

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

Quantifizierung der Veränderung der peripheren  
Mikrozirkulation der Finger nach Anlage eines  
Plexuskatheters

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen

Vorgelegt von  
Hakim-Meibodi, Lara-Elena

2018

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. O. Lotter  
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. A. Straub  
3. Berichterstatter: Professor Dr. H. P. Wendel

Tag der Disputation: 26.09.2018

Für meine Eltern & meine Familie

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>IV</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>V</b>
<b>GRAFIKEN</b>	<b>VIII</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>X</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1. Grundlagen und aktueller Wissensstand</b>	<b>- 3 -</b>
<b>1.1 Die Plexusanästhesie der Hand</b>	<b>- 3 -</b>
1.1.1 Kontraindikationen und Komplikationen	- 4 -
1.1.2 Topographie des Plexus brachialis	- 4 -
1.1.3 Die vegetative Versorgung der Gefäße an der oberen Extremität	- 6 -
<b>1.2 Technik zur Anlage eines Plexuskatheters</b>	<b>- 7 -</b>
1.2.1 Lokalanästhetika	- 9 -
1.2.2 Verwendete Lokalanästhetika	- 12 -
<b>1.3 Die Rhizarthrose</b>	<b>- 14 -</b>
1.3.1 Klinisches Bild, Diagnose	- 14 -
1.3.2 Behandlung und Operation	- 16 -
<b>1.4 Fragestellung und Zielsetzung</b>	<b>- 18 -</b>
<b>2 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>- 20 -</b>
<b>2.1 Patientenkollektiv</b>	<b>- 20 -</b>
<b>2.2 Studienablauf und Datengewinnung</b>	<b>- 21 -</b>
2.2.1 Perioperative Phase/ Messzeitpunkte	- 21 -
2.2.2 Blutleere und Schnitt-Naht-Zeit	- 23 -
2.2.3 Postoperative Phase	- 24 -
2.2.4 Auslassversuch	- 24 -
<b>2.3 Messapparatur</b>	<b>- 25 -</b>
2.3.1 Aufbau und Messprinzip des „Oxygen to see“ (O2C®-Gerät)	- 25 -
2.3.2 Laser-Doppler-Fluss-Verfahren	- 27 -
2.3.3 Weißlichtspektroskopie	- 28 -
2.3.4 Messsonde	- 29 -
<b>2.4 Blutflussparameter</b>	<b>- 30 -</b>
2.4.1 Sauerstoffsättigung des Hämoglobins (SO <sub>2</sub> )	- 30 -
2.4.2 Relative Hämoglobinmenge (rHb)	- 30 -
2.4.3 relativer Blutfluss (Flow)	- 31 -

2.4.4 Blutflussgeschwindigkeit (Velocity)	- 31 -
<b>2.5 Statistische Auswertung</b>	<b>- 31 -</b>
<b>3 ERGEBNISSE</b>	<b>- 33 -</b>
<b>3.1 Patientenkollektiv</b>	<b>- 33 -</b>
<b>3.2 Seitenverteilung</b>	<b>- 34 -</b>
<b>3.3 Plexuskatheter</b>	<b>- 34 -</b>
3.3.1 Verwendete Lokalanästhetika	- 34 -
3.3.2 Mischungsverhältnis der Lokalanästhetika	- 35 -
3.3.3 Plexuskatheter im Verlauf	- 35 -
<b>3.4 Schnitt-Naht-Zeit und Blutleere</b>	<b>- 36 -</b>
<b>3.5 Weitere Messwerte</b>	<b>- 37 -</b>
3.5.1 Raumtemperatur	- 37 -
3.5.2 Körpertemperatur	- 37 -
3.5.3 Blutdruck und Herzfrequenz	- 39 -
<b>3.6 Blutflussparameter</b>	<b>- 40 -</b>
3.6.1 SO <sub>2</sub> absolut	- 40 -
3.6.2 SO <sub>2</sub> relativ	- 41 -
3.6.3 rHb absolut	- 44 -
3.6.4 rHb relativ	- 45 -
3.6.5 Flow absolut	- 48 -
3.6.6 Flow relativ	- 49 -
3.6.7 Velocity absolut	- 52 -
3.6.8 Velocity relativ	- 53 -
3.6.9 Übersichten	- 56 -
<b>3.7 Auslassversuch nach 24 Stunden</b>	<b>- 58 -</b>
3.7.1 absolute Werte	- 58 -
3.7.2 relative Werte	- 60 -
<b>4 DISKUSSION</b>	<b>- 63 -</b>
<b>4.1 Blutflussparameter</b>	<b>- 67 -</b>
4.1.1 SO <sub>2</sub>	- 67 -
4.1.2 rHb	- 68 -
4.1.3 Flow	- 69 -
4.1.4 Velocity	- 69 -
<b>4.2 Abschließende Beurteilung</b>	<b>- 70 -</b>
<b>4.3 Limitierungen, zukünftige Studie</b>	<b>- 72 -</b>
<b>4.4 Klinische Relevanz</b>	<b>- 75 -</b>
<b>4.5 Bezug zur Fragestellung (s. 1.4)</b>	<b>- 76 -</b>
<b>4.6 Schlussfolgerung</b>	<b>- 76 -</b>

