke des Filaments.



**Abbildung 14 und Abbildung 15: WEST-Hand (Connecticut Bioinstruments).**

Die zu untersuchenden Punkte der Haut für den WEST sind identisch mit denen für die sZPD. Die Aufdruckstärke der Filamente wird in Gramm angegeben. Der Ablauf der Untersuchung wird als „Rapid Threshold Procedure“ bezeichnet und richtet sich nach dem WEST-D Esthesiometer Care and Use Manual [103,19]. Der Patient wird nach einer Demonstration mit dem 2g Filament gebeten, die Augen zu schließen. Jedes Filament wird dreimal hintereinander auf die Fingerkuppe aufgesetzt, wobei der Patient über jeden Stimulus vorher unterrichtet wird. Er muss nach jedem Stimulus angeben, ob er ihn verspürt oder nicht. Konnten alle drei Berührungen sicher erkannt werden, geht man zum nächsten kleineren Filament über. Wird vom Patienten auch der dritte Stimulus nicht erkannt, muss das nächste höhere Fila-

ment gewählt werden. Nach dem dritten getesteten Filament erfolgt ein Empfindungsprobentest [19]. Bei diesem Test wird der Patient über einen folgenden Stimulus unterrichtet, jedoch das Filament vom Untersucher nicht aufgesetzt. Der Patient soll nun wieder sagen, ob er etwas verspürt hat oder nicht.

Stärke in Gramm	ID	Filament	Bewertung
0,1	1		Extrapolierter Wert, gewöhnlich nicht wahrnehmbar
0,025	2	Hellgrün	Normale Gesichtshaut
0,045	3		Normale Hand der jungen Frau (<55 Jahren)
0,7	4	Dunkelgrün	Normale Hand des jungen Mannes (<55 Jahren)
0,29	5		Normal für andere Körperstellen als der Hand
0,5	6	Blau	Reduzierte Tastempfindung, mit Ausnahme des unbehaarten Fußes
1,25	7		Reduzierte Tastempfindung, eingeschlossen Haut des unbehaarten Fußes
2	8	lila	Reduzierte Schutzempfindung für die Haut der Hand
6	9		Völliger Verlust der Schutzsensibilität für die Haut der Hand/ Reduzierte Schutzempfindung an der Haut des unbehaarten Fußes
10	10	Rot	Grenzwertiger Verlust der Schutzsensibilität an der Haut des Fußes
10+	11		Völliger Verlust der Schutzsensibilität an der Haut des Fußes

**Tabelle 4: Bewertung der Messergebnisse, Filamentstärken und zugehörige ID des WEST.**

Sollte auf diesen Empfindungsprobentest eine Reaktion des Patienten erfolgen, kann dies ein Indikator für eine unklare Wahrnehmung des Patienten, Neuropathie oder Selbsttäuschung sein [19]. Insgesamt können mit den fünf Filamenten elf Abstufungen bezüglich der Sensibilität gemacht werden (Tab.4). Dies resultiert aus der Untersuchungsmethode. Da der Stimulus bei jedem Filament mehrmals getestet wird, kann die Aussage darüber ge-

macht werden, ob jeder Stimulus sicher oder nur zwei, bzw. einer von dreien erkannt wurde. Ein Patient kann zum Beispiel in der Lage sein das 2g Filament bei allen drei Stimuli zu erkennen, jedoch beim darunter liegenden Filament von 0,5 g keinen von drei Stimuli zu empfinden, dies entspricht dann einer ID von 7. Wird das 2g Filament nur gelegentlich erkannt, entspricht dies einer ID von 8. Die ID beschreibt den Wert bei dem etwa 50% richtig erkannt werden.

### **2.2.5 Beurteilung der Temperatur- und Bewegungsempfindung, Beurteilung der Schutzsensibilität**

Zur Prüfung des Temperatursinnes wird das Tip-Therm eingesetzt. Dieses ist ein validiertes Instrument, welches bisher in der neurologischen Diagnostik der symmetrischen Polyneuropathie des diabetischen Fußes eingesetzt wurde [125]. Das Instrument besitzt zwei Auflageflächen aus Metall, bzw. Kunststoff, von welcher erstere als kalt und die andere als weniger kalt empfunden wird. Optische Kontrollmöglichkeiten durch den Patienten müssen auch bei diesem Test vermieden werden.

Die Schutzsensibilität wird durch leichtes Aufsetzen einer scharfen Kanüle getestet. Das Bewegungsempfinden wird bei geschlossenen Augen des Patienten durch Bewegung der Fingerendglieder im Raum und Benennung der Stellung überprüft.

### **2.2.6 Beurteilung der Motorik**

Eine Beurteilung der Motorik erfolgt bei Nerven mit motorischen Anteilen. Dies traf an der oberen Extremität auf den N. ulnaris, N. medianus und höhere Plexus brachialis Läsionen zu. Patienten mit Verletzungen von motorischen Anteilen des N. radialis kamen in diesem Patientengut nicht vor. Es wurde immer auch die gesunde Gegenseite untersucht.

### **2.2.6.1 Messung der Kraft mit dem Vigorimeter**

Der Grad der Krafrückkehr der Hand und der Finger wird mit Hilfe des Vigorimeter in Grobgriff, Schlüsselgriff und Opposition des Daumens zum Kleinfinger gemessen. Für den Grobgriff wird die Ballongröße fünf verwendet, für alle weiteren Positionen die Größe zwei. Es muss darauf geachtet werden, dass sich die gegenüberliegenden Ballonteile nicht berühren. Ebenso muss das zu Hilfe nehmen anderer Finger verhindert werden.

### **2.2.6.2 Messung der Bewegungsumfänge**

Zur Beurteilung der Beweglichkeit werden zum einen die Abstände verschiedener Positionen der Finger ermittelt, die der Patient aktiv aufbringen kann. Dazu gehören der Abstand zwischen Daumen und Kleinfingerkuppe bei maximaler Fingerspreizung als Maß für die Handspanne, der Abstand zwischen dem opponierten Daumen und dem Metacarpale- V- Köpfchen, der Abstand der Nagelränder zur queren Hohlhandfalte bei versuchtem Faustschluss, der Abstand der Fingerspitzen zur darunter liegenden Fläche bei aufliegendem Handrücken und aktiver Fingerstreckung sowie die letzte mit dem Daumen erreichbare Fingerkuppe. Außerdem wird die aktive Beweglichkeit durch die Neutral-Null-Methode gemessen. Bei der Messung von der Null-Stellung aus wird der bei aktiver Bewegung durchlaufene Winkel abgelesen und unter Aufrundung auf die nächste 5er-Stelle notiert. Bei der Protokollierung werden immer drei Zahlen eingetragen. Im Normalfall, wenn das Gelenk über die 0-Stellung hinaus in beide Richtungen beweglich ist, wird 0 zwischen die Ziffern für die Anfangs- und Endstellung gesetzt [46].

### **2.2.6.3 Messung der Umfangsmaße**

Bei allen Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und des Plexus brachialis wurden die Umfänge an folgenden Punkten an gesunder und erkrankter Seite bestimmt: 15 cm über und 10 cm unter dem Epicondylus lateralis humeri, Handgelenk, Mittelhand sowie Mittel- und Endglied des

Mittelfingers bei Verletzungen des N. medianus und des Kleinfingers bei Verletzungen des N. ulnaris.

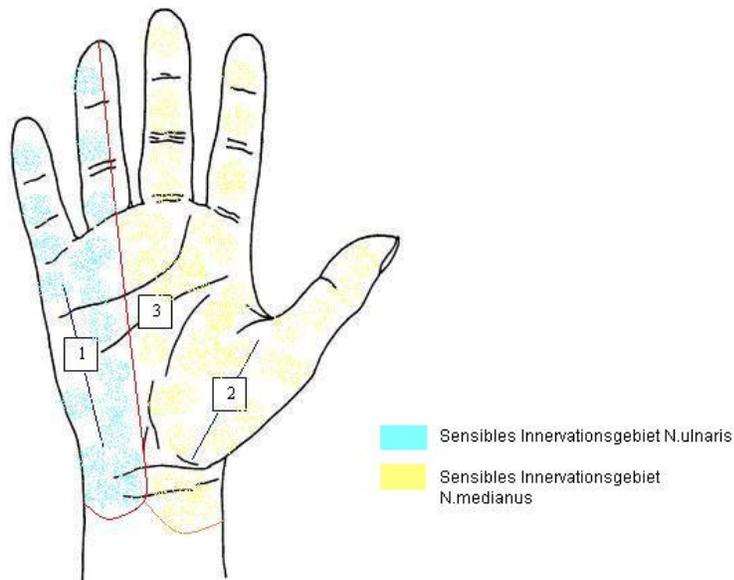
#### **2.2.6.4 Sonstige Messungen**

Bei Verletzungen des N. medianus, des N. ulnaris oder des Plexus brachialis wird die Adduktionfähigkeit der Finger beurteilt sowie mit dem Flaschen- und Froment-Zeichen zwei weitere Zeichen einer möglichen Schädigung von N. medianus bzw. N. ulnaris überprüft. Beim Froment-Zeichen muss der Proband ein Papier zwischen Daumen und Zeigefinger festhalten. Bei Läsionen des Hauptastes des N. ulnaris und daraus resultierender Lähmung des M. adductor pollicis kommt es zur behelfsmäßig starken Beugung des Daumens im Endgelenk durch den M. flexor pollicis longus, welcher durch den N. medianus innerviert wird. In diesem Fall ist das Zeichen positiv. Das Flaschenzeichen tritt bei Läsionen des N. medianus auf und äußert sich in einer Lähmung des M. abductor pollicis brevis mit daraus resultierendem Unvermögen einen Flaschenhals geschlossen zu umgreifen.

#### **2.2.7 Geräte, Software und Messung mit den Sonden**

In dieser Studie wurden erstmals die nachfolgend genannten Messsonden zur Beurteilung der Trophik der Haut nach peripheren Nervenverletzungen eingesetzt. Ziel ist die Messung von Elastizität, Hautfeuchtigkeitsgrad und transepidermale Wasserverlust sowie der Pigmentierung und Durchblutung der Haut. Diese hierfür verwendeten Messsonden der Firma Courage + Khazaka electronic GmbH in Köln sind das Cutometer MPA 580® und dessen Zusatzsonden das Corneometer® CM 825, das Tewameter® TM300 und das Mexameter® MX 18. Die Messung mit den Sonden wurde nur bei Schädigungen des N. medianus, des N. ulnaris oder des Plexus brachialis durchgeführt, da wir hier erwarteten, das größte Ausmaß an Hautveränderungen vorzufinden. Zudem ist eine isolierte Messung nur einer Fingerseite, welche bei Verletzungen von Fingernerven erforderlich wä-

re, aufgrund der Größe der Testfelder nicht sicher möglich. Die Messpunkte sind in Abbildung 16 dargestellt.



**Abbildung 16:** Messpunkte 1:Hypothenar, 2:Thenar; 3:Palma in den sensiblen Innervationsgebieten des N. ulnaris und N. medianus.

### Messung der Elastizität und Viscoelastizität

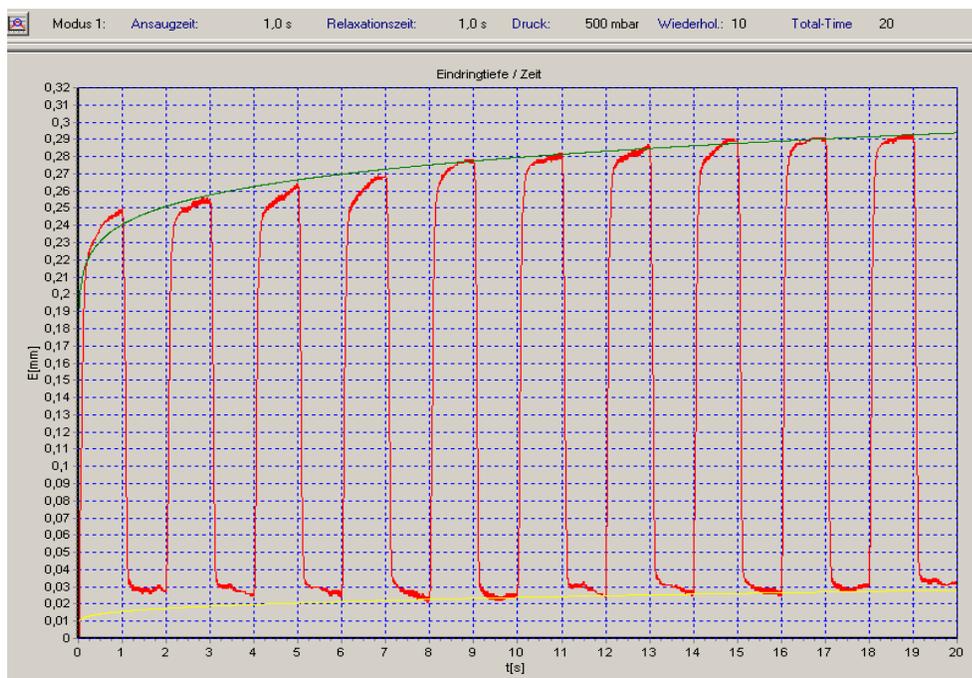
Zur objektiven Prüfung der Elastizität und Viscoelastizität wird das Cutometer MPA 580® verwendet [39,90,91,35] (Abb.17). Das Messprinzip beruht auf der Saugmethode.



**Abbildung 17** Cutometer MPA 580® der Firma Courage+Khazaka electronic

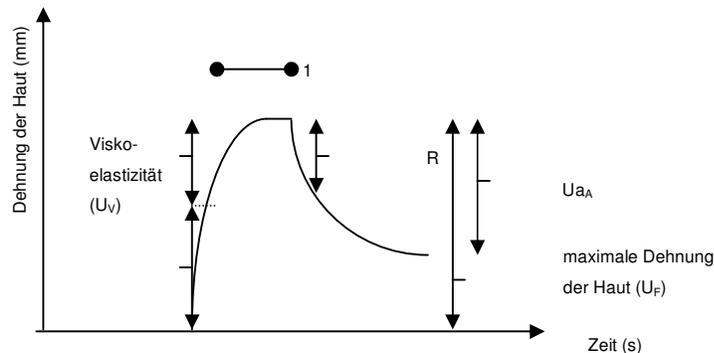
Das Gerät erzeugt einen Unterdruck, der zwischen 20 und 500 mbar eingestellt werden kann. Die zu untersuchende Hautstelle wird durch einen Unterdruck während der Messung in die Öffnung der Messsonde gezogen. Die Eindringtiefe der Haut in die Öffnung wird durch ein optisches Messsystem berührungslos erfasst. Das optische Messsystem besteht aus einem Lichtsender und einem Lichtempfänger sowie zwei gegenüberliegenden Glasprismen, die das Licht vom Sender zum Empfänger leiten. Die Lichtintensität variiert auf Grund der Eindringtiefe der Haut. Der Widerstand der Haut, der zum Einsaugen durch den negativen Druck benötigt wird und die Fähigkeit der Haut, wieder in die Ausgangsposition zurück zu gelangen, werden als Kurven am Ende jeder Messung angezeigt.

Die Messung wird auf den Mittel- und Kleinfinger sowie Thenar, Palma und Hypothenar beschränkt. Hier benötigt je eine Messung 20 Sekunden und endet automatisch. Es wird zunächst komplett an der rechten und dann erst an der linken Hand gemessen. Die ermittelten Werte werden dann von der Software dargestellt (Abb.18).



**Abbildung 18: Beispiel eines Messergebnisses der Elastizitätswerte mittels Cutometer® über 20 Sekunden.**

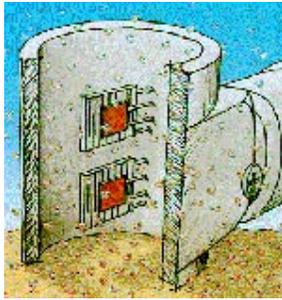
Die Berechnung der Elastizität erfolgt durch Bestimmung des Quotienten  $R_2$ . Dieser stellt das Verhältnis zwischen maximaler Amplitude ( $=U_f$ ) und Fähigkeit der Rückbildung ( $=U_a$ ) dar und repräsentiert den Wert der Elastizität der Haut (Abb.19). Die Werte liegen zwischen null und eins, wobei eins mit 100% gleich zu setzen ist. Je näher der erreichte Wert an eins liegt, desto höher ist die Elastizität.



**Abbildung 19: Parameter der Elastizitätsmessung mit dem Cutometer<sup>(R)</sup> modifiziert nach van ZUIJLEN et al.[<sup>120</sup>]**

### Transepidermaler Wasserverlust

Das Tewameter<sup>®</sup> untersucht den transepidermalen Wasserverlust (TEWL). Es ist der wichtigste Parameter, um die Effektivität der Haut-Wasser-Barriere zu beurteilen. Das Messsystem folgt den Prinzipien der Diffusion in einer offenen Kammer (Abb.20). Der Dichtegradient wird dabei indirekt von 2 Sensorpaaren (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) in einem Hohlzylinder gemessen und von einem Mikroprozessor analysiert [<sup>3,25,93,12</sup>]. Die Messung wird auf den Mittel- und Kleinfinger sowie Thenar, Palma und Hypothenar beschränkt. Hier benötigt je eine Messung 20 Sekunden. Die Messung mit dem Tewameter kann durch Betätigen eines Druckknopfes begonnen und nach gewünschter Zeit wieder beendet werden (Abb.21).



**Abbildung 20: Tewameter® der Firma Courage und Khazaka electronic (Schematische Darstellung)**



**Abbildung 21 Tewameter® (Messung auf der Haut)**

Es wird zunächst komplett an der rechten und dann an der linken Hand gemessen. Bei Messungen mit dem Tewameter ermittelt die Sonde über 20 Sekunden 20 Werte und gibt gleichzeitig die entsprechenden Mittelwerte und Standardabweichungen an. Am Ende der Messung können so ein endgültiger Mittelwert und eine Standardabweichung für jede gemessene Körperstelle bestimmt werden. Die Werte des transepidermalen Wasserverlustes werden in  $\text{g/h/m}^2$  angegeben.

### **Messung der Hautfeuchtigkeit**

Das Corneometer® (Abb.22) bestimmt den Grad der Feuchtigkeit der Haut. Das Messprinzip beruht auf der Kapazitätsmessung eines dielektrischen Mediums. Jede Veränderung der dielektrischen Konstante durch Variation in der Feuchtigkeit der Hautoberfläche verändert die Kapazität des Kondensators [20].



**Abbildung 22: Corneometer® der Firma Courage und Khazaka electronic.**

Die Messung erfolgt an allen Fingerendgliedern und den beschriebenen Stellen Thenar, Palma und Hypothenar beider Hände. Die Sonden werden auf den jeweiligen Punkten aufgesetzt und das Ende der Messung, markiert durch einen Signalton, abgewartet. An jeder beschriebenen Hautstelle wird dreimal gemessen. Es erfolgt die Messung immer abwechselnd von rechter nach linker Hand. Eine Gesamtmessung mit einer Sonde für einen Patienten beinhaltet dementsprechend 48 Einzelmessungen bei Verletzungen des N. medianus und 36 Einzelmessungen bei Verletzungen des N. ulnaris, da bei diesem der Daumen und der Zeigefinger ausgelassen werden.

Aus den insgesamt drei Einzelmessungen für jede Stelle wird ein arithmetischer Mittelwert errechnet. Die Werte des Corneometer sind relative Werte (arbitrary units) zwischen null und 130 [20]

### **Messung der Hautpigmentierung und Hautdurchblutung**

Mit Hilfe des Mexameter® (Abb.23) können Aussagen zur Pigmentierung und Durchblutung getroffen werden. Es wird der Melanin und Hämoglobingehalt der Haut bestimmt, also den Stoffen, welche die Hautfarbe bestimmen. Die Messungen erfolgen auf der Grundlage von Absorption und Reflexion. Die Messsonde emittiert Licht von 3 verschiedenen Wellenlängen. Ein Empfänger misst die Menge an Licht, welches von der Haut reflektiert wird. Daraus kann die Menge an Licht berechnet werden, die von der Haut absorbiert wird [18]. Die gewonnenen Daten wurden mit Hilfe einer speziellen Software der Firma Courage + Khazaka electronic GmbH aufgezeichnet und gespeichert.



**Abbildung 23: Mexameter® der Firma Courage und Khazaka**

Die Durchführung der Messung erfolgt in gleicher Weise wie beim Corneometer® beschrieben. Es wird aus den drei Einzelmessungen für jede Stelle ein arithmetischer Mittelwert errechnet. Beim Mexameter werden die Anteile des Hämoglobin (Erythembildung) in der Haut ermittelt. Die Werte liegen zwischen null und 999.

### **2.3 Verwandte statistische Methoden**

Es wurden insgesamt 30 statistische Testungen durchgeführt. Das alpha-Niveau wurde zu Beginn der Arbeit bei 0,05 festgelegt. Für die Signifikanztestung der Ergebnisse der einzelnen Sondenmessungen zwischen kranker und gesunder Seite in der Untergruppe N. medianus und N. ulnaris wurde der Wilcoxon-Test durchgeführt.