<b>5 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>- 78 -</b>
<b>6 LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>- 80 -</b>
<b>7 ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL</b>	<b>- 86 -</b>
<b>8 VERÖFFENTLICHUNG</b>	<b>- 88 -</b>
<b>9 ANHANG</b>	<b>- 89 -</b>
9.1 Plexuskathetermessung	- 89 -
9.2 Einverständniserklärung	- 92 -
<b>10 DANKSAGUNG</b>	<b>- 96 -</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 „ÜBERSICHT ÜBER DIE ANATOMIE DES PLEXUS BRACHIALIS“ [27] .....	- 5 -
ABBILDUNG 2 ANATOMISCHE LANDMARKEN ZUR ORIENTIERUNG VOR ANLAGE EINES PLEXUSKATHETERS [62].....	- 6 -
ABBILDUNG 3 CONTIPLEX® D KATHETER-SET: 1) KATHETER, 2) KANÜLE, 3) PINPAD, 4) FILTER, 5) KATHETERKUPPLUNG, 6) SPRITZE 5 ML .....	- 8 -
ABBILDUNG 4 BEISPIEL FÜR SCHALLKOPF- UND NADELHALTUNG BEIM AXILLÄREN ZUGANG [63].....	- 8 -
ABBILDUNG 5 ANÄSTHESIEAUSBREITUNG AN DER OBEREN EXTREMITÄT NACH ANLAGE EINES PLEXUSKATHETERS [14].....	- 9 -
ABBILDUNG 6 STRUKTURFORMEL MEPIVACAIN (SCANDICAIN®)[14].....	- 13 -
ABBILDUNG 7 STRUKTURFORMEL ROPIVACAIN® [14].....	- 13 -
ABBILDUNG 8 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES POLLEX ADDUCTUS [59] .....	- 15 -
ABBILDUNG 9 RÖNTGENBEFUND DER SATTELGELENKSARTHROSE. ZU SEHEN IST EINE GELENKSPALTVERSCHMÄLERUNG UND SUBLUXATION DES OS METACARPALE I, SOWIE SUBCHONDRALE SKLEROSIERUNG [58].....	- 15 -
ABBILDUNG 10 KLINISCHE DARSTELLUNG DER ADDUKTIONSFEBLSTELLUNG BEI EINER RHIZARTHROSE IM FORTGESCHRITTENEN STADIUM [58].....	- 16 -
ABBILDUNG 11 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER BOGENFÖRMIGEN SCHNITTFÜHRUNG BEI HAUTINZISION ÜBER DEM DAUMENSATTELGELENK [58]-	17 -
ABBILDUNG 12 DAS O2C®-GERÄT DER FIRMA LEA MEDIZINTECHNIK, GIEßEN. ZU SEHEN SIND DER MONITOR MIT RECHNER, DIE TASTATUR, DIE SONDE UND DER FUßSCHALTER. ....	- 26 -
ABBILDUNG 13 WEIßLICHT UND LASERLICHT IM O2C®-GERÄT. LICHTINFALL UND REFLEKTION DURCH DAS MESSGEWEBE HINDURCH UND ZUR OBERFLÄCHE ZURÜCK [77]. ....	- 28 -
ABBILDUNG 14 FLACHSONDE LF-2.....	- 29 -
ABBILDUNG 15 APPLIZIERTE FLACHSONDE LF-2.....	- 30 -

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 ÜBERSICHT ÜBER DIE VERWENDETEN LOKALANÄSTHETIKA IM PLEXUSKATHETER, DEREN EMPFOHLENE DOSIERUNG (KONZENTRATION [%], SUBSTITUIERTES VOLUMEN [ML]) UND WIRKEINTRITT [MIN] UND DIE WIRKDAUER [MIN] [14] .....	- 12 -
TABELLE 2 RÖNTGENOLOGISCHE ZEICHEN DER RHIZARTHROSE NACH EATON UND LITTLER [61].....	- 16 -
TABELLE 3 EPIDEMIOLOGISCHE DATEN [81, 82] .....	- 33 -
TABELLE 4: FÜR DEN PLEXUSKATHETER VERWENDETE LOKALANÄSTHETIKA [81, 82] ...	34 -
TABELLE 5 MISCHVERHÄLTNIS DER LOKALNÄSTHETIKA .....	- 35 -
TABELLE 6 SCHNITTNAHTZEIT UND BLUTLEERE.....	- 36 -
TABELLE 7 VERLAUF DER DURCHSCHNITTLICHEN KÖRPERTEMPERATUR [°C] DER PATIENTEN ZU DEN MESSZEITPUNKTEN .....	- 38 -
TABELLE 8 MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DER SAUERSTOFFSÄTTIGUNG DES HÄMOGLOBINS (SO <sub>2</sub> IN [%]) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP;.....	- 41 -
TABELLE 9 PROZENTUALE MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN DER RELATIV GEMESSENEN WERTE DER SAUERSTOFFSÄTTIGUNG DES HÄMOGLOBINS (SO <sub>2</sub> ) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE (P<0.05 GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP; [81, 82]-	43 -
-	
TABELLE 10 MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DER RELATIVEN HÄMOGLOBINMENGE (RHb IN [AU]) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP;-	45 -



TABELLE 11 PROZENTUALE MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN DER RELATIVEN HÄMOGLOBINMENGE (RHb) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE ( $p < 0.05$  GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP; [81, 82]..... - 47 -

TABELLE 12 MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DES RELATIVEN BLUTFLUSSES (FLOW IN [AU]) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP;- 49 -

TABELLE 13 PROZENTUALE MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN DES RELATIVEN BLUTFLUSSES (FLOW) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE ( $p < 0.05$  GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP; [81, 82]..... - 51 -

TABELLE 14 MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DER BLUTFLUSSGESCHWINDIGKEIT (VELOCITY IN [AU]) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP;..... - 53 -

TABELLE 15 PROZENTUALE MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN DER BLUTFLUSSGESCHWINDIGKEIT (VELOCITY) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE ( $p < 0.05$  GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP; [81, 82] ..... - 55 -

TABELLE 16 MESSWERTE DES AUSLASSVERSUCHES (BESCHRIEBEN IN 2.2.4). MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DER SO<sub>2</sub> AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP; ..... - 59 -

TABELLE 17 MESSWERTE DES AUSLASSVERSUCHES (BESCHRIEBEN IN 2.2.4). MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DER RHb AN DER

PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); AUSGANGSWERT (AW).....	- 59 -
TABELLE 18 MESSWERTE DES AUSLASSVERSUCHES (BESCHRIEBEN IN 2.2.4). MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DER VELOCITY AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); AUSGANGSWERT (AW).....	- 60 -
TABELLE 19 MESSWERTE DES AUSLASSVERSUCHES (BESCHRIEBEN IN 2.2.4). MITTELWERT (MW), STANDARDABWEICHUNG (STABW), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER ABSOLUT GEMESSENEN WERTE DES FLOW AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K); AUSGANGSWERT (AW).....	- 60 -
TABELLE 20 PROZENTUALE MITTELWERTE DER SO <sub>2</sub> AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE (P<0.05 GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP.....	- 61 -
TABELLE 21 PROZENTUALE MITTELWERTE DER rHb AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE (P<0.05 GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP.....	- 61 -
TABELLE 22 PROZENTUALE MITTELWERTE DES FLOW AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE (P<0.05 GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP.....	- 62 -
TABELLE 23 PROZENTUALE MITTELWERTE DER VELOCITY AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) UND P-WERTE (P<0.05 GILT ALS SIGNIFIKANT; SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; DIE WERTE ENTSTAMMEN DER TIEFENMESSUNG: DEEP.....	- 62 -
TABELLE 24 VERKÜRZTE ÜBERSICHTSTABELLE DES LITERATURVERGLEICHS .....	- 66 -

## Grafiken

GRAFIK 1 MESSZEITPUNKTE; 1. DUNKELROT: AUSGANGSWERT, 2. ROT: NACH LEGEN DES PLEXUSKATHETERS, 3. GELB: NACH DER OP, 4.-9. GRÜN: MESSUNG ALLE 2 STUNDEN, 10.-13. BLAU: MESSUNG ALLE 12 STUNDEN.....	- 23 -
GRAFIK 2 MESSZEITPUNKTE BEIM AUSLASSVERSUCH: AV1. DUNKELBLAU: 24H POSTOPERATIV, AV2.-AV5. HELLBLAU: STÜNDLICHE MESSUNG NACH DEM AUSLASSVERSUCH.....	- 25 -
GRAFIK 3 VERWENDETE [ML] ROPIVACAIN® IM PLEXUSKATHETER IM VERLAUF ....	- 36 -
GRAFIK 4 DURCHSCHNITTLICHE RAUMTEMPERATUR [°C] .....	- 37 -
GRAFIK 5 DURCHSCHNITTLICHE KÖRPERTEMPERATUR DER PATIENTEN IN [°C] ....	- 38 -
GRAFIK 6 DURCHSCHNITTLICHER BLUTDRUCK IN [MMHG] IM MESSVERLAUF .....	- 39 -
GRAFIK 7 HERZFREQUENZ IN [BPM] IM MESSVERLAUF .....	- 39 -
GRAFIK 8 RELATIVER MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNG DER SO <sub>2</sub> DEEP IM VERLAUF; PLEXUSHAND (PX), KONTROLLHAND (K); AUSGANGSWERT (AW) [81, 82].....	- 42 -
GRAFIK 9 PROZENTUALE STEIGERUNG DES MITTELWERTS ZUM AUSGANGSWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER SAUERSTOFFSÄTTIGUNG DES HÄMOGLOBINS AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K), SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; AUSGANGSWERT (AW) .....	- 44 -
GRAFIK 10 RELATIVER MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER rHb IM VERLAUF; PLEXUSHAND (PX), KONTROLLHAND (K); AUSGANGSWERT (AW) [81, 82].....	- 46 -
GRAFIK 11 PROZENTUALE STEIGERUNG DES MITTELWERTS ZUM AUSGANGSWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER RELATIVEN HÄMOGLOBINMENGE AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K), SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; AUSGANGSWERT (AW) .....	- 48 -
GRAFIK 12 RELATIVER MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG DES FLOW IM VERLAUF; PLEXUSHAND (PX), KONTROLLHAND (K); AUSGANGSWERT (AW) [81, 82].....	- 50 -
GRAFIK 13 PROZENTUALE STEIGERUNG DES MITTELWERTS ZUM AUSGANGSWERT UND STANDARDABWEICHUNG DES RELATIVEN BLUTFLUSSES (FLOW) AN DER	

PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K), SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; AUSGANGSWERT (AW) .....	- 52 -
GRAFIK 14 RELATIVER MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER VELOCITY IM VERLAUF; PLEXUSHAND (PX), KONTROLLHAND (K); AUSGANGSWERT (AW) [81, 82] .....	- 54 -
GRAFIK 15 PROZENTUALE STEIGERUNG DES MITTELWERTS ZUM AUSGANGSWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER BLUTFLUSSGESCHWINDIGKEIT (VELOCITY) AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K), SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE WURDEN FARBIG HINTERLEGT; AUSGANGSWERT (AW) .....	- 56 -
GRAFIK 16 PROZENTUALE STEIGERUNG UND STANDARDABWEICHUNG ALLER PARAMETER IN DER ÜBERSICHT ZUM ZEITPUNKT NACH ANLAGE DES PLEXUSKATHETERS AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) ZUM AUSGANGSWERT (0,00% ENTSpricht HIER DEM RELATIVEN AUSGANGSWERT VON 100%) .....	- 57 -
GRAFIK 17 PROZENTUALE STEIGERUNG UND STANDARDABWEICHUNG ZUM ZEITPUNKT NACH DER OP AN DER PLEXUSHAND (PX) IM VERGLEICH MIT DER KONTROLLHAND (K) ZUM AUSGANGSWERT (0,00% ENTSpricht HIER DEM RELATIVEN AUSGANGSWERT VON 100%) .....	- 58 -

# Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
Anästhesist	Anästhesist/in
AU	Arbitrary units
AV	Auslassversuch
AW	Ausgangswert
BMI	Body-Maß-Index in [kg/m <sup>2</sup> ]
bpm	Beats per minute/ Herzschläge pro Minute
cm	Zentimeter
D	deep
et al.	und andere
Flow	relativer Blutfluss in der Mikrozirkulation in [AU]
Hb	Hämoglobinkonzentration [mmol/l]
HF	Herzfrequenz [min <sup>-1</sup> ]
h	Stunde
K	Kontrollhand
kg	Kilogramm
LA	Lokalanästhetikum
M.	Musculus
Max	Maximum
MC	Metakarpalknochen
min	Minuten
Min	Minimum
ml	Milliliter
N.	Nervus
N	Anzahl
Nr.	Nummer
O2C®-Gerät	engl. Oxygen to See®, LEA, Medizintechnik, Gießen
OP	Operation
Patient	Patient/in
Plexushand	Hand bzw. Arm an den der Plexuskatheter angelegt wurde
PX	Plexushand: Hand bzw. Arm an den der Plexuskatheter angelegt wurde
R.	Ramus
rHb	Relative Hämoglobinmenge in [AU]
Ropivacain®	Ropivacainhydrochlorid Kabi 7,5 mg/ml Injektionslösung, Fresenius Kabi
S	superficial
s.	siehe
Scandicain®	Scandicain® 1% Fl. 50ml, AstraZeneca
STABW	Standardabweichung
SO2	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in [%]
Temp.	Temperatur [°C]
V.	Vena
Velocity	Blutflussgeschwindigkeit in [AU]
vs.	versus
z. B.	zum Beispiel

# 1 Einleitung

Nach Amputationsverletzungen von Fingern, Teilen der Hand oder der ganzen Hand wird im klinischen Alltag individuell entschieden, ob eine Stumpfbildung durchgeführt werden muss oder replantiert werden kann. Diese Entscheidung ist abhängig vom Zustand des Amputats, von der Bedeutsamkeit des Fingers (vgl. Kleinfinger und Daumen), von der Gebrauchsfähigkeit und Geschicklichkeit der Resthand, vom Beruf und von den möglichen Nebenerkrankungen des Patienten [1-3]. Für den Fall, dass eine Replantation möglich ist, muss zunächst das nekrotische Gewebe operativ entfernt und debridiert werden. Nach erfolgreicher Reposition und Fixierung der Knochen sowie Naht der Streck- und Beugesehnen werden mikrochirurgisch Arterien, Venen und Nerven rekonstruiert, um schnellstmöglich eine Reperfusion des Amputats zu erreichen.[3] So bestehen gute Chancen einer zufriedenstellenden Rekonstruktion und dadurch optimale Voraussetzungen für die nachfolgende Therapie mit dem Ziel der bestmöglichen Wiederherstellung der Handfunktion.