Bei der Signifikanztestung zwischen der Sensibilitätsrückkehr (sZPD) und den verschiedenen Begleitverletzungen sowie bei der Signifikanztestung zwischen sZPD und verschiedenen Verletzungsarten, bzw. zwischen Verletzungsarten und Verletzungssituationen wurde eine Testung nach Spearman durchgeführt.

Bei allen anderen Testungen erfolgte die Signifikanzüberprüfung nach Pearson.

Nachträglich erfolgte aufgrund Multipler Vergleiche die Korrektur nach Bonferroni mit Hilfe folgender Formel:  $\alpha' = \alpha/n$ , wobei  $n =$  Anzahl der durchgeführten statistischen Tests, demnach also  $=30$ .

Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS 14.0® für Windows und den hier bereits hinterlegten Berechnungsprogrammen für die o.g. Testungen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Einbestelltes Patientengut

184 Patienten mit insgesamt 191 Nervenverletzungen wurden zur Nachuntersuchung einbestellt, davon konnten 90 Patienten mit 101 Nervenverletzungen nachuntersucht werden. Die Verteilung der betroffenen Nerven im nachuntersuchten Patientengut ist in Tab. 5 wiedergegeben. Die Nachuntersuchung fand nach der Operation bei allen 90 Patienten im Mittelwert nach 4,3 Jahren statt (Minimum 1,4/ Maximum 7,3 Jahre).

<b>N. digitalis proprius</b>	<b>56</b>
<b>N. digitalis communis</b>	<b>2</b>
<b>N. medianus</b>	<b>24</b>
<b>N. ulnaris</b>	<b>16</b>
<b>Plexus brachialis</b>	<b>3</b>

Tabelle 5: Verteilung der Nervenverletzungen im nachuntersuchten Patientengut.

#### 3.2 Patienten ohne Nachuntersuchung

94 Patienten standen keiner Nachuntersuchung zur Verfügung (Abb.24). Dies geschah aus folgenden Gründen: Bei 63 Patienten war es trotz intensiver Recherche bei Krankenkassen oder Hausarzt nicht möglich, den derzeitigen Aufenthaltsort, die derzeitige Adresse oder Telefonnummer zu ermitteln. 12 Patienten lehnten die Untersuchung aus persönlichen Gründen oder fehlendem Interesse ab. Bei sieben Patienten war eine Anreise aufgrund des zu weit entfernten Wohnortes nicht zumutbar oder wurde von ihnen abgelehnt. Sechs Patienten vereinbarten bis zu dreimal einen Termin, schriftlich als auch telefonisch und sind trotzdem nicht erschienen. Die Fahrtkosten konnten von unserem Institut nicht übernommen werden, so dass vier Patienten nicht bereit waren, diese selbst zu tragen. Ein Patient war mittlerweile verstorben. Bei einer Patientin war der betroffene Finger nach einem Jahr amputiert worden.

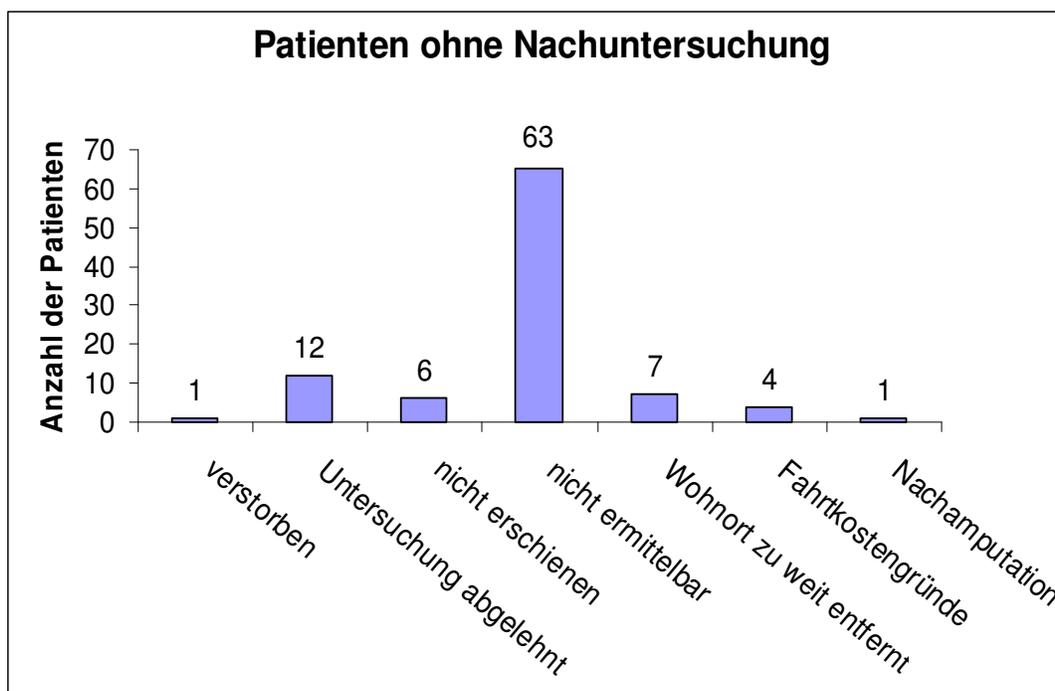


Abbildung 24: Gründe für Patienten ohne Nachuntersuchung.

### 3.3 Inspektion

Bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven konnten keine sichtbaren Muskelatrophien und Haaranomalien festgestellt werden. Das Alfödiezeichen (7 Patienten) und die Fingerspitzenatrophie (6 Patienten) kamen im Vergleich zu den anderen inspektorisch erhobenen Faktoren in der Gruppe mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven mit 12% und 10% am häufigsten vor (Tabelle 7).

Bei der Inspektion von Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis traten im Vergleich zu den anderen inspektorisch erhobenen Faktoren am häufigsten Hautfärbungsunterschiede 26% (11), Narbenkontraktionen 16% (7) und das Alfödiezeichen (16%; 7) auf. Bei einem Patienten konnte eine Haaranomalie beobachtet werden (Tab.6.).

	N.medianus	N.ulnaris	Plexus brachialis	Finger- und Hohlhandnerven
Narbenkontrakturen	2	5	0	2
Alfödiezeichen	4	0	3	7
Hautfärbungsunterschiede	7	2	2	3
Fingerspitzenatrophie	1	0	1	6
Verstrichene Papillarleisten	2	1	2	4
Hyperkeratosen	3	0	2	1
Haaranomalien	0	0	1	0
Muskelatrophien	5	5	3	0

**Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der untersuchten Kriterien bei der Inspektion aufgeteilt nach Nervengruppen.**

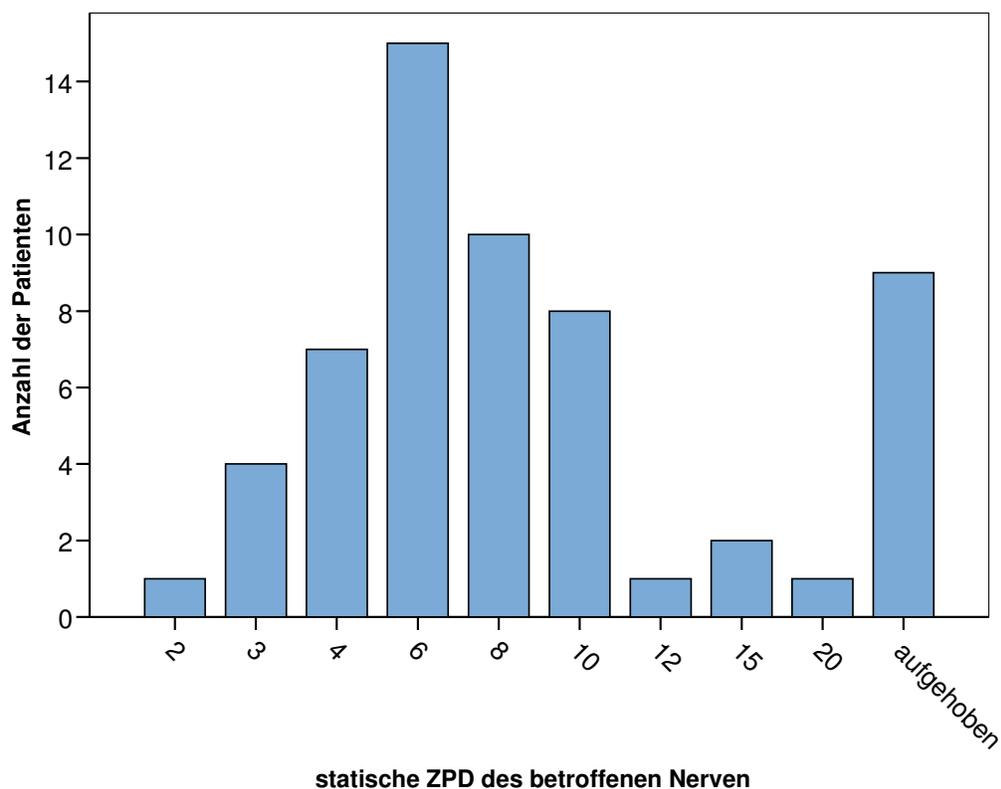
### 3.4 Palpation

Bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven konnte eine Temperaturdifferenz im Sinne einer kälteren betroffenen Seite bei zwei Patienten sowie eine herabgesetzte Durchblutung und eine verstärkte Schweißsekretion bei 7% der Patienten (4 von 58) festgestellt werden.

Bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis fielen bei 5 Patienten eine herabgesetzte oder schlechte Durchblutung sowie Temperaturdifferenzen im Sinne einer kälteren kranken Seite auf. Eine nach Aussage der Patienten veränderte Schweißsekretion lag bei 9 Patienten vor, darunter wurde bei 6 Patienten die Sekretion als verstärkt empfunden, bei zweien als verringert und bei einem Patienten als vollkommen aufgehoben.

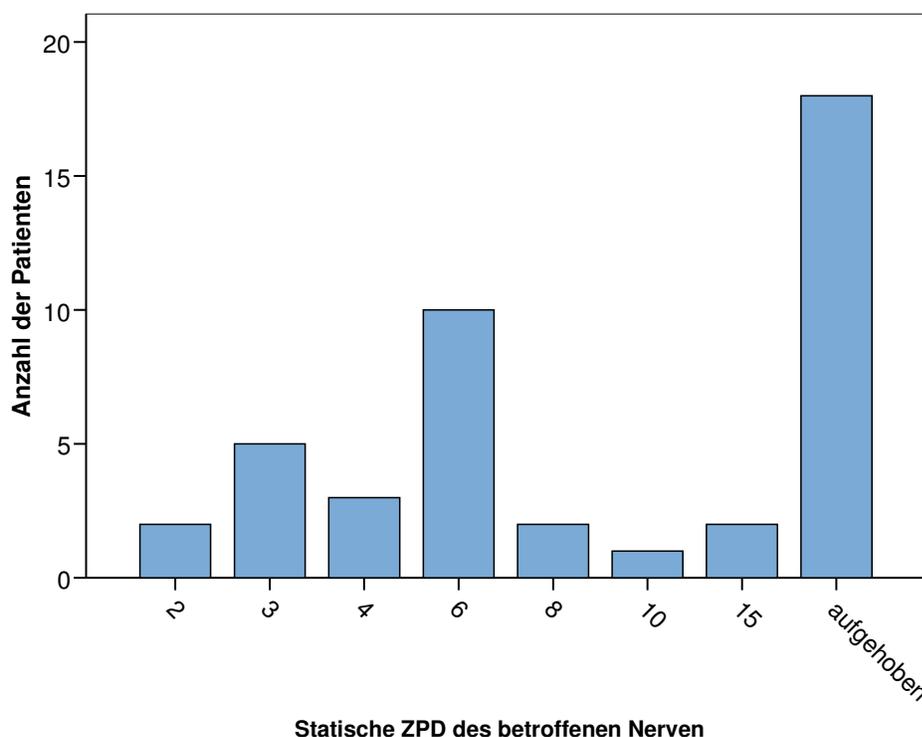
### 3.5 Statische Zwei-Punkte-Diskriminationsfähigkeit (sZPD)

Bei 77,6% der Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven konnten wir eine statische ZPD von 2 bis einschließlich 10 mm ermitteln. 5,1% wiesen eine sZPD zwischen 12 oder 15 mm auf. Bei 17,2% war die sZPD 20 mm oder völlig aufgehoben (Abb. 25).



**Abbildung 25: Sensibilitätsrückkehr, gemessen mittels statischer ZPD, nach Rekonstruktion der Nn. digitales communes et proprii.**

Bei 53,6% der Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis konnte eine sZPD von 2 bis einschließlich 10 mm ermittelt werden. Eine sZPD von 15 mm wurde von 4,7% der Patienten wiedererlangt. Eine aufgehobene Sensibilität lag bei 41,9% vor (Abb.26).



**Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der erreichten sZPD-Werte bei Patienten mit Verletzung des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis.**

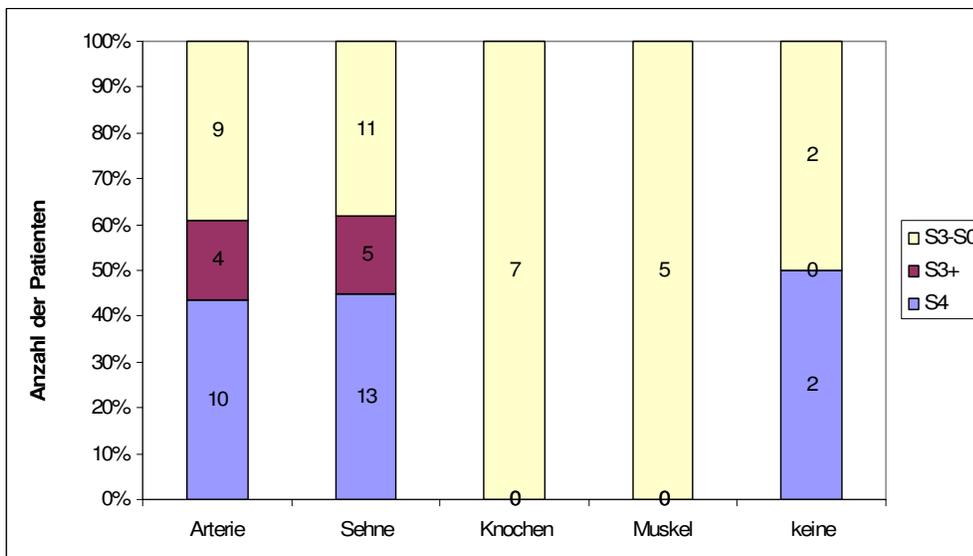
Im Vergleich der beiden Patientengruppen konnte eine nominell signifikant bessere Sensibilitätsrückkehr nach Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven festgestellt werden ( $p < 0,05$ ). Korrigiert nach Bonferroni konnte dies jedoch nicht mehr bestätigt werden ( $p' = 0,99$ ).

### 3.5.1 sZPD und Begleitverletzungen

Mögliche Begleitverletzungen waren die Verletzungen von Arterien, Sehnen, Knochen und Muskel.

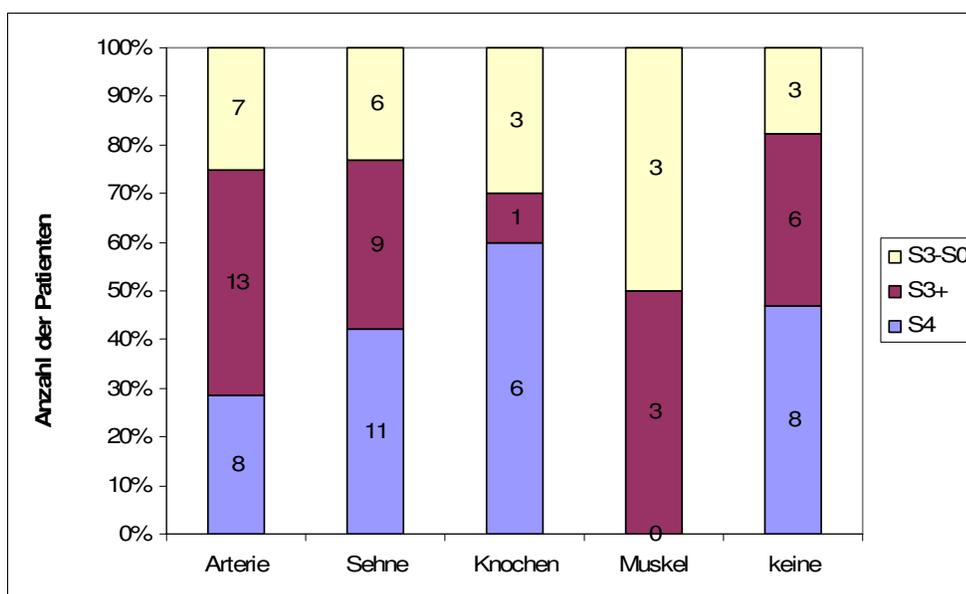
Bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis traten Begleitverletzungen bei 91% der Patienten auf. Das gleichzeitige Vorliegen lokaler Begleitverletzungen korrelierte nominell signifikant mit einer verschlechterten Sensibilität (sZPD) ( $p < 0,05$ ). Korrigiert nach Bonferroni konnte dies jedoch nicht mehr bestätigt werden ( $p' = 1,38$ ).

Die schlechtesten Sensibilitätsergebnisse wurden bei Begleitverletzungen von Muskeln und Knochen beobachtet (Abb. 27).



**Abbildung 27: Sensibilitätsergebnisse in Abhängigkeit von den Begleitverletzungen bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis.**

Bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorliegen von Begleitverletzungen und der Sensibilitätsrückkehr feststellen (Abb.28).

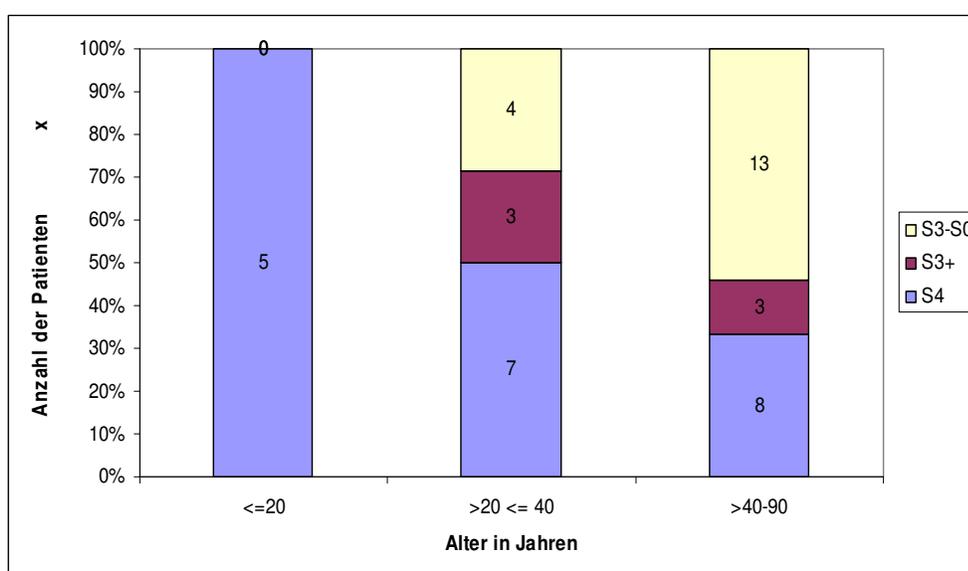


**Abbildung 28: Sensibilitätsergebnisse in Abhängigkeit von den Begleitverletzungen bei Patienten mit Verletzungen der Nn. digitales communes et proprii.**

### 3.5.2 sZPD und Alter

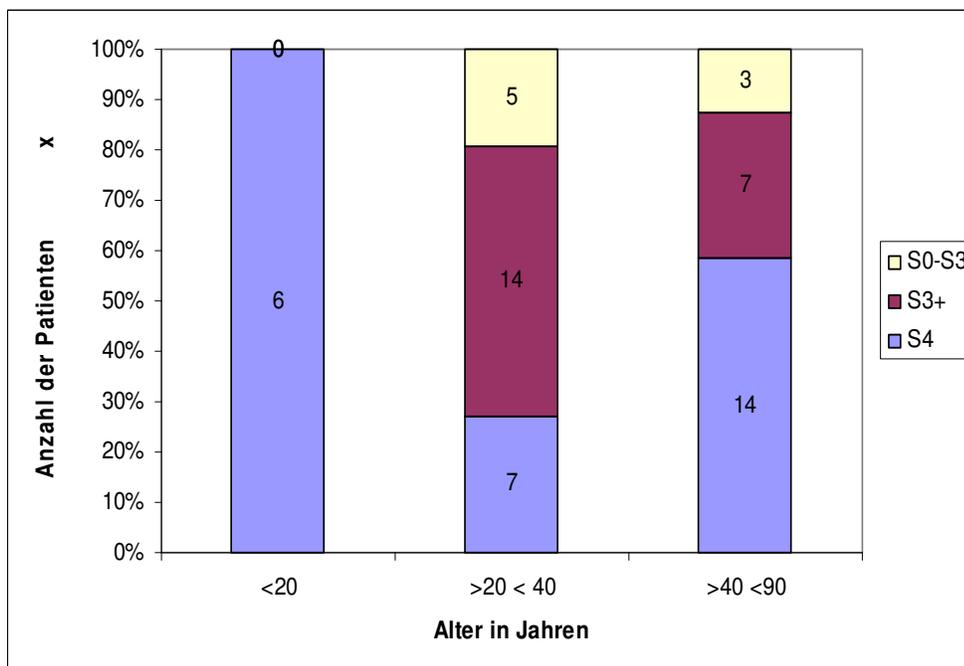
Insgesamt variiert das Alter bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis zwischen neun und 84 Jahren. Es besteht ein nominell signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und der erreichten Sensibilitätsrückkehr der Patienten. Korrigiert nach Bonferroni konnte dies jedoch nicht mehr bestätigt werden ( $p' = 0,48$ ).