In der unmittelbar postoperativen Phase ist es deshalb wichtig, die Durchblutungssituation des replantierten Fingers engmaschig zu kontrollieren, um bei Komplikationen frühzeitig intervenieren zu können und um möglichst optimale Bedingungen für den Heilungsprozess des replantierten Gewebes zu schaffen.

Häufige Frühkomplikationen von Replantationen sind vor allem Anastomosenkomplikationen, wie z.B. venöse Thrombosen, arterio-venöse Fisteln und nachfolgend Nekrosen, sowie Infektionen. Durch einen Vasospasmus im replantierten Gewebe kann es zur Minderperfusion und dadurch zum nekrotischen Zelltod mit Verlust des Replantats kommen. [3] Um Gefäßspasmen zu vermeiden, sollte auf eine warme Umgebungstemperatur geachtet und möglichst wenig am Replantat manipuliert werden. Der Arm sollte über Herzhöhe gelagert und weich gebettet werden. Um die Durchblungsverhältnisse zu überprüfen, wird stündlich die Temperatur, der Turgor und die Rekapillarisation durch Druck auf den Fingernagel kontrolliert.

Zur Anästhesie und Analgesie während und nach der Operation wird Patienten mit Amputationsverletzungen an der Hand üblicherweise präoperativ ein axillärer Plexuskatheter gelegt. [3]

Schon in den 80er Jahren wurde bei der schmerztherapeutischen Behandlung mit einem Plexuskatheter der Nebeneffekt einer Perfusionssteigerung der Mikrozirkulation im peripheren Gewebe beschrieben [4-7]. Durch Sympathikolyse mittels des applizierten Lokalanästhetikums konnte der periphere Widerstand reduziert werden, und es kam zur Vasodilatation [8]. Diesen Effekt macht man sich heute zu Nutze, um die Perfusion bei Minderdurchblutung der oberen Extremität durch die Anlage eines Plexuskatheter zu verbessern [4, 7, 9-12].

In der vorliegenden Arbeit soll der bereits bekannte Effekt der Perfusionssteigerung nach Anlage eines Plexuskatheters verifiziert und erstmalig quantifiziert werden. Des Weiteren wird die Mikrozirkulation im Langzeitverlauf beobachtet. Die Untersuchung erfolgt anhand eines standardisierten klinischen Modells, um den Effekt mittels verschiedener Parameter zu untersuchen und zu belegen. Hierzu bedient sich diese Studie eines Patientenkollektivs, bei dem eine Operation zur Behandlung der Rhizarthrose durchgeführt wird.

Bei diesem Operationsverfahren wird in der BG Unfallklinik Tübingen die Anästhesie standardmäßig, wie auch bei Replantationen, mit Hilfe eines Plexuskatheters durchgeführt. Zudem beschränkt sich bei dieser Operation das Operationsgebiet auf das Daumensattelgelenk, und es ist somit möglich, die Auswirkung des Plexuskatheters außerhalb des Operationsgebiets an einem der anderen Finger unabhängig vom Operationstrauma zu überprüfen. Die Patienten sind postoperativen durchschnittlich drei Tage stationär in Behandlung, weshalb die Auswirkung des Plexuskatheters über diesen Zeitraum erfasst werden kann. Der standardisierte Ablauf bei Operationen der Rhizarthrose und die aufgezeigten Parallelen in der anästhesiologischen Versorgung von Patienten mit einer Replantation ermöglichen es, das oben genannte Patientenkollektiv als „standardisiertes Modell“ zur Untersuchung der Veränderung der peripheren Perfusion an den Fingern durch den Einsatz eines Plexuskatheters zu verwenden.

## 1. Grundlagen und aktueller Wissensstand

### 1.1 Die Plexusanästhesie der Hand

Operative Eingriffe an der Hand werden häufig unter single-shot Plexusanästhesie durchgeführt. Die Punktionsstelle kann dabei sowohl supra- als auch infraclaviculär und axillär gewählt werden. Ein Plexuskatheter wird normalerweise auch im Zuge der Schmerztherapie eingesetzt, um eine langanhaltende und schnell einstellbare Schmerzlinderung zu erzielen [7, 9, 10, 12-29]. Diese periphere Leitungsanästhesie ist ein technisch standardisiert durchführbares und risikoarmes Verfahren zur Regionalanästhesie, um eine adäquate Analgesie während und nach der Operation zu gewährleisten [7, 9, 18, 28-34]. Die Technik hat eine hohe Erfolgsrate und ist komplikationsarm. Indiziert ist die axilläre Plexusanästhesie bei allen chirurgischen Eingriffen an der Hand, am Unterarm sowie am Ellenbogen [7, 10, 18, 25, 27-29, 32, 35-37].

Je nach Patient und Krankheitsbild wird zwischen der Verwendung einer Single-Shot-Technik und einem Dauerkatheter zur kontinuierlichen Plexusblockade unterschieden. Bei der Single-Shot-Technik wird das Anästhetikum einmalig appliziert. Dauerkatheter werden hauptsächlich im Zuge der postoperativen Schmerztherapie eingesetzt, wobei kontinuierlich ein Anästhetikum über ein Kathetersystem injiziert wird [12].

In der BG Unfallklinik Tübingen wird die Plexusblockade meist axillär und ultraschallgesteuert durchgeführt [38]. Diese Methode weist die besten klinischen Ergebnisse auf und birgt das geringste Risiko, benachbarte Strukturen zu verletzen oder neurologische Schäden zu verursachen. Der Plexuskatheter wird unter kontinuierlicher ultraschallgesteuerter Visualisierung gelegt [39]. Die sonographische Punktionsstechnik ermöglicht ein zielgenaues Detektieren der nervalen Strukturen (N. medianus, N. radialis, N. ulnaris) und dadurch eine angepasste Applikation des Lokalanästhetikums. Dadurch ist eine Reduktion der in Summe applizierten Lokalanästhetikamenge möglich [22, 38-53].

Durch das Lokalanästhetikum werden die Nervenstrukturen distal der Injektionsstelle gezielt blockiert. Die Medikamentenwahl und die Verabreichungsmenge obliegen dem Anästhesisten und richten sich nach der



Operationsdauer und –art. Hier kommt meist eine Mischung von mittel- und langwirksamen Lokalanästhetika zur Anwendung (s. 1.2.2).

In der Literatur wurde über eine, als mögliche Nebenwirkung beobachtete Perfusionssteigerung in den Fingern der betroffenen Extremität, berichtet [4-6, 9, 10, 54-56]. Diese Perfusionssteigerung entsteht Endotehl-unabhängig durch den vaskulär spasmolytischen Effekt der applizierten Lokalanästhetika und führt zu einem Anstieg des Blutflusses und zu einer Zunahme des Gefäßdurchmessers bedingt durch eine Sympathikolyse [6, 8, 54, 55, 57-59].

#### 1.1.1 Kontraindikationen und Komplikationen

Der Plexuskatheter darf nicht gelegt werden, wenn eine Infektion oder Entzündung im Bereich der Punktionsstelle zu erkennen ist.

Auch bei einer manifesten Koagulopathie sollte diese Art der Regionalanästhesie nicht angewandt werden [14, 15, 26]. Weitere Kontraindikationen sind Allergien oder Überempfindlichkeiten, neurologische Erkrankungen (z.B. Multiple Sklerose), vorangegangene Schädigungen des Plexus brachialis, Lymphangitis oder der Zustand nach Lymphadenektomie. Komplikationen, die nach Lokalanästhetikagabe auftreten können, sind eine Neurotoxizität sowie eine allergische Reaktion auf das Anästhetikum selbst oder auf seine Konservierungsmittel. Zudem kann es durch eine intravasale Injektion zu systemisch-toxischen Reaktionen, zu zerebralen Krämpfen bis hin zu kardiovaskulären Störungen kommen. Komplikationen sind insgesamt eher selten. Eine intravasale Verabreichung kann durch negative Aspiration vor Applikation vermieden werden. [27, 60].

#### 1.1.2 Topographie des Plexus brachialis

Die meisten peripheren Nerven sind gemischte Nerven und enthalten sowohl motorische, als auch sensible Nervenfasern, denen sich auch sympathische Fasern anlagern [15]. Der Plexus brachialis ist ein Nervengeflecht, welches die obere Extremität versorgt. Er tritt aus den Rami ventrales der Spinalnerven C5 bis Th1 aus dem Spinalkanal aus und bildet den Truncus superior (C5 + C6), den Truncus medius (C7) und den Truncus inferior (C8 + Th1). Gemeinsam mit der

A. und V. subclavia treten die Trunci im lateralen Halsdreieck durch die Scalenuslücke, die vom vorderen und hinteren Scalenusmuskel gebildet wird. Hier zweigen bereits 7 rein motorische Nerven zur Innervation der Schultergürtelmuskulatur ab. Nach dem Durchtritt durch die Scalenuslücke ziehen die Trunci hinter der Clavicula in die Axilla. Dort tauschen sie Fasern aus und teilen sich in den Fasciulus lateralis (C5-7), den Fasciulus medialis (C8-Th1) und den Fasciulus posterior (C5-Th1). Von den Fasciculi gehen die folgenden Nerven ab: N. radialis, N. medianus, N. ulnaris, N. musculocutaneus, N. axillaris, N. cutaneus antebrachii medialis und N. cutaneus brachii medialis [16, 27, 61].