Die jüngeren Patienten erreichten im Durchschnitt bessere Sensibilitätsergebnisse bei der sZPD als Ältere (Abb.29).



**Abbildung 29: Sensibilitätsergebnisse in Abhängigkeit vom Alter bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis**

Zwischen der sZPD und dem Alter der Patienten konnte bei den Verletzungen der Fingernerven kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden (Abb.30).



**Abbildung 30: Sensibilitätsergebnisse in Abhängigkeit vom Alter bei Patienten mit Verletzungen der Nn. digitales communes et proprii.**

### 3.5.3 sZPD und Versorgungsart

Bei 91% (51) der Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven erfolgte die Nervenkoaptation, bei 7% (vier Patienten) wurde ein Nerventransplantat zur Überbrückung des Defektes verwendet. Bei einem Patienten (1,8%) wurde ein Nervenröhrchen eingesetzt. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der sZPD und der Art der Versorgung besteht nicht.

Auch bei Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen der sZPD und der Versorgungsart der Nervenverletzung. Die einfache spannungsfreie Nervenkoaptation wurde bei 33 Patienten durchgeführt, ein Nerventransplantat bei 10 Patienten interponiert. Nervenröhrchen wurden bei keinem der untersuchten Patienten verwendet.

### 3.5.4 sZPD und Abstand von der Nervenkoaptation zur Fingerspitze

Der Abstand vom Ort der Nervenkoaptation zur jeweiligen Fingerspitze variierte bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis zwischen 12,3 und 81 cm. Je größer der gemessene Abstand, desto schlechter waren die erreichten Sensibilitätsergebnisse bei der sZPD (Abb.31). Die erreichte sZPD und der gemessenen Abstand korrelierten nominell signifikant ( $p < 0,05$ ). Korrigiert nach Bonferroni konnte dies jedoch nicht mehr bestätigt werden ( $p' = 0,3$ ).

Bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

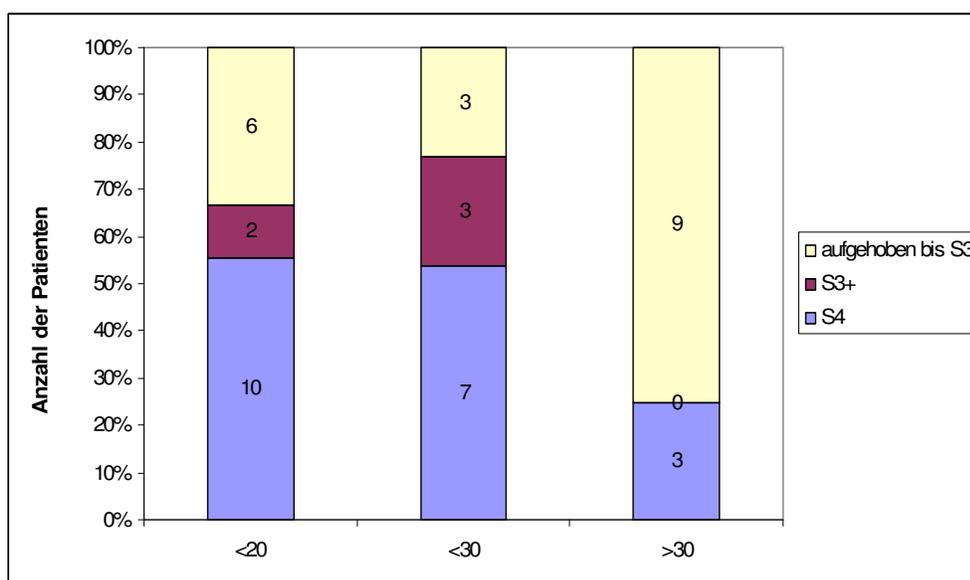


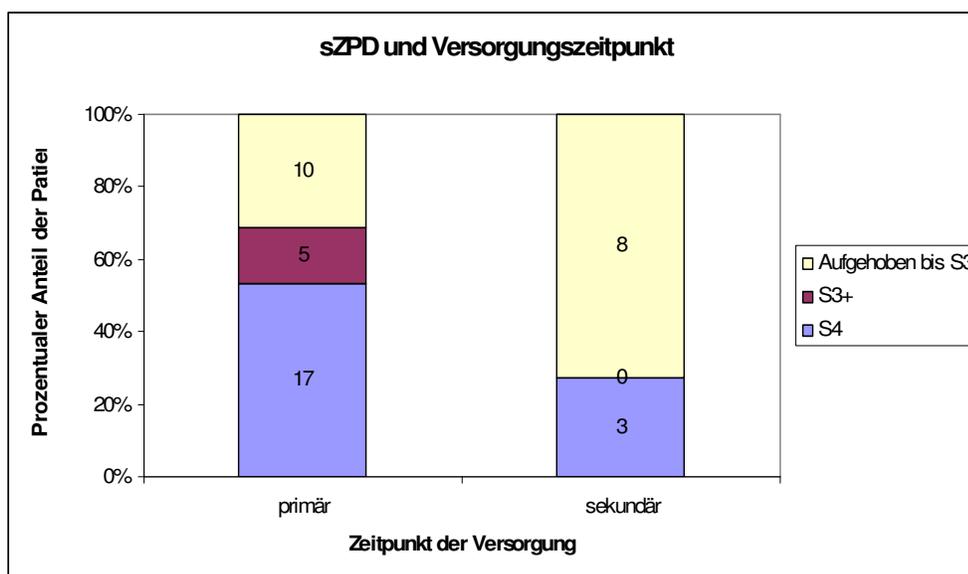
Abbildung 31: Sensibilitätsergebnisse in Abhängigkeit von der Verletzungshöhe bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis.

### 3.5.5 sZPD und Versorgungszeitpunkt

Beim Vergleich zwischen primärer und sekundärer Versorgung von Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis zeigten sich nominell signifikant ( $p < 0,05$ ) bessere Sensibilitätsergebnisse nach primärer Versorgung (Abb. 32). Korrigiert nach Bonferroni konnte dies jedoch nicht mehr bestätigt werden ( $p' = 1,02$ ).

Der Median für die Zeitspanne zwischen Unfallzeitpunkt und operativer sekundärer Versorgung lag bei 104 Tagen (Minimum 17 Tage/ Maximum 57,3 Jahre).

Bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven wurde eine sekundäre Versorgung nur bei zwei Patienten durchgeführt und betrug jeweils 31 und 32 Tage. Ein Vergleich konnte deshalb hier nicht angestellt werden.



**Abbildung 32: Sensibilitätsergebnisse in Abhängigkeit vom Versorgungszeitpunkt bei Patienten mit Verletzungen von N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis.**

### 3.5.6 sZPD und Vorbehandlungen

Bei 10 Patienten erfolgte eine Behandlung, in Form von Inspektion und Verbandsanlage, in anderen Krankenhäusern bevor die Operation in unserer Klinik erfolgte. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Patienten mit Vorbehandlungen und der sZPD konnte nicht ermittelt werden.

### 3.5.7 sZPD und Schmerzempfinden

Bei dem Hauptanteil (73%) der Patienten konnte ein normales Schmerzempfinden festgestellt werden. 12 Patienten litten unter einer vermehrten Schmerzhaftigkeit im Sinne einer Allodynie. Bei 7 dieser Patienten war die

Sensibilität vollkommen aufgehoben, bei einem Patienten betrug die sZPD 20 und vier Patienten erreichten eine sZPD zwischen 3 und 8.

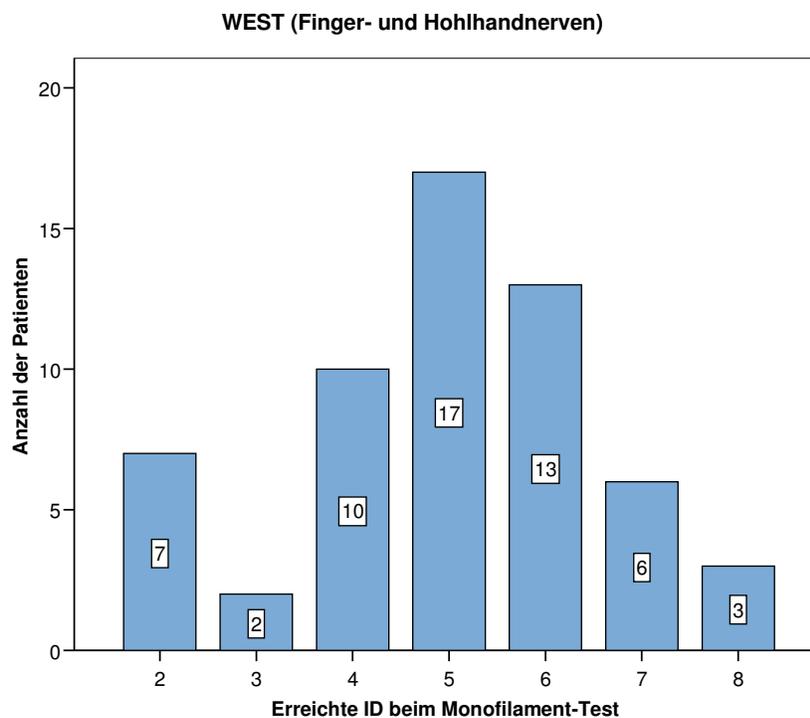
### **3.5.8 sZPD und Verschmutzungsgrad**

Zwischen der sZPD und dem Verschmutzungsgrad der Wunde konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

### **3.6 WEST (Weinstein-Enhanced-Sensory-Test)**

Beim WEST sind Ergebnisse von ID 0 bis ID11 möglich. Je höher die ID, desto geringer ist die Sensibilität der Haut.

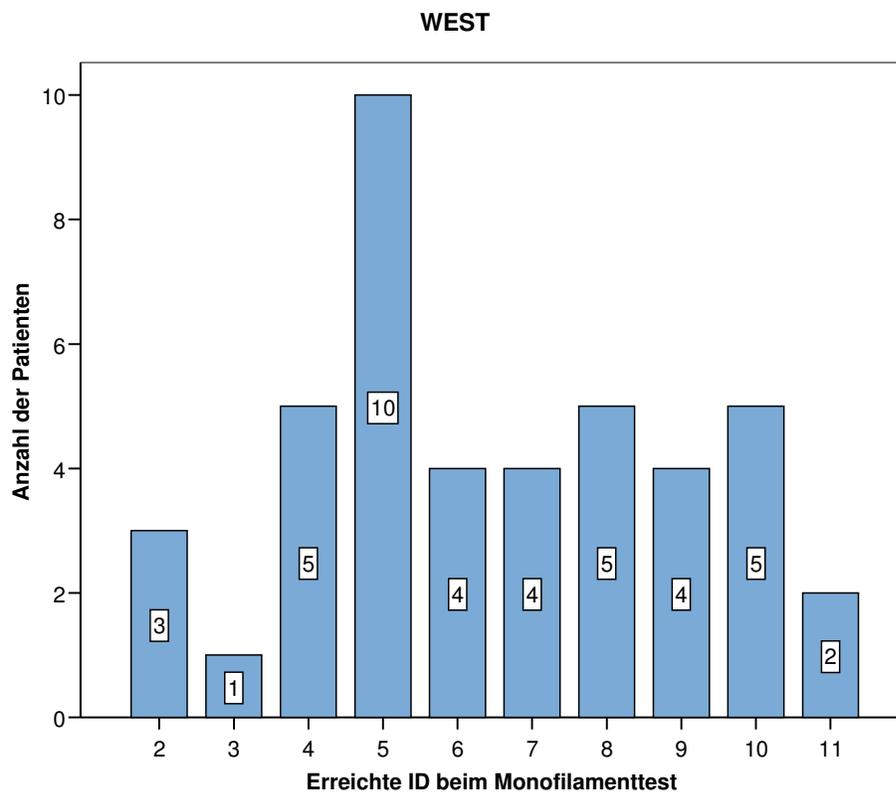
Insgesamt konnte bei 32% der Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven eine normale Sensibilität festgestellt werden. Bei weiteren 32% lag eine reduzierte Sensibilität vor, die für andere Körperstellen als der Hand jedoch als normal bewertet würde. Die höchste gemessene ID betrug 8. Dies ist nach der ID-Skala gleichbedeutend mit einer reduzierten Schutzsensibilität für die Haut der Hand und trat bei 3 Patienten (5%) auf. Die Ergebnisse des WEST in absoluten Werten sind in Abb. 33 zusammengefasst.



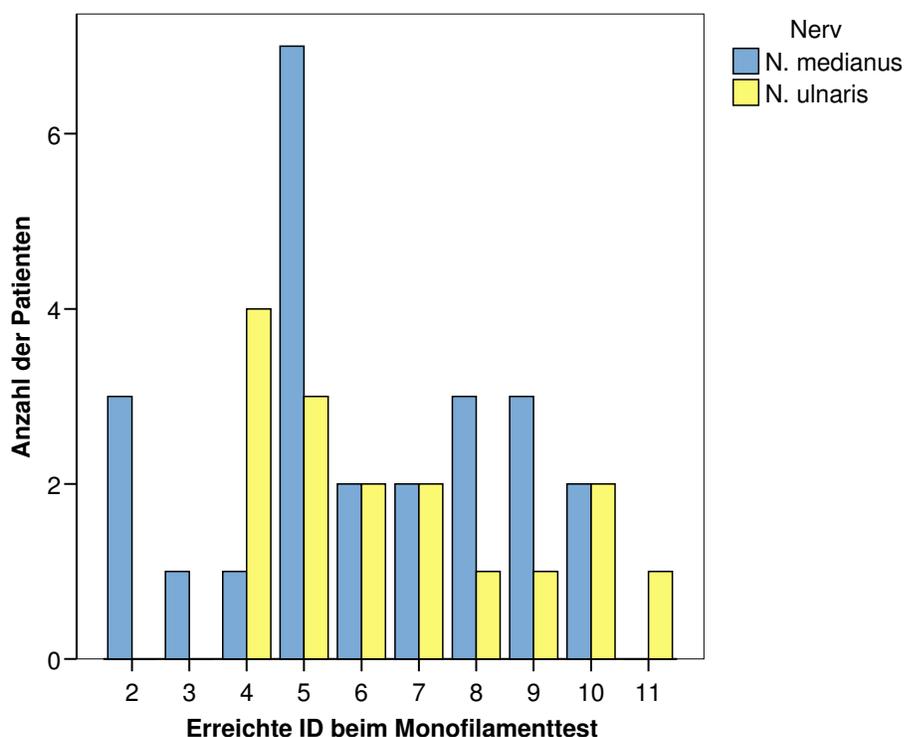
**Abbildung 33: Durchschnittlich erreichte ID beim Monofilamenttest bei Patienten mit Verletzungen der Nn. digitales communes et proprii.**

Insgesamt konnte bei 21% der Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis eine normale Sensibilität festgestellt werden. Bei weiteren 23% lag eine reduzierte Sensibilität vor, die für andere Körperstellen als der Hand jedoch als normal bewertet würde. Eine reduzierte Schutzsensibilität für die Hand konnte bei 32% festgestellt werden. Die höchste gemessene ID betrug 11, dies entspricht einem völligen Verlust der Schutzsensibilität der Haut und trat bei zwei (5%) Patienten auf (Abb. 34.).

Vergleicht man die erreichte ID von Patienten mit Verletzungen des N. ulnaris und von Patienten mit Verletzungen des N. medianus, so erzielen Patienten mit Medianusverletzungen tendenziell bessere Ergebnisse beim WEST (Abb. 35), jedoch liegen die beobachteten Ergebnisse unter dem Signifikanzniveau.



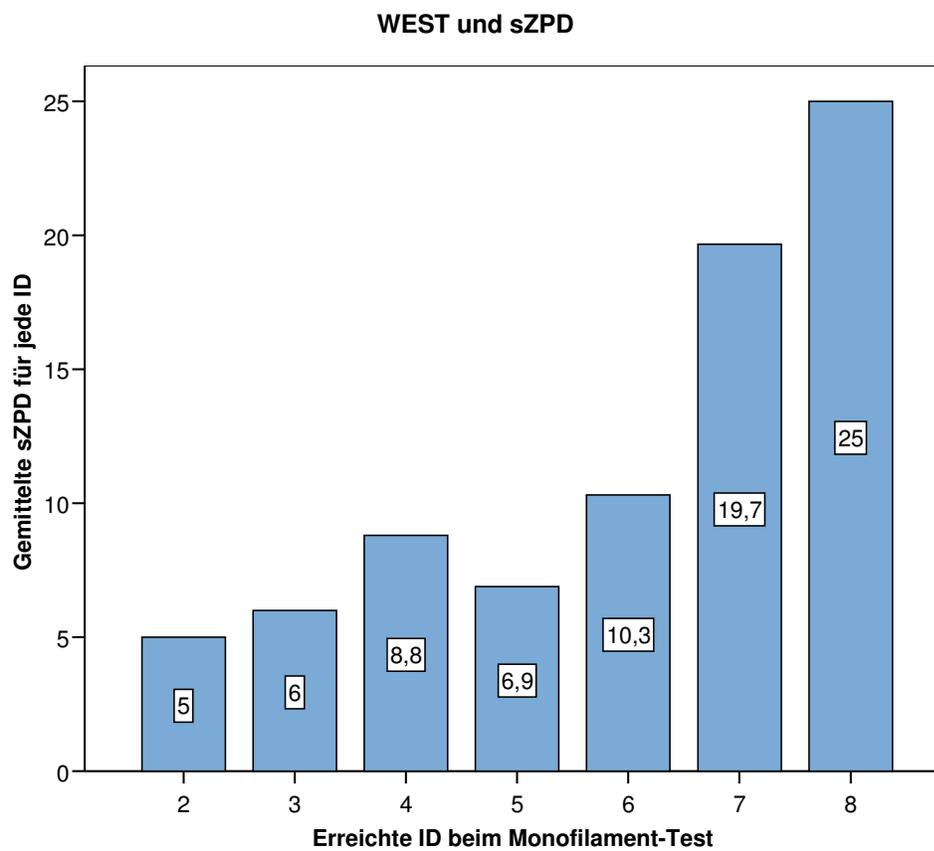
**Abbildung 34: Verteilung der Ergebnisse beim WEST bei Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis.**



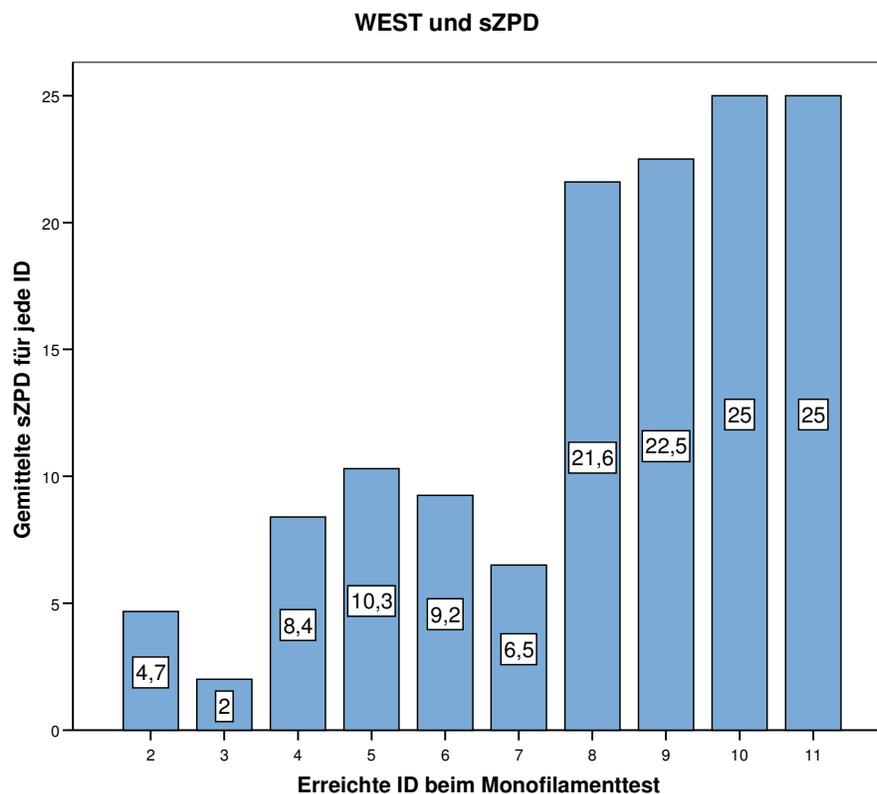
**Abbildung 35: Vergleich der Ergebnisverteilung beim WEST bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus und bei Patienten mit Verletzungen des N. ulnaris.**

### 3.6.1 WEST und sZPD

Die Ergebnisse der Sensibilitätsbestimmung mittels WEST-Monofilamenttest zeigten bei beiden Patientenuntergruppen eine hohe Übereinstimmung mit der Erhebung der statischen 2-Punkte-Diskriminationsfähigkeit (Abb.36-37). Hohe Werte im Monofilamenttest korrelierten auch nach Bonferroni-Korrektur hierbei mit hohen Werten der sZPD ( $p' < 0,03$ ).



**Abbildung 36: Zusammenhang zwischen der erreichten ID im Monofilamenttest und der erreichten sZPD bei Patienten mit Verletzungen der Nn. digitales communes et proprii (n=58).**



**Abbildung 37: Zusammenhang zwischen der erreichten ID im Monofilamenttest und der erreichten sZPD bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis (n=43).**

### 3.7 Ergebnisse der Motorik bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis

#### 3.7.1 Aktive Beweglichkeit

Die aktive Beweglichkeit wurde durch verschiedene Bewegungsmuster untersucht. Als erstes wurde die vom Patienten aktiv aufzubringende Handspanne zwischen dem Daumen und dem Kleinfinger in Zentimeter gemessen. Des Weiteren wurde die maximale Opposition des Daumens zur Grundgliedbasis des Kleinfingers bestimmt. Gemessen wurde der minimale Abstand zwischen Daumenkuppe und Grundgliedbasis des Kleinfingers. Gelang keine komplette Opposition, wurde zudem die letzte vom Patienten mit dem Daumen aktiv erreichbare Fingerkuppe ermittelt. Der größte Unter-

schied zwischen gesunder und kranker Seite lässt sich bei Patienten mit Verletzungen des Plexus brachialis erkennen (Tab. 7-9).

<b>N.medianus</b>	Gesunde Seite	Kranke Seite
Handspanne	20,4 cm	18,7 cm
Abstand D1 und Grundgliedbasis des Kleinfingers	0,1 cm	0,9 cm
Letzte mit D1 erreichbare Fingerkuppe/Fingerglied	Endglied des Kleinfingers	Endglied des Kleinfingers

**Tabelle 7: Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aller Patienten mit Verletzungen des N. medianus (n=24).**

<b>N.ulnaris</b>	Gesunde Seite	Kranke Seite
Handspanne	21,1 cm	19,1 cm
Abstand D1 und Grundgliedbasis des Kleinfingers	0 cm	1,3 cm
Letzte mit D1 erreichbare Fingerkuppe/Fingerglied	Endglied des Kleinfingers	Endglied des Kleinfingers

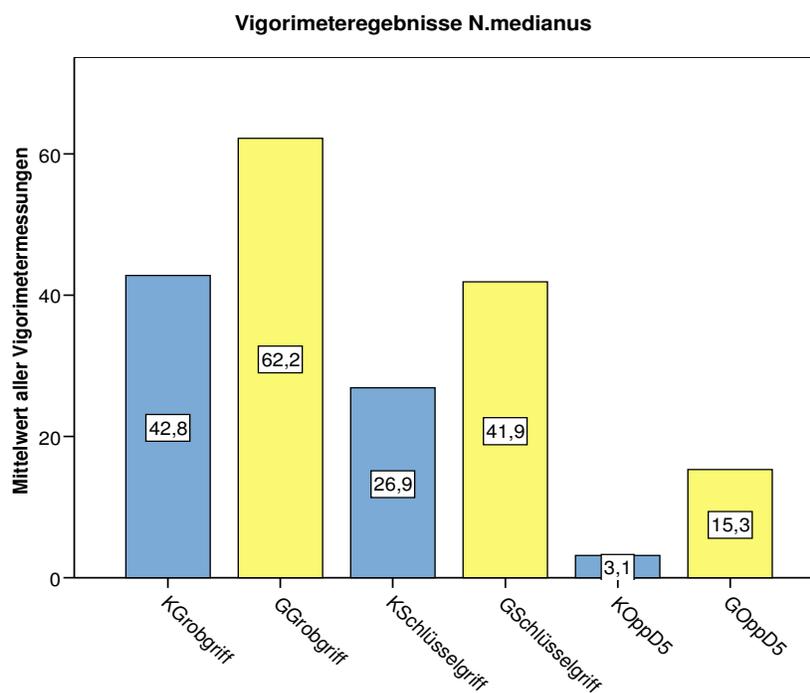
**Tabelle 8: Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aller Patienten mit Verletzungen des N.ulnaris (n=16).**

<b>Plexus brachialis</b>	Gesunde Seite	Kranke Seite
Handspanne	22,0 cm	7,2 cm
Abstand D1 und Grundgliedbasis des Kleinfingers	0 cm	5 cm
Letzte mit D1 erreichbare Fingerkuppe/Fingerglied	Endglied des Kleinfingers	Mittelfingerkuppe

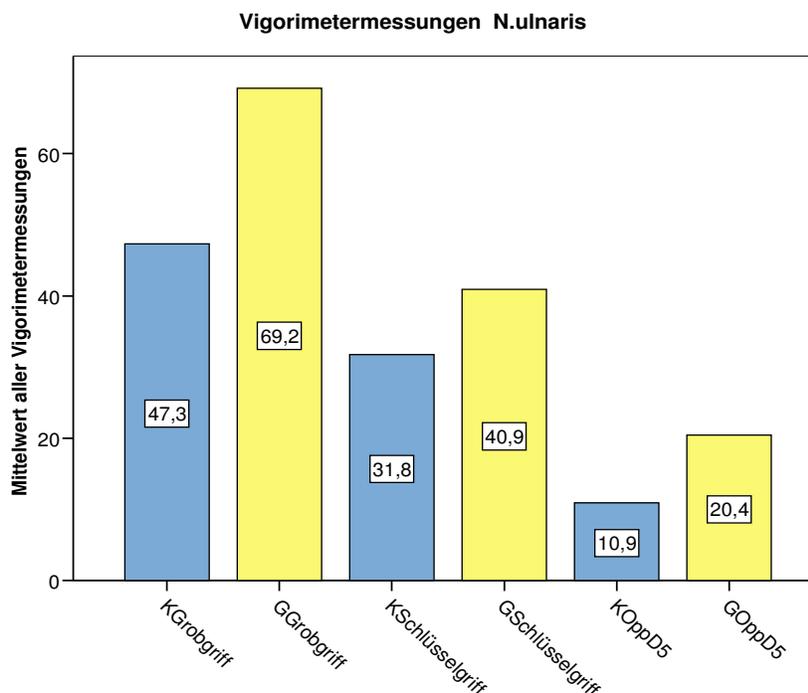
**Tabelle 9: Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aller Patienten mit Verletzungen des Plexus brachialis (n=3).**

### 3.7.2 Kraftmessung mit dem Vigorimeter

Die Kraft wurde mit dem Vigorimeter in den Positionen Grobgriff, Schlüsselgriff und Opposition des Daumens zum Kleinfinger. Die schlechtesten Ergebnisse der Patienten mit Verletzungen des N. medianus wurden auf der kranken Seite beim Grobgriff festgestellt (Abb. 38). Bei Verletzungen des N. ulnaris wurden die schlechtesten Ergebnisse beim Grobgriff und bei der Opposition festgestellt (Abb. 39).



**Abbildung 38: Blaue Balken: Messungen an kranker Seite; Gelbe Balken: Messungen an gesunder Seite; OppD5:Opposition Daumen/Kleinfinger**



**Abbildung 39: Blaue Balken: Messungen an kranker Seite; Gelbe Balken: Messungen an gesunder Seite; OppD5: Opposition Daumen/Kleinfinger**

### 3.8 Ergebnisse des DASH

Beim DASH sind erreichbare Werte zwischen 0 und 100 möglich. Je näher der Wert an 0 liegt, desto geringer sind die Beeinträchtigungen des Patienten im Alltag. Der Median der erreichten Punktzahl im DASH-Fragebogen lag für Patienten mit Verletzungen des N. medianus bei 32,75 Punkten (24-100). In beiden Zusatzmodulen Sport / Musik (0-100) und Arbeit/Beruf (0-81) lag der erreichte Median bei 18,75 Punkten.

Patienten mit Verletzungen des N. ulnaris erreichten im Median 42 Punkte (24-89). Das Zusatzmodul Sport/Musik wurde in dieser Gruppe so selten beantwortet, dass eine Auswertung nicht möglich war. Der Median des Zusatzmodul Arbeit/Beruf betrug 18,75.

Bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven lag der Median bei 25,8 (24-98) Punkten. In den Zusatzmodulen Sport/Musik (0-88) sowie Arbeit/Beruf (0-69) lag der Median in beiden Fällen bei 18,8 Punkten.

### 3.8.1 DASH und sZPD

Es konnte bei Betrachtung der Gesamtheit aller nachuntersuchten Patienten und nach Bonferroni-Korrektur ein signifikanter Zusammenhang ( $p'=0,03$ ) zwischen den erreichten Ergebnissen der sZPD und der erreichten Punktzahl im DASH festgestellt werden (Abb.40). Je niedriger die DASH-Punktzahlen und somit auch besser die Fähigkeiten im Alltag, desto besser waren auch die Sensibilitätsergebnisse der Patienten. Bei einer Punktzahl  $\leq 30$  Punkten war der Anteil von Patienten im gesamten nachuntersuchten Patientengut mit einem S4 Ergebnis doppelt so hoch wie bei einer Punktzahl zwischen 30 und 50.

Nach Bonferroni-Korrektur für eine separate Beurteilung der Werte von Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven und der Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis (Abb.41 und 42) konnte kein signifikanter Zusammenhang ermittelt werden ( $p'>0,05$ ).

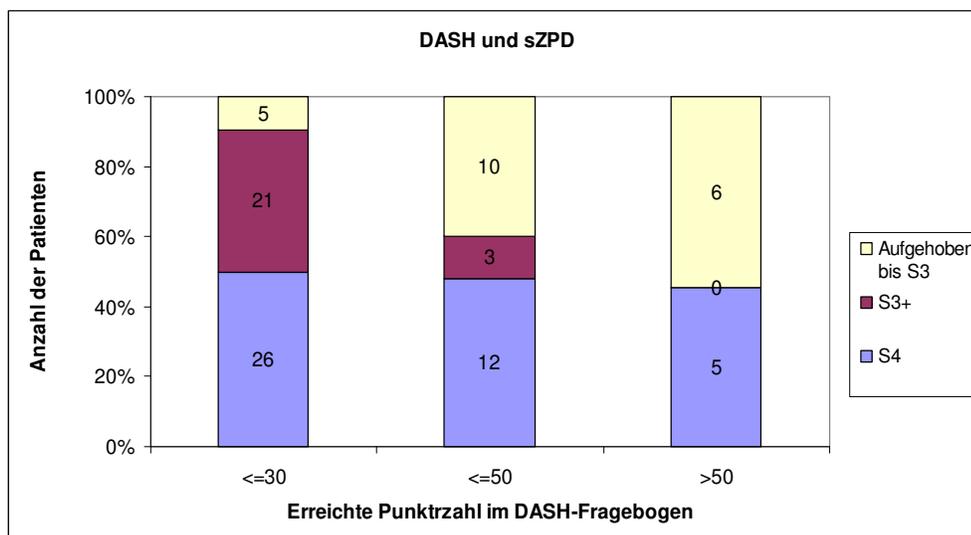
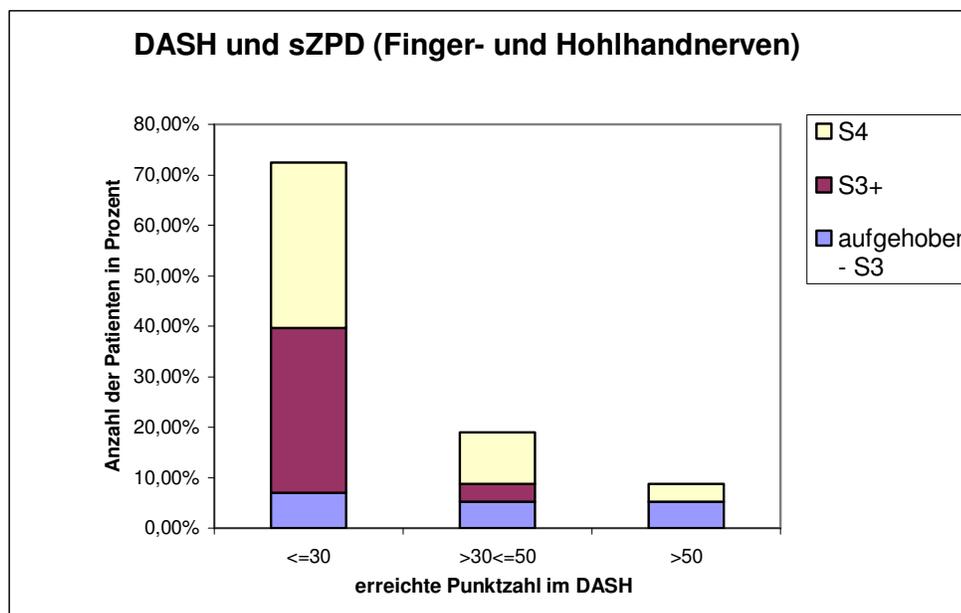
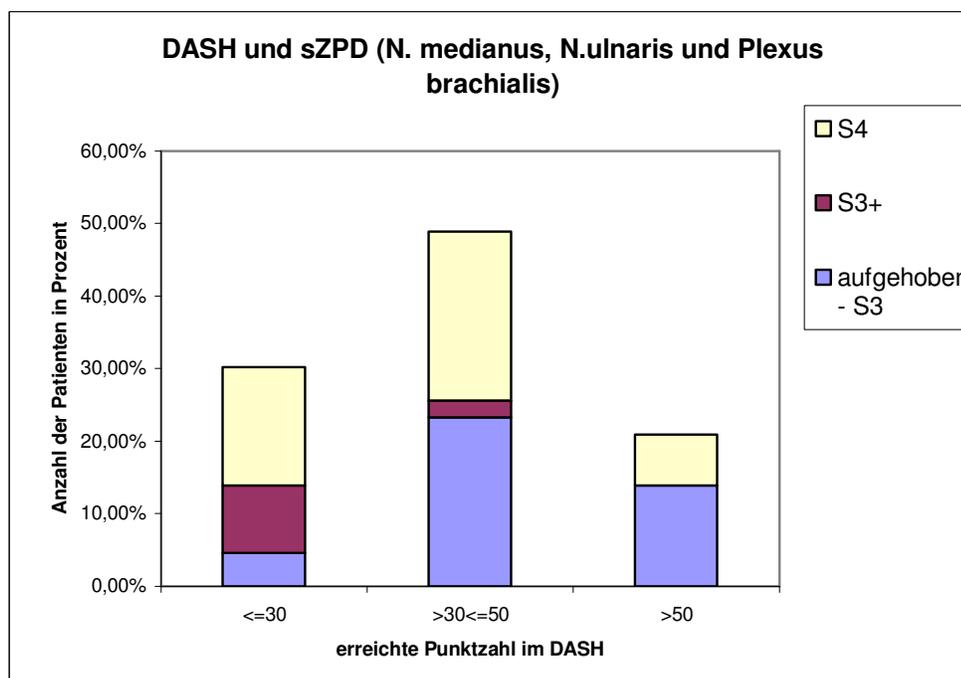


Abbildung 40: Verteilung der erreichten Punktzahlen im DASH-Fragebogen in Abhängigkeit von der erreichten sZPD im nachuntersuchten Patientengut.



**Abbildung 41:** Verteilung der erreichten Punktzahlen im DASH-Fragbogen in Abhängigkeit von der erreichten sZPD bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven.



**Abbildung 42:** Verteilung der erreichten Punktzahlen im DASH-Fragbogen in Abhängigkeit von der erreichten sZPD bei Patienten mit Verletzungen von N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis.

### 3.8.2 DASH und Patientenzufriedenheit

Ein weiterer hoch signifikanter Zusammenhang besteht zwischen der Patientenzufriedenheit und der erreichten Punktzahl im DASH-Fragebogen (Korrektur nach Bonferroni  $p' = 0,03$ ). Patienten mit schlechteren Ergebnissen und somit höheren Punktzahlen im DASH-Fragebogen waren weniger zufrieden mit dem Verlauf der Nervenregeneration seit der Operation (Abb.43).

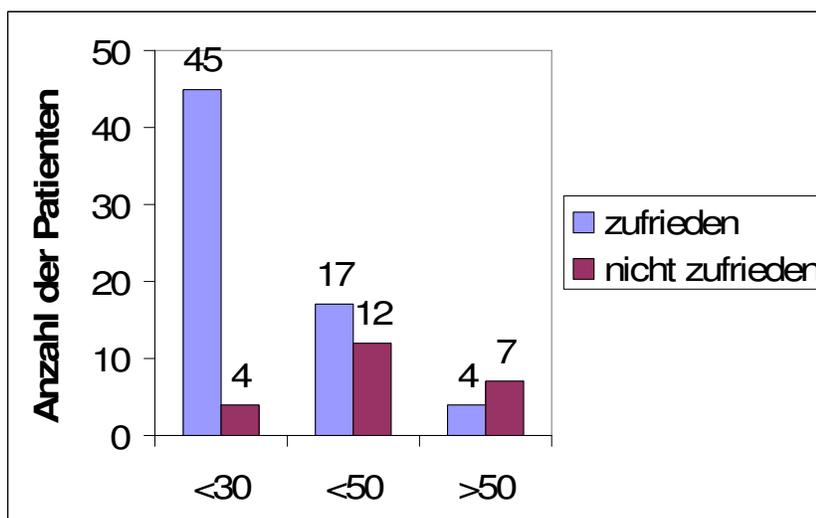
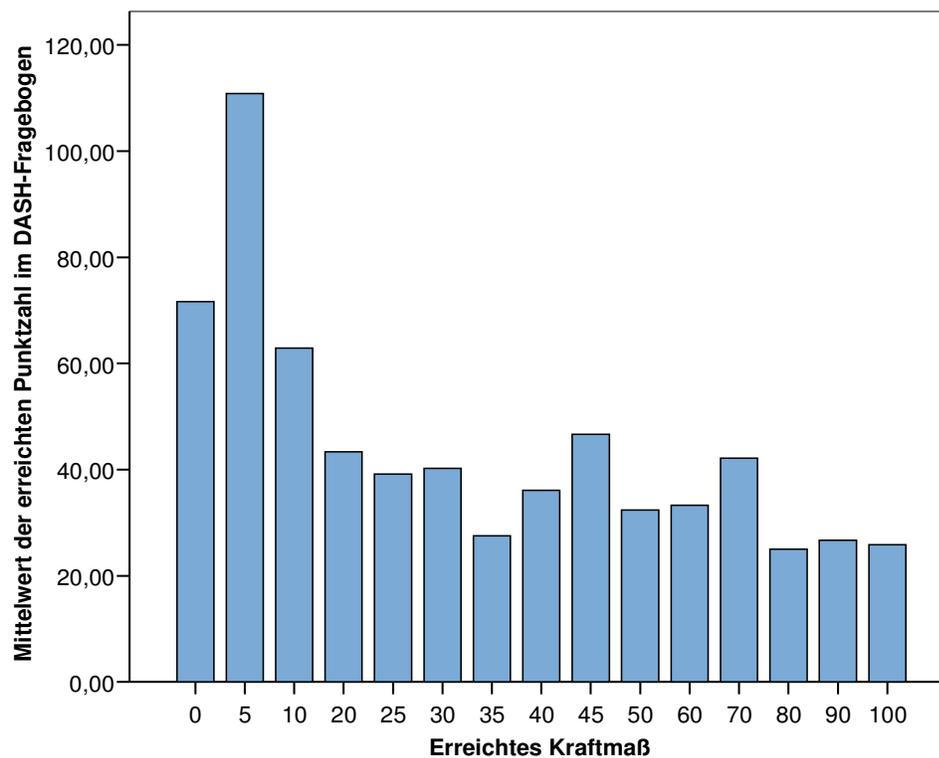


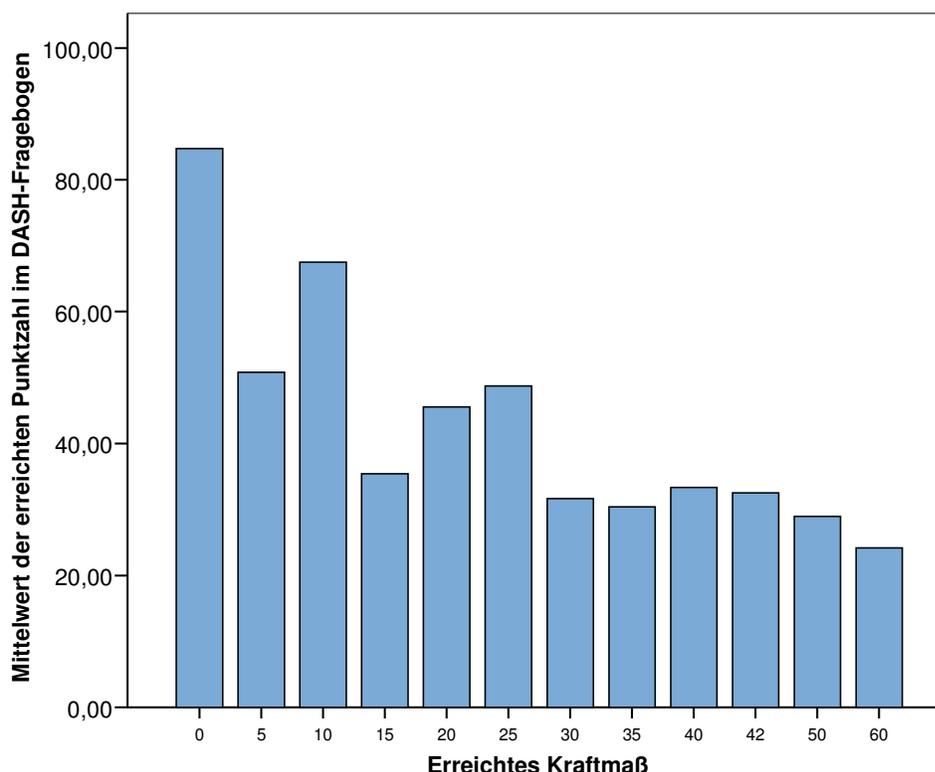
Abbildung 43: Erreichte Punktzahl im DASH-Fragebogen in Abhängigkeit von der Patientenzufriedenheit.