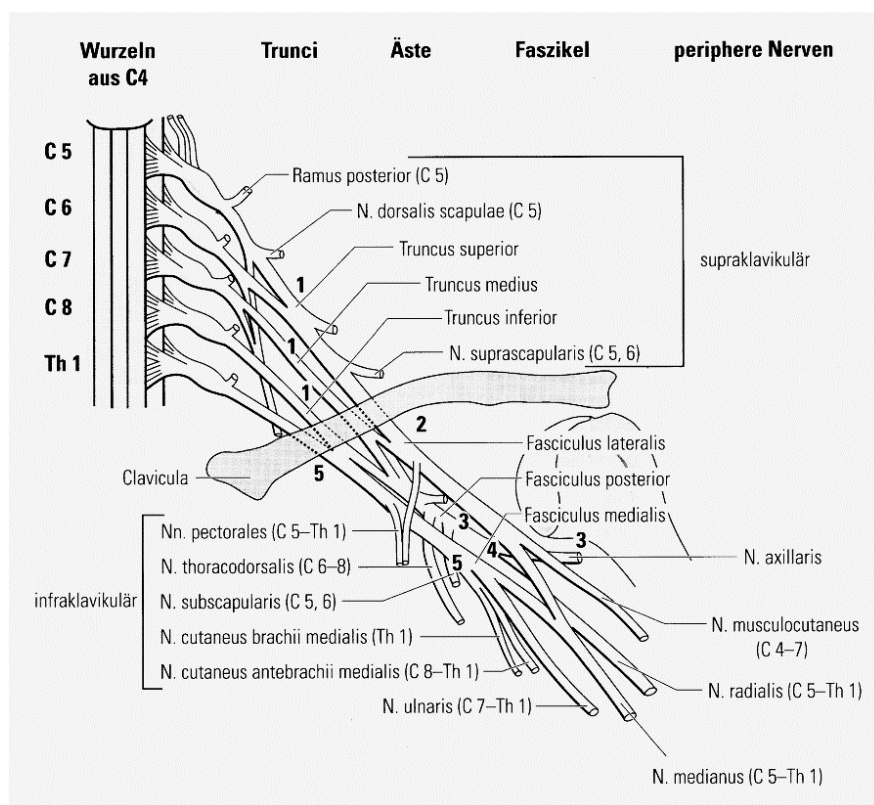


Abbildung 1 „Übersicht über die Anatomie des Plexus brachialis“ [27]

Zur erfolgreichen Anlage eines Plexuskatheters orientiert man sich an der gut tastbaren A. axillaris, die somit als Leitstruktur genutzt wird [37]. Diese ist mittels Sonographie in der Regel deutlich darstellbar. Auf Grund dessen hat sich dieses Regionalanästhesieverfahren etabliert. Die A. und V. axillaris werden zusammen

mit dem Plexus brachialis vom Durchtritt durch die Scalenuslücke bis in die Axilla von einer derben Bindegewebshülle umgeben. Die Gefäßnervenscheide ist von bindegewebigen Septen durchzogen, durch welche sich das injizierte Lokalanästhetikum ausbreiten kann [14, 16, 61] Für die Plexusblockade werden der N. medianus, der N. radialis und der N. ulnaris sonographisch erfasst und mit dem Lokalanästhetikum umspritzt. Der N. axillaris zweigt vor der Gefäßnervenscheide oberhalb der Axilla ab und wird bei der Plexusanästhesie nicht blockiert. Der N. musculocutaneus verlässt die Gefäßnervenscheide weiter proximal und muss gesondert blockiert werden.



Abbildung 2 Anatomische Landmarken zur Orientierung vor Anlage eines Plexuskatheters [62]

### 1.1.3 Die vegetative Versorgung der Gefäße an der oberen Extremität

Die vegetative Versorgung der Gefäße an den oberen Extremitäten erfolgt ausschließlich durch sympathische Fasern. Der Parasympathikus hat keine Nervenfasern, die an den Gefäßen enden, und somit keinen Einfluss auf die Regulation der Gefäßweite. Der Sympathikus hingegen reguliert über Rezeptoren in der Tunica media der Arteriolen die Weite der Gefäße.

Der Sympathikus hat sein erstes präganglionäres Neuron im Seitenhorn des Rückenmarks. Seine Axone verlaufen über den R. communicans albus ins Grenzstrangganglion. Hier erfolgt die Umschaltung auf das zweite Neuron. Durch den R. communicans griseus ziehen die sympathischen Fasern zum Spinalnerv zurück. Anschließend ziehen die sympathischen Axone gemeinsam mit den somatischen Fasern des N. spinalis in das periphere Innervationsgebiet.

Die Gefäßweite wird zudem über humorale Regulatoren, wie beispielsweise über verschiedene Rezeptoren, reguliert. Mittels Noradrenalin, das an Alpha-1-Rezeptoren bindet, wird die glatte Muskulatur in den Arteriolen kontrahiert, und es kommt zur Vasokonstriktion. Über Beta-2-Rezeptoren hingegen kommt es zur Vasodilatation [16].

## 1.2 Technik zur Anlage eines Plexuskatheters

Präoperativ wird zunächst ein intravenöser Zugang gelegt. Zur Überwachung des Patienten werden EKG, Blutdruck und die Pulsoxymetrie abgeleitet. Es besteht die Möglichkeit, den Patienten zusätzlich zu sedieren, beispielsweise mit Midazolam (Dormicum®). Bei dem auf dem Rücken liegenden Patienten wird der Arm in der Schulter auf 90° abduziert gelagert. Danach wird die Haut rund um die Einstichstelle desinfiziert und mit einem sterilen Lochtuch abgedeckt.