### 3.8.3 DASH und Kraftmessung mit dem Vigorimeter

Es bestand bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen der erreichten Punktzahl im DASH und der Kraftmessung mit dem Vigorimeter auf der kranken Seite (Korrektur nach Bonferroni  $p' = 0,03$  in beiden Gruppen). Je höher die aufzubringende Kraft des Patienten ausfiel, desto niedriger und somit besser war auch der durchschnittlich erreichte DASH-Wert im Grob- und Schlüsselgriff (Abb. 44 und 45).



**Abbildung 44: Mittlere erreichte DASH-Werte bei der Kraftmessung mit dem Vigorimeter im Grobgriff bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis**



**Abbildung 45: Durchschnittlich erreichter DASH-Wert bei der Kraftmessung mit dem Vigorimeter beim Schlüsselgriff bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis**

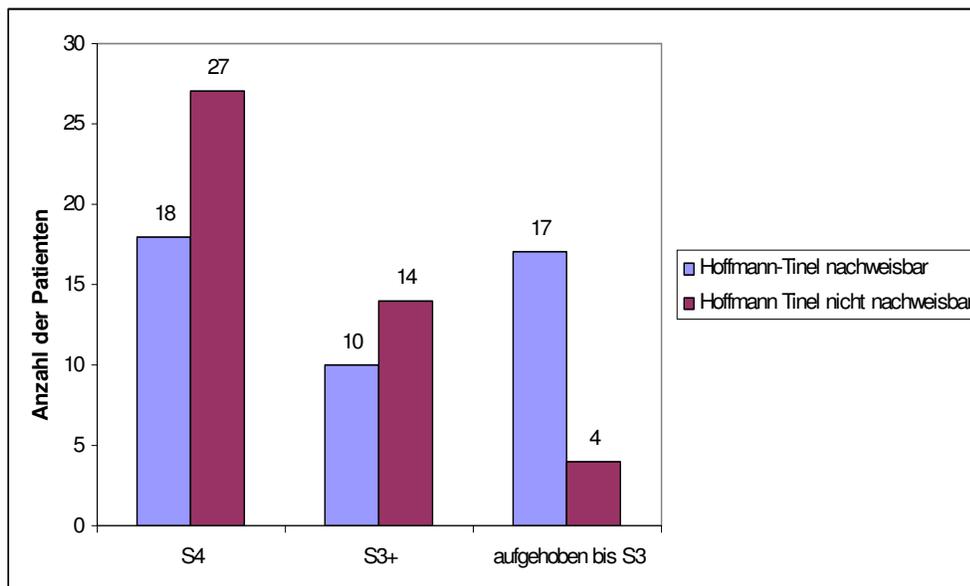
### 3.9 Hoffmann-Tinel-Zeichen

Das Hoffmann-Tinel-Zeichen war bei 25% der Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven an der Stelle der Nervenkoaptation auslösbar. Bei sieben der Patienten konnte das Zeichen 1 – 3 cm distal der Läsion ausgelöst werden.

Bei 38 der 43 Patienten (88%) mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis lag das Hoffmann-Tinel-Zeichen vor. Die Auslösbarkeit des Zeichens distal der Läsion variierte zwischen 0,5 und 63 cm. Der Median lag bei einem Zentimeter.

Ein signifikanter Zusammenhang nach Bonferroni-Korrektur zwischen dem Vorhandensein des Zeichens und der erreichten Sensibilitätsrückkehr konn-

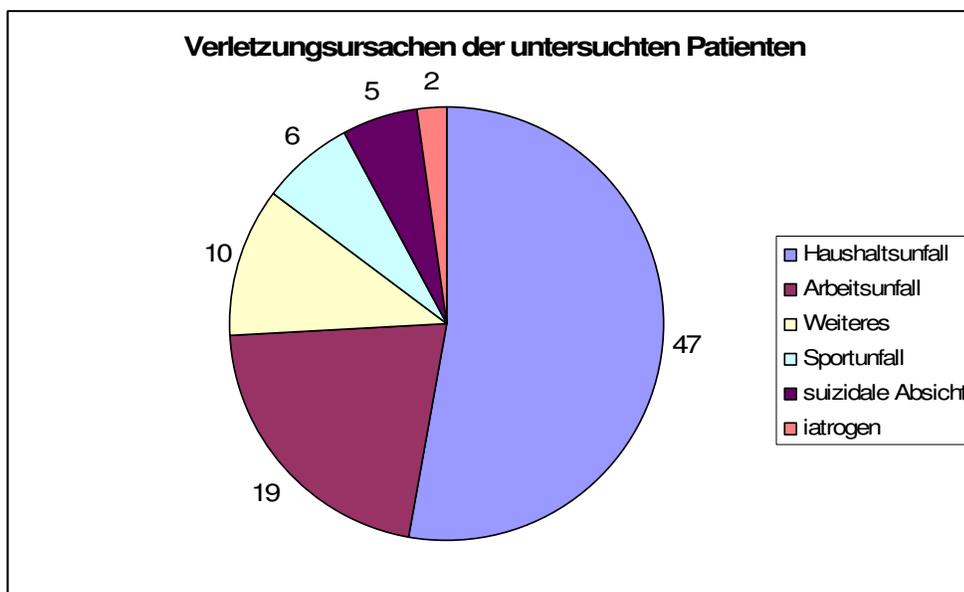
te im gesamten nachuntersuchten Patientengut (Abb.46), als auch in den in den Patientenuntergruppen nicht festgestellt werden.



**Abbildung 46: Nachweisbarkeit des Hoffman-Tinel-Zeichens und Verteilung der sZPD-Ergebnisse im gesamten nachuntersuchten Patientengut.**

### 3.10 Verletzungssituation im untersuchten Patientengut

Die häufigste Verletzungssituation im gesamten nachuntersuchten Patientengut war der Unfall im Haushalt (52%; 47 Patienten). 5 Patienten (6%) brachten sich Verletzungen in suizidaler Absicht bei. Arbeitsunfälle ereigneten sich bei 21% (19 Patienten). Sportunfälle waren bei 6 Patienten (7%) die Verletzungsursache und zwei Patienten (2%) erlitten ihre Verletzung im Rahmen einer Operation. Verletzungsursachen, die nicht in diese Kategorien hineinfielen, wurden mit der Kategorie „weitere“ bezeichnet (Abb.47). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen den erreichten Werten der sZPD und den Verletzungsursachen konnte nicht festgestellt werden.



**Abbildung 47: Häufigkeitsverteilung von Verletzungsursachen.**

### 3.11 Verletzungsart im untersuchten Patientengut

Die häufigste Verletzungsart im gesamten nachuntersuchten Patientengut war die Schnittverletzung mit 76% (68 Patienten). Weitere Verletzungsarten waren die Säge- und Rissverletzungen mit 17% (15 Patienten), die Quetschungen mit 4% (4 Patienten) und Verletzungen anderer Art (3 %; 3 Patienten), die nicht in die oben genannten Kategorien fielen (Abb.48). Es zeigte sich ein Trend zu besseren regenerativen Ergebnissen nach Schnittverletzungen gegenüber Rissverletzungen, ein signifikanter Zusammenhang zwischen den erreichten Werten der sZPD und den Verletzungsarten konnte nicht festgestellt werden (Abb.49).

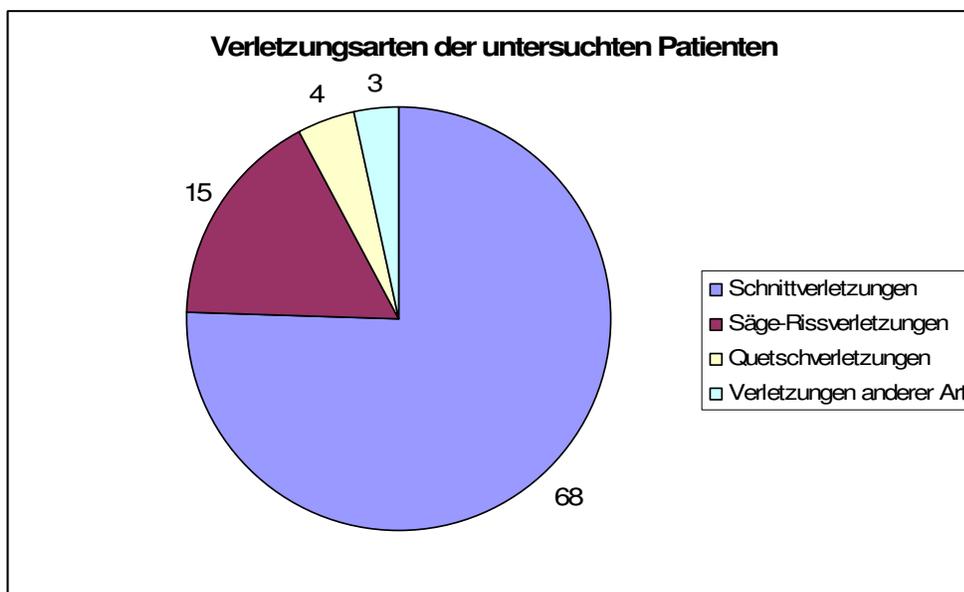


Abbildung 48: Häufigkeitsverteilung von Verletzungsarten.

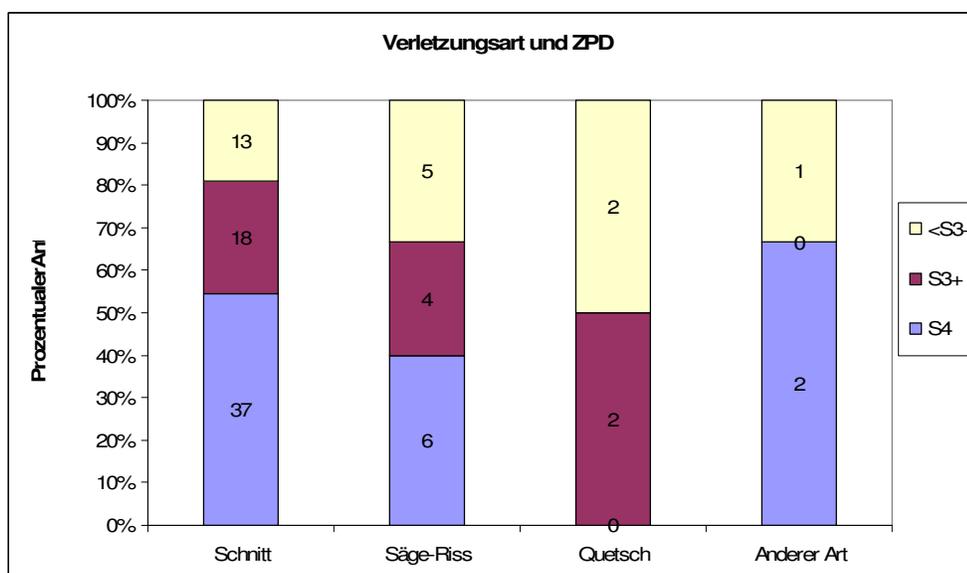


Abbildung 49: Sensibilitätsrückkehr gemessen mittels sZPD in Abhängigkeit von der Verletzungsart.

### 3.12 Beziehung zwischen Verletzungsart und Verletzungssituation

In der Abbildung 50 kann man erkennen, dass die häufigste Verletzungsart bei allen nachuntersuchten Patienten die Schnittverletzung war und vor allem im Haushalt passierte. Die Säge- und Rissverletzungen sowie die

Quetschverletzungen teilen sich fast gleich auf den Haushalts- und den Arbeitsunfall auf.

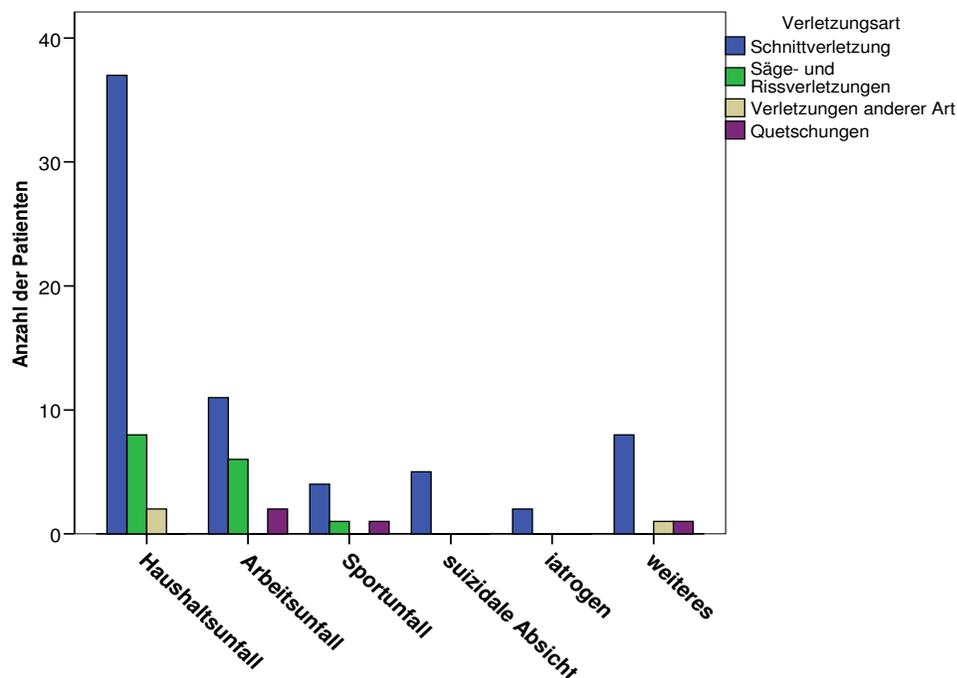


Abbildung 50: Häufigkeitsverteilung der Verletzungsart in Abhängigkeit von der Verletzungssituation.

### 3.13 Versorgungsart

In 87% aller nachuntersuchten Fälle nach Nervenverletzung ließ sich eine direkte Nervenkoaptation durchführen, sowie in 12% der Fälle der Nervendefekt mittels Transplantat überbrücken und bei einem Patienten wurde ein Nervenröhrchen verwendet. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Versorgungsart und der erreichten sZPD besteht nicht.

### 3.14 Wechsel der Gebrauchshand

Bei 83% der nachuntersuchten Patienten fand kein Wechsel der Gebrauchshand statt (75 Patienten). Bei den restlichen Patienten lag die minimale Zeitspanne für den Wechsel bei einem Tag und die maximale Zeitspanne bei sechs Jahren und elf Tagen. Der Median für den Wechsel

der Gebrauchshand liegt bei 0 Tagen. Ein dauerhafter Wechsel der Gebrauchshand kam nicht vor.

### 3.15 Sozialer Status

Bei Patienten mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven gaben 21 Patienten an nicht arbeitsunfähig gewesen zu sein. Bei diesen Patienten handelte es sich zum Unfallzeitpunkt um Rentner, Schüler, bzw. Studenten oder Selbstständig tätige. Bei den restlichen 33 Patienten lag der Median für Arbeitsunfähigkeit bei 33 Tagen bei einem Minimum von 7 und einem Maximum von 150 Tagen. Bei vier Patienten lag schon zum Zeitpunkt des Unfalles Arbeitslosigkeit vor, diese wurden nicht mit in die Berechnungen eingeschlossen.

14 Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis gaben an nicht arbeitsunfähig gewesen zu sein. Bei diesen handelte es sich ebenfalls um Rentner, Schüler, bzw. Studenten, Hausfrauen und Selbstständig tätige. Bei fünf Patienten lag zum Unfallszeitpunkt Arbeitslosigkeit vor, diese wurden nicht mit in die Berechnungen einbezogen. Der Median für die Arbeitsunfähigkeit bei den restlichen 24 Patienten mit Verletzungen von N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis lag bei 90 Tagen (28-1050).

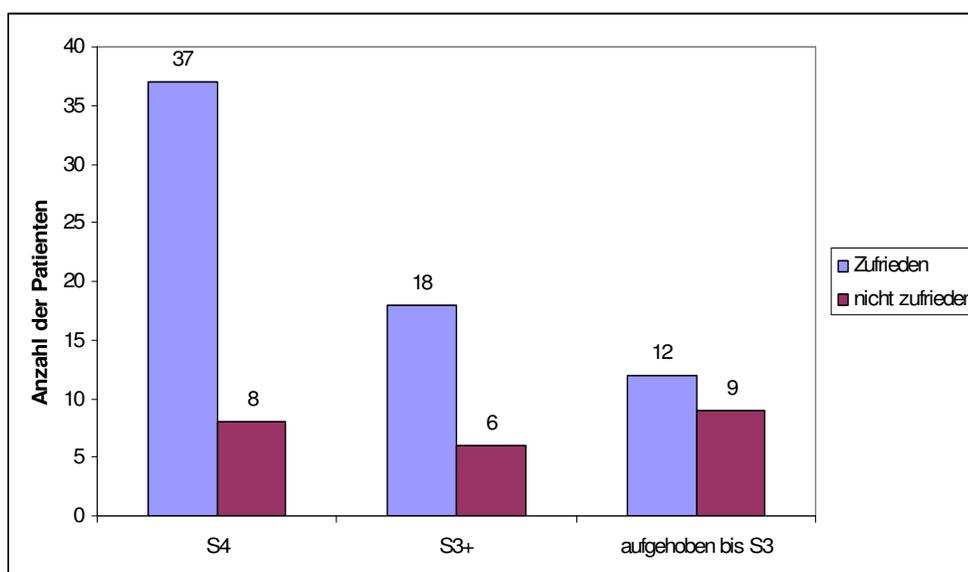
62 Patienten im gesamten nachuntersuchten Patientengut (69%) beschrieben, dass ihre Hände vor der Nervenverletzung eine große Rolle im Beruf spielten (Tab.10). Die häufigsten Berufe, bzw. ausgeübten Tätigkeiten mit einem Anteil von 12% (12 Patienten) und 14% (13 Patienten) stellten die Rentner und Schüler bzw. Studenten dar. An dritter Stelle folgt mit 7 Patienten (8%) das Angestelltenverhältnis. Die Hausfrauentätigkeit wurde in 5 (6%) Fällen ausgeübt und 5 (6%) Patienten waren arbeitslos.

Rolle der Hände im Beruf vor Nervenverletzung	Häufigkeit	Prozent
Gering	10	11,1
Mittel	18	18,9
Groß	62	68,9
Gesamt	90	100,0

**Tabelle 10: Absolute und Prozentuale Verteilung der Angaben aller nachuntersuchten Patienten zu der Rolle der Hände im Beruf vor Nervenverletzung.**

### 3.16 Patientenzufriedenheit

Insgesamt 74% aller nachuntersuchten Patienten (67 Patienten) zeigten sich mit dem Verlauf der Nervenregeneration vom Zeitpunkt nach der Operation bis zur Nachuntersuchung zufrieden. 67% (60 Patienten) gaben im Vergleich zum direkten postoperativen Zeitpunkt eine Verbesserung der Gebrauchsfähigkeit der betroffenen Hand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung an. Patienten, die bei der Nachuntersuchung bessere Sensibilitäts-ergebnisse bei der sZPD erzielten, waren durchschnittlich mit dem Verlauf der Nervenregeneration zufriedener, jedoch war diese Korrelation nach Bonferroni-Korrektur nicht mehr signifikant ( $p=0,6$ ) (Abb.51).



**Abbildung 51: Erreichte sZPD in Abhängigkeit von der Patientenzufriedenheit.**

### 3.17 Allgemeiner gesundheitlicher Status

Präoperativ waren 32% (29) aller nachuntersuchten Patienten Raucher. Postoperativ traf dies noch auf 28,9% (26) der Patienten zu. Bei 17% der Patienten erhoben wir weitere relevante körperliche Erkrankungen. 4% (4 Patienten) litten an Diabetes mellitus, bei 11 % bestand ein arterieller Hypertonus (10 Patienten) und ein Patient litt unter Polyneuropathie. Es ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Sensibilitätsrückkehr und Begleiterkrankungen oder dem Raucherstatus nachweisen.

### 3.18 Ergebnisse der Sondenmessung

Insgesamt konnten die Sondenmessungen bei 37 Nervenverletzungen durchgeführt werden. Es erfolgte immer der Vergleich der kranken mit der gesunden Seite. 21 Patienten litten an Verletzungen des N. medianus und 14 Patienten an Verletzungen des N. ulnaris, darunter waren zwei Patienten mit Mehrfachverletzungen von N. ulnaris und N. medianus.

Es wurde bei Patienten mit Verletzungen des N. medianus immer am Mittelfinger sowie bei Verletzungen des N. ulnaris am Kleinfinger der gesunden und kranken Seite gemessen. Für alle Messungen an gesunder und kranker Seite wurde ein Mittelwert bestimmt (Tab. 11).

Nerv	Sonde	gesund	krank	p (Wilcoxon)
N. Medianus	Corneometer	75,57	63,14	0,79
	Mexameter	426,74	419,68	0,82
	Tewameter	51,96	48,87	0,82
	Cutometer	0,72	0,68	0,88
N. Ulnaris	Corneometer	69,66	75,11	0,16
	Mexameter	416,85	432,76	0,19
	Tewameter	48,13	46,8	0,82
	Cutometer	0,71	0,66	0,87

**Tabelle 11: Ergebnisse der Sondenmessungen (Mittelwert) unterteilt nach N. medianus und N. ulnaris mit den ermittelten p-Werten des Wilcoxon-Test.**

Mittels des Wilcoxon-Test wurde überprüft, ob die gemessenen Werte an gesunder und kranker Seite signifikante Unterschiede aufweisen. Dies traf für keine der Sonden in beiden Gruppen zu. Ein Vergleich der Ergebnisse beider Gruppen wurde daher nicht angestrebt.

### 3.19 Weitere Untersuchungen

#### 3.19.1 Umfangsmaße

Bei allen Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und des Plexus brachialis wurden die Umfänge an folgenden Punkten an gesunder und erkrankter Seite bestimmt: 15 cm über und 10 cm unter dem Epicondylus lateralis humeri, Handgelenk, Mittelhand sowie Mittel- und Endglied des Mittelfingers bei Verletzungen des N. medianus und des Kleinfingers bei Verletzungen des N. ulnaris.

<b><i>N. medianus</i></b>	Gesunde Seite	Erkrankte Seite
15 cm über Epicondylus lat. Humeri	26,4	26,2
10 cm unter Epicondylus lat. Humeri	26,7	26,4
Handgelenk	17,5	17,8
Mittelhand	21,3	21,4
Mittelglied	6,9	6,9
Endglied	5,8	5,7

**Tabelle 12:** Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aller Patienten mit Verletzungen des N. medianus (n=24).

<b><i>N. ulnaris</i></b>	Gesunde Seite	Erkrankte Seite
15 cm über Epicondylus lat. Humeri	27,0	26,6
10 cm unter Epicondylus lat. Humeri	26,8	27,3
Handgelenk	17,4	18,0
Mittelhand	22,0	21,0
Mittelglied	6,3	6,1
Endglied	5,4	5,3

**Tabelle 13: Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aller Patienten mit Verletzungen des N.ulnaris (n=16).**

<b><i>Plexus brachialis</i></b>	Gesunde Seite	Erkrankte Seite
15 cm über Epicondylus lat. Humeri	26,3	24,2
10 cm unter Epicondylus lat. Humeri	28,7	23,7
Handgelenk	18,2	18,0
Mittelhand	22,7	21,2
Mittelglied	7,5	7,5
Endglied	6,3	6,2

**Tabelle 14: Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aller Patienten mit Verletzungen des Plexus brachialis (n=3).**

### 3.19.2 Flaschenzeichen / Fromentzeichen

Das Fromentzeichen war bei einem Patienten mit Verletzung des N. ulnaris positiv. Bei Patienten mit Medianusläsionen fiel das Flaschenzeichen bei einem Patienten positiv aus.

An der gesunden Seite konnte nie ein positives Zeichen festgestellt werden.

## 4 Diskussion

In der chirurgischen Notfallversorgung sind Nervenverletzungen regelmäßig im Rahmen offener Verletzungen, insbesondere an der Hand, zu beobachten. Sie treten bei etwa 10% der handchirurgischen Gesamtverletzungen auf [92]. Seit dem 19. Jahrhundert haben die Anstrengungen die Behandlung von Nervenverletzungen zu optimieren immer mehr zugenommen. Vor allem die Einführung des Operationsmikroskops 1921 durch Nysten brachte den entscheidenden technischen Fortschritt, der als spätere Grundlage für die mikrochirurgische Versorgung peripherer Nervendefekte ab den 60er Jahren diente. Diese Technik und die immer besseren anatomischen Kenntnisse des Nervenbaus trugen zum einen zum Fortschritt in der Behandlung der Nervenverletzung bei, führten jedoch auch zum immer größer werdenden Anspruch an die Fähigkeiten des Operateurs. Trotz in den letzten Jahrzehnten weiter optimierten Behandlungsmethoden, kann die ganzheitliche klinische oder anatomische Wiederherstellung nach Nervendurchtrennungen oder Defektverletzungen nicht gewährleistet werden. Die Konsequenzen sind häufig Sensibilitätsverluste und motorische Ausfälle im betroffenen Gebiet, sowie lange Rehabilitationszeiten mit einer noch möglichen funktionellen Verbesserung drei bis fünf Jahre nach Nervenwiederherstellung [81,98,100]. In vielen Fällen ist eine Umschulung zur Wiedereingliederung ins Berufsleben notwendig. Teilweise erfolgt der völlige Verlust der Arbeitsfähigkeit.

Die Optimierung der Behandlungsmethoden von Nervenverletzungen und die Identifikation wichtiger Einflussfaktoren auf die Prognose nach Versorgung sind deshalb ein wesentliches Ziel weiterer Forschungen in diesem Bereich. Jüngere Patienten erreichen durchschnittlich bessere Regenerationsergebnisse als Patienten höheren Alters [11,74,82,95,99,130]. So beschrieben Rosen B et al einen signifikanten Einfluss des Alters auf die Wiedererlangung der sensorischen Funktion [95]. In der Studie von Mailänder P et al konnte ebenfalls beobachtet werden, dass die Sensibilitätsrückkehr in starkem Maße vom Patientenalter abhängig ist [71]. In unserer Studie konnten wir diese Ergebnisse für die Gruppe der Nervenverletzungen N. medianus,

N. ulnaris, und Plexus brachialis, unter Berücksichtigung einer nur nominellen Signifikanz, bestätigen. Nach Bonferroni-Korrektur konnte jedoch keine Signifikanz mehr hergestellt werden. Ebenso bei Verletzungen des N. digitalis proprius konnten wir keinen signifikanten Zusammenhang beobachten. Hingegen konnte weitere Studien, in denen der Einflussfaktor Alter bei Verletzungen des N. digitalis proprius untersucht wurde, einen signifikanten Einfluss des Patientenalters auf die Sensibilitätsrückkehr bestätigen [44,16,37,72,71,73,122,124].

Welcher Nerv von der Verletzung betroffen ist, zeigte in unserer Studie nur einen nominell signifikanten Zusammenhang zum Sensibilitätsergebnis. Es ist zu berücksichtigen, dass nach Bonferroni-Korrektur die Ergebnisse nicht mehr signifikant zusammenhängen. In der Patientengruppe mit Verletzungen der Finger- und Hohlhandnerven zeigten sich bei 77,6% gute Sensibilitätsergebnisse (sZPD 2-10mm). In der Patientengruppe mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder des Plexus brachialis konnten solche Sensibilitätsergebnisse nur bei 53,6% beobachtet werden. Die primären Gründe dafür sind am wahrscheinlichsten der längere Regenerationsweg und die höhere Wahrscheinlichkeit einer Fehlinnervation wegen der größeren Anzahl von Seitenästen bei Verletzungen der großen Nerven des Unterarmes. Im Gegensatz zu den rein sensiblen Fingernerven muss der Cortex bei gemischt sensibel/motorischen Nerven bei Regeneration die neu angeordneten Zielbereiche neu organisieren, so dass dann eine Fehlinnervation viel wahrscheinlicher ist. Diese erforderlich corticale Plastizität ist vermutlich unter anderem ein Grund der besseren Ergebnisse nach Nervenrekonstruktion im frühen Kindesalter.

Die Verletzungshöhe wird in vielen Studien als ein weiterer Einflussfaktor diskutiert und es sind bessere Ergebnisse nach distalen Nervenverletzungen als nach proximalen festgestellt worden [57,102,105,78]. Bei Geldmacher und Albers [42] sowie Herter [49] konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Sie beschrieben die Verletzungslokalisation als für das Ergebnis nicht bedeutsam. Die Verletzungshöhe wurde bei uns von der Stelle der Nervenkoaptation bis zum Zeigefinger bei Verletzungen des N. medianus und bis zum Kleinfinger bei Verletzungen des N. ulnaris in Zenti-

metern gemessen. Wir sahen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Verletzungshöhe und Sensibilitätsrückkehr bei Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis.

Obwohl in den letzten Jahrzehnten intensive Forschung im Bereich der Nervenrekonstruktion betrieben wurde, existiert insbesondere bei Nervendefekten aktuell kein befriedigendes Therapiekonzept. Die primäre Nervenkoaptation ist zurzeit der Therapiestandard in der Behandlung von peripheren Nervenverletzungen ohne relevante Defektbildung. Sie ist jedoch nur dann möglich, wenn sich eine spannungsfreie Koaptation erzielen lässt. Sollte dies nicht der Fall sein ist der Goldstandard zur Überbrückung solcher Defekte das autologe Nerventransplantat. Dieses geht häufig jedoch mit Sensibilitätsstörungen an der Entnahmestelle und den Risiken von Operationskomplikationen und Neuombildungen einher, so dass es keine optimale Lösung zur Überbrückung von Nervendefekten darstellt. Die Anzahl der Studien zu verschiedenen anderen Überbrückungstechniken nimmt weiter zu. Hierzu zählen die Defektüberbrückung durch den Einsatz von künstlichen oder biologischen Nervenröhrchen und im Einzelfall die End-zu-Seit-Koaptation.

In dieser Studie wurde zwischen der Versorgung mittels Nervenkoaptation, Transplantat oder Nervenröhrchen unterschieden. Bei 87% erfolgte die Nervenkoaptation, bei 12% wurde ein Transplantat und bei drei Patienten (1%) ein Nervenröhrchen verwendet. Der Anteil der in unserem Kollektiv primär spannungsfrei koaptierbaren Nervenverletzungen deckt sich dabei mit den Ergebnissen internationaler Studien [24].

Wegen der vergleichsweise geringen Fallzahl in den letzten beiden Gruppen wurde auf eine gesonderte Betrachtung hinsichtlich des Regenerationserfolges verzichtet.

Auch die Zeitspanne zwischen Trauma und Versorgungszeitpunkt ist immer wieder als ein wesentlicher Einflussfaktor bei der Versorgung von Nervenverletzungen diskutiert worden. Singh et al. stellte einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Sensibilitätsergebnis und dem zeitlichen Intervall zwischen Trauma und operativer Versorgung fest [108]. Die maximale Zeitspanne, bei welcher noch eine Sensibilitätsrückkehr erfolgen kann, ist

bisher jedoch nicht geklärt [102]. In unserer Studie konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Versorgungszeitpunkt und den postoperativen Sensibilitätsergebnissen der sZPD festgestellt werden. Beim Vergleich zwischen primärer und sekundärer Versorgung von Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris oder Plexus brachialis wiesen 53% der Patienten mit primärer Versorgung eine gute Sensibilität im Stadium S4 auf, dies traf nur auf 27% der Patienten mit sekundärer Versorgung zu.

Die Aussagen zu Begleitverletzungen und deren Einfluss auf das Heilungsergebnis variieren in der Literatur. So ist in einigen Studien ein Einfluss von Begleitverletzungen auf die Nervenregeneration beschrieben [4,1,74,123,130]. Geldmacher und Albers stellten schlechtere Ergebnisse nach schweren Begleitverletzungen fest [1,49]. In der Studie von Buck-Gramcko [16] wird dies nach Rekonstruktionen der Nn. mediani et ulnaris bestätigt, dagegen bei den Finger- und Hohlhandnerven kein signifikanter Einfluss auf die Sensibilitätsrückkehr festgestellt. In unserer Studie konnte nur ein nominell signifikanter Zusammenhang zwischen den Begleitverletzungen und den Sensibilitätsergebnissen bei Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und des Plexus brachialis erhoben werden. Die schlechtesten Sensibilitätsergebnisse wurden bei Begleitverletzungen von Muskeln und Knochen beobachtet, welche im Allgemeinen mit einer größeren Krafterwirkung bzw. tieferen Gewebeschädigung einhergehen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Signifikanz nach Bonferroni-Korrektur nicht mehr bestand.

Die Faktoren Verschmutzungsgrad, Verletzungsart und Verletzungssituation werden in der Literatur bisher selten diskutiert. In der Studie von Buck-Gramcko [16] wird die Verletzungsart als ein Einflussfaktor diskutiert. Die Schnittverletzungen erzielten in seiner Studie zwischen 60 und 70% gute Resultate, während bei den Riss-Quetschverletzungen nur wenige gute und befriedigende Ergebnisse auftreten. Weitere Studien, [37,88,122], die die Verletzungsart bei Nervenverletzungen als Prognosefaktor untersuchten, bestätigen diese Ergebnisse. In unserer Studie ließ sich für die Faktoren Verschmutzungsgrad, Verletzungssituation und Verletzungsursache kein signifikanter Einfluss auf die Sensibilitäts- und Krafterrückkehr der Patienten

belegen. Bei den Säge-/Rissverletzungen erzielten 40% der Patienten gute Sensibilitätsergebnisse mit einem Stadium S4. Bei Schnittverletzungen lag der Anteil der Patienten mit S4 bei 41%.

Wir erfassten in unserer Studie des Weiteren Begleiterkrankungen wie Diabetes mellitus, arteriellen Hypertonus und Polyneuropathie sowie den prä- als auch postoperativen Raucherstatus der Patienten. Insgesamt konnten wir keinen signifikanten Einfluss dieser Faktoren auf die späteren Resultate erkennen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich gegebenenfalls in Studien mit größeren Fallzahlen mögliche Signifikanzen erkennen lassen könnten.

Zur Beurteilung der Nervenregeneration nach Nervenverletzungen existieren viele unterschiedliche Techniken. Es ist durchaus sinnvoll, sich auf einige wenige dieser Verfahren im klinischen Alltag als auch in Studien zu beschränken. Zum einen um eine Nachuntersuchung zeitlich optimal gestalten zu können, zum anderen können Studienergebnisse, die mit den gleichen Untersuchungstechniken erhoben wurden, besser verglichen werden. Wesentliche Instrumente zur Beurteilung der Nervenregeneration in Studien sind das Verfahren zur Bestimmung der statischen und dynamischen 2-Punktgediskriminationsfähigkeit (sZPD/dZPD) und der Monofilamenttest WEST (Weinstein-Enhanced-Sensory-Test).

Der WEST wird in der Literatur sehr unterschiedlich in seiner diagnostischen Wertigkeit beurteilt. Einige Studien bewerten ihn als fehlerbehaftet, da bei zunehmender Härte der Haut ein größerer Druck ausgeübt werden muss, um die Berührung zu fühlen [33,49]. Dies erweise sich vor allem bei Patienten mit Hyperkeratosis, wie sie vor allem bei manuell arbeitenden Männern vorkomme, als problematisch, da dann keine korrekten Ergebnisse messbar seien [49]. Im Allgemeinen wird der WEST jedoch als ein standardisiertes Verfahren zur Überprüfung der Nervenregeneration anerkannt [95,97]. In unserer Studie war die Korrelation zwischen den beiden diagnostischen Tests WEST und statischer bzw. dynamischer ZPD auch nach Bonferroni-Korrektur ( $p=0,03$ ) hoch signifikant. Je schlechter die gemessenen ID's beim WEST waren, desto schlechter fielen auch die erreichte statische und dynamische ZPD aus. Wir betrachten den WEST durchaus als eine

gleichwertige Methode zur sZPD bei der Beurteilung der Nervenregeneration.

Der Unterschied zwischen statischer und dynamischer ZPD besteht in der Testung der Innervationsdichte der schnell adaptierenden Rezeptoren bei der dynamischen ZPD und den langsam adaptierenden Rezeptoren bei der statischen ZPD. Das Verfahren beruht auf der Tatsache, dass die schnell adaptierenden Mechanozeptoren, Meißner- und Pacinikörperchen vor allem auf Vibration und oszillierende Berührung ansprechen [26] und die Dichte dieser Rezeptoren durch eine bewegende Berührung oder einer Stimmgabel getestet werden kann [27]. Bei den langsam adaptierenden Merkel-Tastscheiben erfolgt eine Impulsfrequenzsteigerung auf Drucksteigerung. Die Innervationsdichte kann somit durch die statische ZPD nach Weber untersucht werden [129]. Bei Vergleich der Ergebnisse von dynamischer und statischer ZPD sind die Werte der dynamischen ZPD zwar meist gering besser, jedoch korrelieren die Ergebnisse beider Verfahren so hoch miteinander, dass bei klinischer Verwendung eine Messungsweise meist vollkommen ausreicht.

Die bei Studien zur Beurteilung der Sensibilitätsrückkehr am häufigsten eingesetzte Skala ist die des British Medical Research Council (MRC) [76], welche als wesentliche Kriterien Schmerz- und Berührungsempfinden zur Stadieneinteilung (S0-S4) nutzt. Jedoch wird bei dieser Skala nicht zwischen einer statischen und dynamischen ZPD unterschieden. Durch Mackinnon und Dellon wurde die MRC-Skala deshalb 1988 durch erreichte Werte in sZPD und dZPD erweitert. Die Beurteilung der sensorischen Fähigkeiten eines Patienten durch den klassischen ZPD-Test und die MRC Skala wurde in der Literatur sehr unterschiedlich diskutiert [85,27,26,29,30,31,52,53,62]. Wesentliche Kritikpunkte an dieser Skala sind vor allem die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Subjektivität des Untersuchers [64,96] und die umstrittene Validität und Reliabilität [7,52,59,63,85]. Der vom Untersucher ausgeübte Druck auf die Haut bei Bestimmung der ZPD ist nicht standardisiert, sondern variiert von Versuch zu Versuch. Es bestünde das Risiko, dass Vibrationen von der Hand des Untersuchers das schnell adaptierende System aktivieren und die Ergebnisse somit verfälschen könnten [63]. Dies soll in höherem Maße vor allem bei ungeübten Untersu-

chern gelten. Trotzdem wird das Testverfahren in Studien zur Beurteilung der Nervenregeneration immer wieder eingesetzt. Ein wesentlicher Vorteil des Testverfahrens liegt zum Beispiel in dem geringen Zeitanspruch. Einige Autoren sind der Meinung, dass der ZPD-Test nicht als einziger Test zur Beurteilung der Nervenregeneration herangezogen werden sollte. Sie empfehlen die Verwendung des ZPD-Tests nur in Ergänzung zu weiteren Tests, wie zum Beispiel der Beurteilung der motorischen Funktion und des Schmerzempfindens [10,96,115]. In unserer Studie wurden deshalb neben der 2-Punktgediskriminationsfähigkeit und der Monofilamenttestung zusätzliche Erhebungen der motorischen Funktion und des Schmerzempfinden durchgeführt.

Die Überprüfung des Hoffmann-Tinel-Zeichens als eine Untersuchungstechnik nach Nervenverletzungen wurde in dieser Studie ebenfalls durchgeführt. Das bei diesem Zeichen elektrisierende Gefühl bei Beklopfen des Nervenverlaufes resultiert aus der Neubildung von Achsenzylindern [28]. Es bewegt sich bei Nervenregeneration in distaler Richtung von der Verletzungsstelle fort. Das Zeichen gibt nur Aufschluss darüber, ob eine Regeneration stattfindet, jedoch nicht über deren Ausmaß. In der Dissertationsschrift von Herter 2001 [49] konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem Vorliegen des Hoffmann-Tinel-Zeichens und der Sensibilitätsrückkehr festgestellt werden. Mehr als 50% der Patienten ohne nachweisbares Hoffmann-Tinel-Zeichen hatten gute und sehr gute Resultate. Es wurde bei diesen Patienten davon ausgegangen, dass die Axone größtenteils bis in das ursprüngliche Innervationsgebiet wieder vorgewachsen sind. In unserer Studie konnten wir ähnliche Ergebnisse feststellen. Der Anteil der Patienten mit einem Stadium S4 oder S3+ war in der Gruppe ohne nachweisbares Hoffmann-Tinel-Zeichen deutlich höher, wohingegen bei nachweisbarem Hoffmann-Tinel-Zeichen 37,8% der Patienten schlechte Ergebnisse (aufgehobene Sensibilität bis S3), 22,2% der Patienten mäßige (S3+) und 40% gute (S4) Regenerationsergebnisse erreichten. Es ist zu berücksichtigen, dass hier eine nominelle Signifikanz vorliegt, jedoch nach Bonferroni-Korrektur diese nicht mehr bestätigt werden konnte. Dabei ist das Abklingen des initial positiven Hoffmann-Tinel-Zeichen offensichtlich als Ausdruck der Ausreifung und Myelinisierung der regenerierenden Axone zu werten.

Nach Nervenverletzungen kann selbst bei klinisch zufrieden stellender Sensibilitätsrückkehr der Patient durch Kälteintoleranz oder Berührungsschmerz weitaus unzufriedener sein als vermutet. Ein weiterer wichtiger Punkt unserer Studie war deshalb die Beziehung zwischen der Patientenzufriedenheit und den erreichten Ergebnissen im DASH-Fragebogen sowie im ZPD-Test zu untersuchen. Der DASH Fragebogen basiert auf der Selbsteinschätzung des Patienten und ist somit ein subjektives Instrument zur Evaluation der Handfunktion nach Nervenverletzungen [57]. Germann G et al. setzten den DASH-Fragebogen zur Beurteilung von Patienten mit Nervenverletzungen des N. medianus ein [43]. Kruse K benutzte ihn zusätzlich bei Patienten mit Verletzungen des N. ulnaris. In der Studie von Kruse K wurde der DASH-Fragebogen für die Beurteilung der Handfunktion nach Verletzung des N. ulnaris als wenig geeignet erachtet [57]. Dies beruhe auf der Tatsache, dass der Fragebogen fast nur Aktivitäten erfrage, bei denen die Finger I-III benötigt werden, die Finger IV und V jedoch nicht. Motorische und sensorische Defizite seien deshalb bei Verletzung des N. ulnaris schlechter feststellbar gewesen. Ein weiterer Kritikpunkt sei, dass Patienten mit Verletzungen der Seite, die nicht ihre Gebrauchshand ist, durchschnittlich bessere Ergebnisse im DASH-Fragebogen erreichen, da sie die gestellten Fragen auf die gesunde Gebrauchshand beziehen und somit meistens „keine Schwierigkeiten“ ankreuzen [57].

Der Fragebogen wurde in unserer Studie auch bei Patienten mit Verletzung der Digitalnerven verwendet. Unsere Ergebnisse zeigten klare Unterschiede der DASH-Werte zwischen den verschiedenen Nervenverletzungen. Der Median bei Verletzungen der Digitalnerven betrug 25,8. Bei der Gruppe mit Verletzungen des N. medianus lag er bei 32,75 und bei Verletzungen des N. ulnaris lag er bei 42 Punkten. Patienten mit Verletzungen der Nn. digitales proprii scheinen ihre Handfunktion nach Nervenverletzung also durchschnittlich besser zu bewerten. Dies spiegelte sich in der Patientenzufriedenheit wider. Patienten mit besserem DASH-Wert gaben signifikant häufiger an, zufrieden mit dem Operationsergebnis zu sein. Ein signifikanter Zusammenhang konnte auch zwischen DASH-Werten und Sensibilitätsrückkehr sowie Kraftrückkehr festgestellt werden. Patienten mit besserer

Sensibilität oder Kraft erreichten im Durchschnitt niedrigere Werte im DASH. Aus unserer Studie lässt sich sagen, dass sich der DASH-Fragebogen als eine ergänzende Methode zur Beurteilung der Handfunktion insbesondere nach Verletzung des N. medianus als gut geeignet erscheint.

Ein weiteres Ziel dieser Studie war die Beurteilung neuer Methoden zur Objektivierung trophischer Hautveränderungen nach Nervenverletzungen. Der Einsatz des Sondensystems der Firma Courage und Khazaka zur Beurteilung trophischer Störungen nach Nervenverletzungen ist nach aktuellem Literaturstudium neu. Das Cutometer wurde bisher zur Beurteilung der Elastizität der Haut [21,35,90,116] sowie zur Beurteilung hypertropher Narben nach thermischen Verletzungen [39,91,121,121,127] angewandt und hat sich als ein objektives Messinstrument behauptet [36]. Das Mexameter fand bisher Anwendung in der Beurteilung von Pigmentierung und Durchblutung der Haut [18]. Studien zum Einsatz des Corneometers und des Tewameters nach Nervenverletzungen der oberen Extremität sind nach aktueller Literaturlage nicht vorhanden. Die Ergebnisse der Sondenmessungen wurden in unserer Studie separat für Patienten mit Verletzungen des N. ulnaris und des N. medianus ausgewertet. Es konnte mittels aller Sonden nicht signifikant zwischen gesunder und kranker Haut unterschieden werden.

Dies traf auch für das Corneometer als ein Messinstrument für die Hautfeuchtigkeit zu. Die Befragung der Patienten nach ihrem subjektiven Empfinden zu einer veränderten Schweißsekretion ergab, dass bei allen nachuntersuchten Patienten über 80% keine Veränderung empfunden wurde. Auffällig war, dass im Patientengut des N. ulnaris bei Angaben zu einer veränderten Schweißsekretion nur eine Abnahme der Schweißsekretion von den Patienten beobachtet wurde. Ötne untersuchte die Schweißsekretion bei primär rekonstruierten Nn. mediani et ulnares sowie Nn. digitales palmares proprii und beobachtete normale, verringerte und auch erhöhte Schweißsekretionen in den betreffenden Arealen der Nerven [89]. Dies spricht für eine starke Variation dieses Parameters bei Nervenverletzungen. Eine mögliche Fehlerquelle bei Messungen mit dem Corneometer könnten in der starken Abhängigkeit der Messgenauigkeit von der Umgebungstem-

peratur und der Luftfeuchtigkeit gelegen haben. Schwankungen der genannten Faktoren könnten zu Messfehlern führen. Eine sehr genaue Beobachtung dieser Faktoren sollte bei weiteren Studien eingehalten werden.

Um Aussagen zu Veränderungen der Hautfeuchtigkeit nach Nervenverletzungen treffen zu können, sind weiterführende Untersuchungen an größeren Patientenkollektiven erforderlich.

Bei Messungen der Durchblutung durch Bestimmung des Hämoglobingehaltes der Haut zeigte sich zwischen den Nervengruppen kein signifikanter Unterschied von der jeweiligen gesunden zur kranken Seite. Eine wesentliche Fehlerquelle bei der Messung mit dem Mexameter könnte in der Zeitspanne vom Eintreffen der Patienten bis zur Untersuchung mittels der Sonden gelegen haben. Diese Zeitspanne betrug bei unseren Patienten im Mittel immer eine halbe Stunde, da vorher von ihnen ein Fragebogen ausgefüllt werden musste und danach erst die körperliche Untersuchung erfolgte. Jedoch konnte bei einigen Patienten vor allem im Winter bei extrem niedrigen Außentemperaturen immer noch eine Unterkühlung und Minderdurchblutung der Hände festgestellt werden. Dies könnte mögliche Messfehler oder Messschwankungen im Patientengut erklären. Auch hier wären weitere Studien mit einem größeren Patientenkollektiv durchaus sinnvoll.

Bei Verwendung des Cutometers, als ein Messinstrument zur Beurteilung der Elastizität der Haut, konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen gesunder und kranker Seite festgestellt werden. Nach Nervenverletzungen werden jedoch häufig Hautatrophien im Sinne einer trophischen Störung der Epidermis beschrieben [72]. Die Hyperkeratosis bei manuell arbeitenden Männern muss zudem als mögliche Fehlerquelle betrachtet werden. Diese führt zu einer deutlichen Abnahme der Elastizität der Haut und kann zu Verfälschung der Messwerte führen.

Das Sondensystem stellt durchaus ein interessantes Messinstrument nach Nervenverletzung zur Beurteilung der trophischen Veränderungen dar, jedoch konnte in unserer Studie womöglich aufgrund der begrenzten Fallzahlen keine ausreichende Aussagefähigkeit erreicht werden. Es wäre deshalb sinnvoll weitere Untersuchungsreihen mit den Sonden durchzuführen, um geringgradige Änderungen zu erkennen.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die technische Untersuchung der Trophik eine gute Objektivität zeigt, in unserem Patientengut jedoch keine relevanten Unterschiede von kranker zu gesunder Seite festgestellt werden konnten. Ein möglicher Erklärungsansatz wäre, dass zwar Unterschiede bestehen, jedoch diese aufgrund noch zu geringer technischer Leistung nicht messbar sind. Des Weiteren muss diskutiert werden, ob die trophischen Veränderungen der Haut nach Nervenverletzungen möglicherweise so uneinheitlich sind, dass sie durch unsere Untersuchungen im gegebenen Patientengut nicht erfassbar sind. Trophische Störungen zeigen vermutlich eine direkte Abhängigkeit von dem Grad der Nervenregeneration. Aufgrund des Studiendesigns war ein einheitlicher Untersuchungszeitpunkt jedoch nicht gegeben und regenerationsbedingte Veränderungen nicht homogen ableitbar.

Wir sehen daher in diesem Zusammenhang die Stärken der Verwendung der Sondensysteme in der kontrollierten prospektiven Verlaufsbeobachtung zur Beurteilung von individuellen Veränderungen der Trophik im Rahmen der Nervenregeneration.

In dieser Studie zeigte die Beurteilung möglicher Einflussfaktoren nach Nervenverletzungen, dass zwischen der Sensibilitätsrückkehr und den Verletzungsumständen wie Begleitverletzungen und Verletzungshöhe, sowie den nicht beeinflussbaren Faktoren Alter und Sensibilitätsrückkehr nur eine nominell signifikante Korrelation besteht. Es ist kritisch zu berücksichtigen, dass aufgrund der multiplen Vergleiche in dieser Studie und somit durchzuführender Bonferroni-Korrektur diese Signifikanz nicht bestätigt werden konnte.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass der DASH-Score signifikant mit der Kraftmessung durch das Vigorimeter korreliert. Die Kraftmessung mittels Vigorimeter lieferte also nicht nur objektive Messwerte, sondern korrelierte in unserer Studie auch signifikant mit dem subjektiven Empfinden des Patienten bezüglich der Gebrauchsfähigkeit der Hand. Die Kraftmessung scheint daher als objektive Untersuchungsmethode einfache, schnelle und reproduzierbare Aussagen über die Funktion der Hand ermöglichen zu können.

Das entscheidende Kriterium der Verlaufskontrolle nach operativer Versorgung von Verletzungen sensibler Nerven ist die Rückkehr der Sensibilität. In unserer Studie konnte gezeigt werden, dass der Monofilamenttest eine hohe Korrelation mit der 2-Punktgediskriminationsfähigkeit besitzt. Eine Überlegenheit eines der Messverfahren konnte nicht festgestellt werden. Es scheint daher ausreichend, sich im regulären klinischen Ablauf zur Beurteilung der Sensibilität auf ein Messverfahren zu beschränken. Aufgrund fehlender Sensitivität stellen Messungen der Umfangsmaße oder inspektorisch erhobene Fakten zur Trophik der Haut eher zweitrangige und für den klinischen Alltag nicht primär geeignete Untersuchungen dar. Solche Untersuchungsverfahren bleiben damit am ehesten individuellen Verlaufsbeobachtungen vorbehalten.

Die Ergebnisse dieser Studie lassen den Schluss zu, dass sich durch die Kombination der Messung von Griffstärke, z.B. mit dem Vigorimeter oder Jamar-Dynamometer, die Lokalisation des Tinel-schen Zeichens und die Sensibilitätstestung mittels statischer 2-Punktgediskrimination für die alltägliche standardisierte klinische Untersuchung in den meisten Fällen ausreichend valide Aussagen zur Nervenregeneration treffen lassen.

## 5 Zusammenfassung

Insgesamt wurden in der Plastischen Chirurgie des Universitätsklinikum Schleswig Holstein vom 1. Januar 2000 bis 31. Dezember 2004 an 356 Patienten Operationen an 372 Nerven der oberen Extremität durchgeführt. In unserer Studie konnten 101 Nervenverletzungen des N. ulnaris, N. medianus, Plexus brachialis und der Nn. digitales proprii et communes nachuntersucht werden. Die Patienten wurden zu einer Nachuntersuchung eingeladen, welche aus einer gründlichen Anamnese, der körperlichen Untersuchung, der Beantwortung des DASH-Fragebogen und der Untersuchung mittels eines Sondensystems zur Beurteilung der Trophik bestand. Besonderes Augenmerk lag auf der Beurteilung der Aussagefähigkeit verfügbarer Untersuchungsmethoden sowie in der Erkennung möglicher Einflussfaktoren auf das Ergebnis der Nervenregeneration.

Die Ergebnisse dieser Studie lassen den Schluss zu, dass sich durch die Kombination der Messung von Griffstärke, z.B. mit dem Vigorimeter oder Jamar-Dynamometer, die Lokalisation des Tinel-schen Zeichens und die Sensibilitätstestung mittels statischer 2-Punkt-diskrimination für die alltägliche standardisierte klinische Untersuchung in den meisten Fällen ausreichend valide Aussagen zur Nervenregeneration treffen lassen.

Der Monofilamenttest und die Zwei-Punkte-Diskriminationsfähigkeit erwiesen sich als gleichwertige Verfahren zur Beurteilung der Sensibilitätsrückkehr nach Nervenverletzungen.

Mit Verwendung des Sondensystems zur Beurteilung trophischer Faktoren nach Nervenverletzungen ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen gesunder und kranker Seite erkennen. Zum jetzigen Zeitpunkt bleibt ihr Einsatz eher prospektiven Verlaufsstudien oder speziellen Fragestellungen vorbehalten. Ein Einsatz im klinischen Alltag erscheint insbesondere hinsichtlich des hohen apparativen Aufwandes derzeit als nicht geeignet.

Nervenverletzungen der oberen Extremität bedeuten für den Patienten erhebliche funktionelle Einschränkungen. Die Identifikation von Einflussfaktoren auf die Nervenregeneration ist deshalb nach wie vor ein wesentliches

Ziel zur Optimierung der Behandlungsmethoden sowie zur Abschätzung des zu erwartenden Heilungserfolges von Nervenverletzungen.

Jüngere Patienten mit Verletzungen des N. medianus, N. ulnaris und des Plexus brachialis erreichten im Durchschnitt nominell signifikant bessere Sensibilitätsergebnisse als Ältere. Bei Patienten mit einem Alter unter 20 Jahren konnten sogar in allen Fällen gute oder sehr gute Ergebnisse festgestellt werden.

Die Verletzungshöhe korrelierte nur nominell signifikant mit der Sensibilitätsrückkehr im betroffenen Gebiet. Die Begleitverletzungen von Knochen und Muskeln zeigten bei Verletzung des N. medianus, N. ulnaris und Plexus brachialis den größten negativen Einfluss auf die Sensibilitätsrückkehr. Es bestand jedoch nach Bonferroni-Korrektur keine Signifikanz.

Die Arbeit zeigt, dass sich mit einer kleinen auf die Anforderungen des klinischen Alltags abgestimmten Auswahl aus der Vielzahl verfügbarer Untersuchungstechniken sehr gut objektive und aussagefähige Ergebnisse erzielen lassen.

Patientenalter, Verletzungshöhe und Begleitverletzungen konnten in dieser Arbeit nur als nominell signifikante Einflussfaktoren auf die Nervenregeneration dokumentiert werden.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Albers W Geldmacher J Wolf N (1981) *Wiederherstellung sensibler Nerven durch freie Transplantationen*. Chir Praxis, 29; 663-667
2. Albert E (1885) *Einige Operationen am Nerven*. Wien Med.Presse, 12; 1285-1285
3. Barel AO Clarys P (1995) *Study of the stratum corneum barrier function by transepidermal water loss measurements: comparison between two commercial instruments: Evaporimeter and Tewameter*. Skin Pharmacol, 8; (4): 186-195
4. Barrios C Amillo S de Pablos J Canadell J (1990) *Secondary repair of ulnar nerve injury, 44 cases followed for 2 years*. Acta Orthop Scand, 61; (1): 46-49
5. Battiston B Tos P Cushway TR Geuna S (2000) *Nerve repair by means of vein filled with muscle grafts I. Clinical results*. Microsurgery, 20; (1): 32-36
6. Battiston B Tos P Geuna S Giacobini-Robecchi MG Guglielmone R. (2000) *Nerve repair by means of vein filled with muscle grafts. II. Morphological analysis of regeneration*. Microsurgery, 20; (1): 37-41
7. Bell-Krotoski JA Buford WL Jr. (1997) *The force/time relationship of clinically used sensory testing instruments*. J Hand Therapy, 10; (4): 297-309
8. Berger A Meissl G Samii M. (1970) *Experimentelle Erfahrungen mit Kollagenfolien uber nahtlose Nerven Anastomosen*. Acta Neurochir, 23; 141-149
9. Berger A Millesi H (1978) *Nerve grafting*. Clin.Orthop, 49-55
10. Bindra RR Dias JJ Heras-Palau C Amadio PC Chung KC Burke FD. (2003) *Assessing outcome after hand surgery: the current state*. Journal of Hand Surgery/British Volume, 28; (4): 289-294
11. Birch R Bonney G Payan J Wynn Parry CB Iggo A (1986) *Peripheral nerve injuries*. J Bone Joint Surg (Br), 68; 2-21
12. Blichmann CW Serup J (1988) *Assessment of skin moisture. Measurement of electrical conductance, capacitance and transepidermal water loss*. Acta Derm Venereol, 68; (4): 284-290
13. Brandt J Dahlin LB Lundborg G (1999) *Autologous tendons used as grafts for bridging peripheral nerve defects*. Journal of Hand Surgery/British and European Volume, 24; 284-290

14. Brown ER Bone Q Ryan KP Abbott NJ. (1991) *Morphology and electrical properties of Schwann cells around the giant axon of the squids Loligo forbesi and Loligo vulgaris*. Proc Biol Sci., 243; (1308): 255-262
15. Buchthal F Kühl V (1979) *Nerve conduction, tactile sensibility, and the electromyogram after suture or compression of peripheral nerve: a longitudinal study in man*. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 42; (5): 436-451
16. Buck-Gramcko D Nigst H (1985) *Nervenwiederherstellung nach traumatischen Läsionen*. Bibliothek für Handchirurgie, 7-136
17. Büngner von O (1891) *Degenerations- und Regenerationsvorgänge am Nerven nach Verletzungen*. Pathol.Anat, 10; 321-326
18. Clarys P Alewaeters K Lambrecht R and Barel AO (2000) *Skin color measurements: comparison between three instruments: the Chromameter(R), the DermaSpectrometer(R) and the Mexameter(R)*. Skin Res Technol, 6; (4): 230-238
19. Connecticut Bioinstruments, U (2001) *Indices of reliability and validity used the Rapid Threshold Procedure; In:WEST-D Esthesiometer Care and Use Manual*.
20. Courage-Khazaka (2007) *Product information cutometer and probes*. <http://www.courage-khazaka.de/>
21. Cua AB Wilhelm KP and Maibach HI. (1990) *Elastic properties of human skin: relation to age, sex, and anatomical region*. Arch Dermatol Res, 282; (5): 283-288
22. Cuadros CL and Granatir CE (1987) *Nerve regeneration through a synthetic microporous tube (expanded polytetrafluoroethylene): experimental study in the sciatic nerve of the rat*. Microsurgery, 8; 41-47
23. Dahlin LB (1996) *Prevention of macrophage invasion impairs regeneration in nerve grafts*. Brain Res., 679; (2): 274-280
24. de Medinaceli L Prayon M Merle M (1993) *Percentage of nerve injuries in which primary repair can be achieved by end to end approximation: review of 2,181 nerve lesions*. Microsurgery, 14; 244-246
25. De Paepe K Houben E Adam R Wiesemann F and Rogiers V (2005) *Validation of the VapoMeter, a closed unventilated chamber system to assess transepidermal water loss vs. the open chamber Tewameter*. Skin Res Technol, 11; (1): 61-69
26. Dellon AL (1978) *The moving two-point-discrimination test: Clinical evaluation of the quickly adapting fiber/receptor system*. J.Hand Surg.[Am.], 3; 474-481

27. Dellon AL (1981) *Evaluation of sensibility and re-education of sensation in the hand*. Williams and Wilkins, Williams and Wilkins 123-167, Baltimore
28. Dellon AL (1984) *Tinel or not Tinel*. Journal of Hand Surgery/British Volume, 9; 216-216
29. Dellon AL (1999) *Management of peripheral nerve problems in the upper and lower extremity using quantitative sensory testing*. Hand Clin, 15; (4): 697-715
30. Dellon AL Kallman CH (1983) *Evaluation of functional sensation in the hand*. J.Hand Surg.[Am.], 8; (6): 865-870
31. Dellon AL Mackinnon SE Crosby PM (1987) *Reliability of two-point discrimination measurements*. J.Hand Surg.[Am.], 12; 693-696
32. Dellon ES Keller K Moratz V Dellon AI (1997) *Validation of cutaneous pressure threshold measurements for the evaluation of hand function*. Ann Plast Surg., 38; (5): 485-492
33. Dellon ES Keller K Moratz V Dellon AI (1995) *The relationship between skin hardness, pressure perception and two-point-discrimination in the fingertip*. Journal of Hand Surgery/British Volume, 20; 44-48
34. Dias JJ Garcia-Elias M (2006) *Hand Injury costs*. Injury / Int.J.of the care of the injured, 37; 1071-1077
35. Dobrev HP (2002) *A study of human skin mechanical properties by means of Cutometer*. Folia Med (Plovdiv), 44; (3): 5-10
36. Eich U (2007) *Thermische Verletzungen im Kindes- und Jugendalter- Retrospektive Kohortenstudie zur Beurteilung von Epidemiologie und Verletzungsfolgen*. Medizinische Universität zu Lübeck, Abteilung für Plastische Chirurgie, Dissertation
37. Elias BE Tropet Y Brientini JM Vichard Ph. (1994) *Résultats de la réparation primaire des nerfs collatéraux digitaux palmaires*. Ann Chir Main, 13; (2): 107-112
38. Fawcett JW and Keynes RJ (1986) *Muscle basal lamina: a new graft material for peripheral nerve repair*. J.Neurosurg, 65; 354-363
39. Fong S Hung LK and Cheng JC (1997) *The cutometer and ultrasonography in the assessment of postburn hypertrophic scar - a preliminary study*. Burns, 23; 12-18
40. Frey M Giovanoli P Michaelidou M (2006) *Functional upgrading of partially recovered facial palsy by cross-face nerve grafting with distal end-to-side neurorrhaphy*. Plast.Reconstr.Surg, 117; (2): 579-608

41. Gehrmann J Kreutzberg GW (1993) *Monoclonal antibodies against macrophages/microglia: immunocytochemical studies of early microglial activation in experimental neuropathology*. Clin Neuropathol., 12; (5): 301-306
42. Geldmacher J Albers W (1982) *The microsurgical restoration of peripheral nerves*. Chir Plastica, 6; 243-248
43. Germann G Harth A Wind G Demir E (2003) *Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des "Disability of Arm, Shoulder, Hand" (DASH) -Fragebogen zur Outcome-Messung an der oberen Extremität*. Unfallchirurg, 106; 13-19
44. Goldie BS Coates CJ Birch R (1992) *The long term result of digital nerve repair in no-man's land*. Journal of Hand Surgery/British Volume, 17 B; 75-77
45. Greulich M (1976) *The 2 prong star*. Handchirurgie, 8; (2): 97-99
46. Günther E (1980) *Anleitung zur Benutzung der Meßblätter und der Messung nach der Neutral-0-Methode*. In: *Unfallbegutachtung*. de Gruyter 83-88, Berlin, New York
47. Heijke GC Klopper PJ Dutrieux RP. (1993) *Vein graft conduits versus conventional suturing in peripheral nerve reconstructions*. Microsurgery, 14; (9): 584-588
48. Hentz VR Rosen JM Xiao SJ McGill KC and Abraham G (1993) *The nerve gap dilemma: a comparison of nerves repaired end to end under tension with nerve grafts in a primate model*. J.Hand Surg.[Am.], 18; 417-425
49. Herter KH (2001) *Ergebnisse nach Rekonstruktion peripherer Nerven an der oberen Extremität durch autologe Nerventransplantate*. Medizinische Universität zu Lübeck, Abteilung für Plastische Chirurgie, Dissertation
50. Hoffmann P (1915) *Über eine Methode, den Erfolg einer Nervennaht zu beurteilen*. Medizinische Klinik, 11; 359-359
51. Jaquet JB Luijsterburg AJ Kalmijn S Kuypers PD Hofman A Hovius SE (2001) *Median, ulnar, and combined median-ulnar nerve injuries: functional outcome and return to productivity*. J Trauma, 51; (4): 687-692
52. Jerosch-Herold C (2000) *Should sensory function after median nerve injury and repair be quantified using two-point discrimination as the critical measure?* Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg., 34; (4): 339-343
53. Jerosch-Herold C (2003) *A study of the relative responsiveness of five sensibility tests for assessment of recovery after median nerve injury and repair*. Journal of Hand Surgery/British Volume, 28; (3): 255-260

54. Kanitakis J Jullien D De Boer B Claudy A and Dubernard JM (2000) *Regeneration of cutaneous innervation in a human hand allograft*. Lancet, 356; 1738-1739
55. Keynes RJ Hopkins WG and Huang LH (1984) *Regeneration of mouse peripheral nerves in degenerating skeletal muscle: guidance by residual muscle fibre basement membrane*. Brain Res, 295; 275-281
56. Krarup et al (2002) *Graft's in nerve repair*. Plast Reconstr Surg, 114; (2): 42e-
57. Kruse K (2006) *Langzeitergebnisse der primären Nervennaht nach Durchtrennung des Nervus medianus und Nervus ulnaris - ein Vergleich gemeinsamer Score-Systeme*. Universitätsklinikum Münster, Abteilung für Unfall- Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Dissertation
58. Lehmann W (1921) *Die Formen der Tubulisation und ihre Erfolge*. In: *Die Chirurgie der peripheren Nervenverletzungen*. Urban & Schwarzenberg 129-137, Wien
59. Levin LS Regan N Pearsall G Nunley JA. (1989) *Variations in two-point discrimination as a function of terminal probes*. Microsurgery, 10; (3): 236-241
60. Li ST Archibald SJ Krarup C and Madison RD (1992) *Peripheral nerve repair with collagen conduits*. Clin.Mater., 9; 195-200
61. Lohmeyer J Zimmermann S Sommer B Machens HG Lange T Mailänder P (2007) *Überbrückung peripherer Nervendefekte durch den Einsatz von Nervenröhrchen*. Der Chirurg, 78; 142-147
62. Lundborg G (2004) *Nerve Injury and Repair/ Regeneration, Reconstruction and Cortical Remodeling*. Second 0-443-067-11-2
63. Lundborg G and Rosén B (2004) *The two-point discrimination test--time for a re-appraisal?* Journal of Hand Surgery/British Volume, 29; (5): 418-422
64. Lundborg G, Rosén B, and Abrahamson SO Dahlin L Danielsen N (1994) *Tubular repair of the median nerve in the human forearm. Preliminary findings*. Journal of Hand Surgery/British Volume, 19; (3): 273-276
65. Lundborg G and Hansson HA (1980) *Nerve regeneration through preformed pseudosynovial tubes. A preliminary report of a new experimental model for studying the regeneration and reorganization capacity of peripheral nerve tissue*. J.Hand Surg.[Am.], 5; 35-38
66. Lundborg G and Rydevik B (1973) *Effects of stretching the tibial nerve of the rabbit. A preliminary study of the intraneural circulation and the barrier function of the perineurium*. J.Bone Joint Surg.Br, 55; 390-401

67. Lundborg G Dahlin LB Danielsen N Gelberman RH Longo FM Powell HC (1982) *regeneration in silicone chambers: influence of gap length and of distal stump components*. Exp.Neurol, 76; 361-375
68. Mackinnon SE and Dellon AL (1988) *Histological assessment of the effects of the distal nerve in determining regeneration across a nerve graft*. Microsurgery, 9; 46-51
69. Mackinnon SE and Dellon AL (1990) *Clinical nerve reconstruction with a bioabsorbable polyglycolic acid tube*. Plast.Reconstr.Surg, 85; 419-424
70. Mackinnon SE Dellon AL (1988) *Nerve repair and nerve grafting; surgery of the peripheral nerve*. Thieme, New York, 89-129
71. Mailänder P Berger A Ruhe K (1988) *Ergebnisse nach primären Nerven-nähten*. Handchirurgie, 20; 342-343
72. Mailänder P Berger A Ruhe K (1988) *Trophische Störungen nach primären Nervennähten an der oberen Extremität*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 21; 72-73
73. Mailänder P Schaller E Berger A Ruhe K (1989) *Rückkehr der statischen und beweglichen Zweipunktgediskriminierung nach Nervenwiederherstellung*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 21; 299-301
74. Martini A Zellner PR (1976) *Results of nerve repair in the upper limbs*. Chirurg, 47; (12): 682-686
75. McAllister RM Gilbert SE Calder JS Smith PJ (1996) *The epidemiology and management of upper limb peripheral nerve injuries in modern practice*. Journal of Hand Surgery/British Volume, 21; (1): 4-13
76. Medical Research Council committee (1954) *Results of nerve suture*. London Majesty`s Stationery Office,
77. Mennen U (2003) *End-to-side nerve suture in clinical practice*. Hand Surg., 8; (1): 33-42
78. Michon J Amed P Merle M (1990) *Microsurgical repair of peripheral nerve lesions: A study of 150 injuries of the median and ulnar nerves; In: Samii M, ed Peripheral nerve lesions*. Springer-Verlag 343-356, Berlin-Heidelberg
79. Millesi H (1968) *Zum Problem der Überbrückung von Defekten peripherer Nerven. [On the problem of overbridging defects of the peripheral nerves]*. Wien Med.Wochenschr, 118; 182-187
80. Millesi H (1990) *Progress in peripheral nerve reconstruction*. World J.Surg, 14; 733-747

81. Millesi H (1992) *Grundlagen der Nerven Chirurgie. In: Chirurgie der peripheren Nerven.* Urban & Schwarzenberg 3-76, München, Wien, Baltimore
82. Millesi H Meissl G Berger A (1976) *Further experience with interfascicular grafting of the median, ulnar and radial nerves.* J Bone Joint Surg, 58 A; 209-218
83. Miyauchi A Kanje M Danielsen N Dahlin LB (1997) *Role of macrophages in the stimulation and regeneration of sensory nerves by transposed granulation tissue and temporal aspects of the response.* Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg., 31; (1): 17-23
84. Mligiliche N Endo K Okamoto K Fujimoto E and Ide C (2002) *Extracellular matrix of human amnion manufactured into tubes as conduits for peripheral nerve regeneration.* J.Biomed.Mater.Res, 63; 591-600
85. Moberg E (1962) *Criticism and study of methods for examining sensibility in the hand.* Neurology, 8-12
86. Molander H Olsson Y Engkvist O Bowald S and Eriksson I (1982) *Regeneration of peripheral nerve through a polyglactin tube.* Muscle Nerve, 5; 54-57
87. Nigst H (1985) *Zur Geschichte der Nervennaht; In: Bibliothek für Handchirurgie - Nervenwiederherstellung nach traumatischen Läsionen.* 9-17, Stuttgart
88. Noble J Munro CA Prasad VS Midha R (1998) *Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries.* J Trauma, 45; (1): 116-122
89. Ötne L (1962) *Recovery of sensibility and sudometer activity in the hand after nerve suture.* Acta Chir Scand Suppl, 300; 1-1
90. Pierard GE Nikkels-Tassoudji N and Pierard-Franchimont C (1995) *Influence of the test area on the mechanical properties of skin.* Dermatology, 191; (1): 9-15
91. Rennekampff HO Rabbels J Reinhard V Becker ST and Schaller HE (2006) *Comparing the Vancouver Scar Scale With the Cutometer in the Assessment of Donor Site Wounds Treated With Various Dressings in a Randomized Trial.* J Burn Care Res, 27; (3): 345-351
92. Renner A, Cserkuti F, and Hankiss J (2004) *Spätergebnisse der Nerven-transplantation an der oberen Extremität.* Handchir Mikrochir Plast Chir, 36; 13-18
93. Rosado C Pinto P and Rodrigues LM (2005) *Comparative assessment of the performance of two generations of Tewameter®; TM210 and TM300.* International Journal of Cosmetic Science, 27; (4): 237-241

94. Rosberg HE Carlsson KS Höjgard S Lindgren B Lundborg G Dahlin LB (2005) *Injury to the human median and ulnar nerves in the forearm- Analysis of costs for treatment and rehabilitation of 69 patients in southern sweden.* Journal of Hand Surgery [Br.+Eur.], 30B; (1): 35-39
95. Rosén B and Lundborg G (2001) *The long term recovery curve in adults after median or ulnar nerve repair: a reference interval.* Journal of Hand Surgery/British Volume, 26; (3): 196-200
96. Rosén B Lundborg G (2003) *A new model instrument for outcome after nerve repair.* Hand Clin., 19; (3): 463-470
97. Rosén B Lundborg G. (2000) *A model instrument for the documentation of outcome after nerve repair.* J.Hand Surg.[Am.], 25; (3): 535-543
98. Rosén B Lundborg G. (2001) *The long term recovery curve in adults after median or ulnar nerve repair: a reference interval.* Journal of Hand Surgery/British Volume, 26; (3): 196-200
99. Rosenfield J Paksima M (2001) *Peripheral nerve injuries and repair in upper extremity.* Bull Hosp Jt Dis, 60; 3-4
100. Ruijs CJ Jaquet JB Kalmijn S Giele H Hovius SER (2005) *Median and ulnar nerve injuries: A meta-analysis of predictors of motor and sensory recovery after modern microsurgical nerve repair.* Plast Reconstr Surg, 116; 484-484
101. Samii M and Wallenborn R (1972) *Tierexperimentelle Untersuchungen über den Einfluss der Spannung auf den Regenerationserfolg nach Nerven-naht.* Acta Neurochir, 27; 87-110
102. Schaffer JM Cleveland F (1950) *Delayed suture of sensory nerves of the hand.* Ann Surg, 131; 556-563
103. Schulz LA Bohannon RW Morgan WJ (1998) *Normal digit tip values for the Weinstein Enhanced Sensor.* Journal of hand therapy, 11; (3): 200-205
104. Schwann T (1839) *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen.* Berlin
105. Seddon HJ (1975) *Surgical disorders of the peripheral nerves.* 2nd Churchill-Livingstone 242-249, 276-280, 303-314, Edinburgh
106. Seddon HJ (1972) *Surgical disorders of the peripheral nerves.* Williams&Wilkins 299-314, Baltimore
107. Seddon HJ Medawar PB Smith H (1943) *Rate of regeneration of peripheral nerve injuries in man.* Physiol, 102-191

108. Singh R Mechelse K Hop WC Braakman R (1992) *Long term results of transplantation to repair median, ulnar and radial nerve lesions by a microsurgical interfascicular autogenous cable graft technique.* Surg Neurol, 37; 425-431
109. Solway S Beaton DE McConnell S Bombardier C (2002) *The DASH Outcome Measure User's Manual.* 2nd Institute for Work & Health , Toronto
110. Strauch B (2000) *Use of nerve conduits in peripheral nerve repair.* Hand Clin, 15; 123-130
111. Strauch B Ferder M Lovelle-Allen S Moore K Kim DJ Llana J (1996) *Determining the maximal length of a vein conduit used as an interposition graft for nerve regeneration.* J.Reconstr.Microsurg, 12; (8): 521-527
112. Sunderland S (1968) *Nerve and nerve injuries.* Williams & Wilkins, Baltimore
113. Sunderland S (1951) *A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function.* Brain, 74; (4): 491-516
114. Sunderland S (1978) *Nerves and nerves injuries.* Churchill-Livingstone 18, 87-96, 116-124, 232-246, Edinburgh
115. Szabo RM (2001) *Outcomes assessment in hand surgery: when are they meaningful?* J.Hand Surg.[Am.], 26; (6): 993-1002
116. Takema Y Yorimoto Y Kawai M and Imokawa G (1994) *Age-related changes in the elastic properties and thickness of human facial skin .* Br J Dermatol, 131; (5): 641-648
117. Tang JB (1995) *Vein conduits with interposition of nerve tissue for peripheral nerve defects.* J.Reconstr.Microsurg, 11; (1): 21-26
118. Terzis J Faibisoff B and Williams B (1975) *The nerve gap: suture under tension vs. graft.* Plast.Reconstr.Surg, 56; 166-170
119. Tinel J (1915) *Le signe du fourmillement dans les lésions des nerfs périphériques.* La Presse Médicale, 23; 388-389
120. van Zuijlen PP van Trier AJ Vloemans JF Groenevelt F Kreis RW and Middelkoop E (2001) *Graft survival and effectiveness of dermal substitution in burns and reconstructive surgery in a one-stage grafting model.* Plast.Reconstr.Surg, 106; (3): 615-623
121. van Zuijlen PP Vloemans JF van Trier AJ Suijker MH van Unen E Groenevelt F Kreis RW and Middelkoop E (2001) *Dermal substitution in acute burns and reconstructive surgery: a subjective and objective long-term follow-up.* Plast.Reconstr.Surg, 108; (7): 1938-1946

122. Vanderhooft E (2000) *Functional outcomes of nerve grafts for the upper and lower extremities*. Hand Clin., 16; (1): 93-103
123. Vastamäki M Kallio PK Solonen KA (1993) *The results of secondary microsurgical repair of ulnar nerve injury*. Journal of Hand Surgery [Br.+Eur.], 18 B; 323-326
124. Vertruyen MF Burgeon MA Dachy BS Ley RE (1994) *Sensory recovery after microsurgical repair of digital nerves*. Acta chir belg, 94; 325-328
125. Viswanathan V Snehalatha C (2002) *Early recognition of diabetic neuropathy: evaluation of a simple outpatient procedure using thermal perception*. Postgrad Med J, 78; 541-542
126. Viterbo F Trindade JC Hoshino K Mazzoni Neto A (1992) *Latero-terminal neurorrhaphy without removal of the epineural sheath. Experimental study in rats*. Rev Paul Med., 110; (6): 267-275
127. Vloemans AF Soesman AM Suijker M Kreis RW and Middelkoop E (2003) *A randomised clinical trial comparing a hydrocolloid-derived dressing and glycerol preserved allograft skin in the management of partial thickness burns*. Burns, 29; (7): 702-710
128. Waller AV (1850) *Experiments on the section of the glosso-pharyngeal and hypoglossal nerves of the frog, and observations of the alterations produced thereby in the structure of their primitive fibres*. (40): 423-423 Royal Society of London
129. Weber EH (1835) *Über den Tastsinn*. Arch Anat Physiol, 152-159
130. Wiswe I Muller D Vitzthum HE Minda R Lampe J (1987) *Late results following treatment of peripheral nerve injuries of the upper extremity*. Zentralbl NeuroChir, 48; (4): 335-342

## **7 Danksagung**

Herrn Prof. Dr. med. Mailänder danke ich für die Überlassung des Themas und die freundliche Unterstützung der Arbeit in seinem Institut.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Jörn Lohmeyer für die kontinuierlich gute Betreuung sowie für die wissenschaftliche Unterstützung bei der Erstellung der Dissertation und die Motivation bei den nicht immer leichten Phasen während dieser Arbeit.

Frau Dr. König (Institut für Biometrie, UKSH Lübeck) danke ich für die hilfsbereite und kompetente Beratung in statistischen Fragen.

Der größte Dank gebührt meinen Eltern Ingo und Astrid Sommer sowie meinem Bruder Sven Sommer, die mir mit ihrer familiären Unterstützung immer die nötige Kraft für meinen bisherigen Lebensweg gegeben haben.

## 8 Lebenslauf

**Bianca Sommer**



### *Persönliche Informationen*

---

<b>Name:</b>	Bianca Sommer
<b>Geburtsort:</b>	Wuppertal
<b>Geburtsdatum:</b>	04.08.1982
<b>Eltern:</b>	Ingo Sommer, Angestellter  Astrid Sommer, geb. Helduser Sekretärin
<b>Geschwister:</b>	Sven Sommer
<b>Nationalität:</b>	deutsch
<b>Familienstand:</b>	ledig

### *Schulbildung:*

---

<b>08. 1989 – 07. 1993</b>	Städtische Grundschule Wuppertal
<b>08. 1993 – 06. 2002</b>	Städtisches Gymnasium Am Kothen Wuppertal Erlangen der Allgemeinen Hochschulreife

**Studium:**

---

<b>Seit 10. 2002</b>	Medizinstudium an der Universität zu Lübeck  Ärztliche Vorprüfung
<b>Seit 15.10. 2004</b>	Fortführung des Medizinstudiums nach neuer Approbationsordnung
<b>Seit 10. 2005</b>	Beginn der Promotionsarbeit in der Klinik für Plastische Chirurgie der Universität zu Lübeck zum Thema: „ Regenerationsergebnisse nach Nervenverletzungen an der oberen Extremität – Einflussfaktoren und die Optimierung klinischer Untersuchungsmethoden“
<b>08. 2007- 07.2008</b>	Absolvierung des Praktischen Jahres 1.Tertial: Innere (Sana Klinikum Lübeck) 2.Tertial: Chirurgie - Sana Kliniken Lübeck - Karapitiya Hospital Sri Lanka 3.Tertial: Anästhesiologie ( Universität Lübeck)

## 9 Publikationen

### Originalarbeiten

1. Lohmeyer JA, Zimmermann S, Sommer B, Machens HG, Lange T, Mailänder P (2007) Überbrückung peripherer Nervendefekte durch den Einsatz von Nervenröhrchen. *Der Chirurg*, 78; 142-147
2. Lohmeyer JA, Sommer B, Siemers F, Machens HG, Mailänder P (2008) The clinical use of artificial nerve conduits for digital nerve repair: a prospective cohort study and literature review. *Journal of Reconstructive Microsurgery* (angenommen 24/07/2008)

### Poster

Sommer B, Lohmeyer J, Mailänder P, Nervenverletzung der oberen Extremität - Kohortenstudie zur Erfassung von Einflussfaktoren auf das Outcome nach Nervenrekonstruktionen. Doktorandentag des Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, 06.06.2007