In der BG Unfallklinik Tübingen wird zur Katheterisierung ein Contiplex® D Set der Firma Braun verwendet. Dieses ist in Abb. 3 zu sehen.

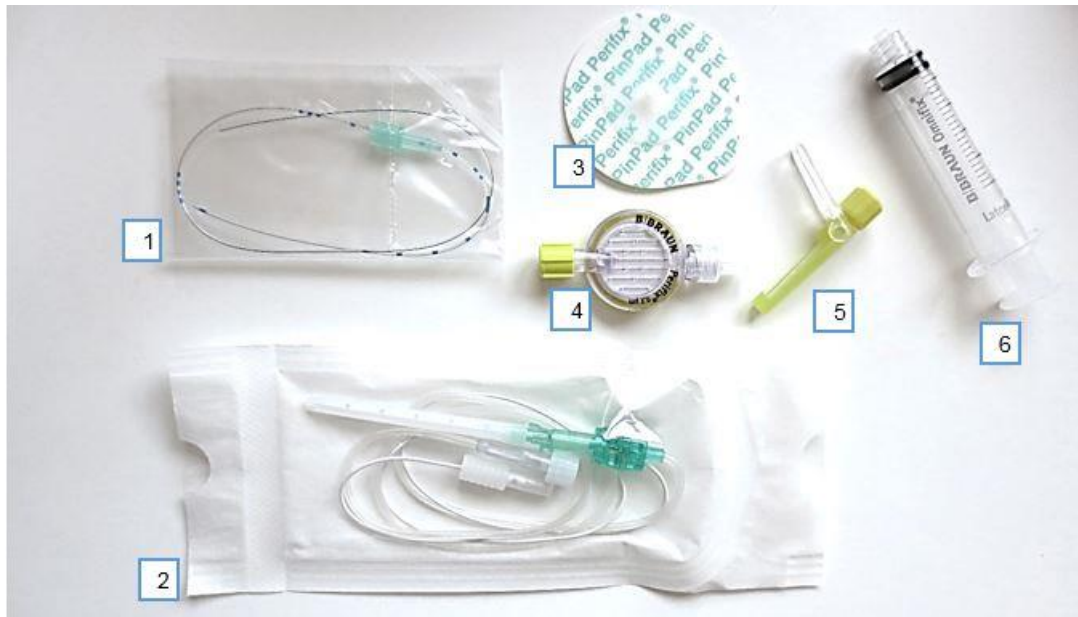


Abbildung 3 Contiplex® D Katheter-Set: 1) Katheter, 2) Kanüle, 3) PinPad, 4) Filter, 5) Katheterkupplung, 6) Spritze 5 ml

Anschließend wird die A. axillaris palpirt und mit Hilfe eines Ultraschallgerätes dargestellt. Der Anästhesist setzt nun mit einem Lokalanästhetikum eine Hautquaddel im Punktionsgebiet. Die Einstichstelle der Kanüle wird oberhalb der A. axillaris zwischen Arterie und dem M. coracobrachialis gewählt. Punktiert wird in einem Winkel von ca. 30 ° zur Hautoberfläche. Die Kanüle wird nun ultraschallgesteuert und unter Sicht durch die Gefäßnervenscheide hindurch zum Zielnerv vorgeschoben.

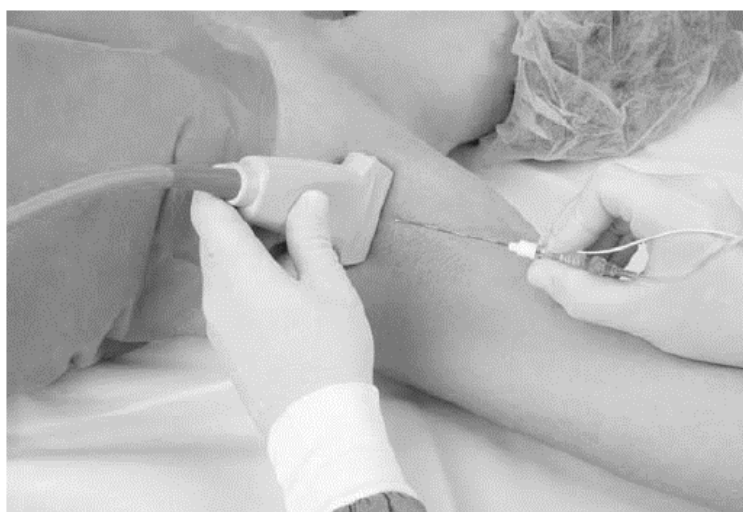


Abbildung 4 Beispiel für Schallkopf- und Nadelhaltung beim axillären Zugang [63]

Beim Durchdringen der dicken Gefäßnervenscheide kommt es zum Widerstandsverlust, dem so genannten Faszienclick. Es sollte auf mögliche Parästhesien geachtet werden, um Nervenschädigungen zu vermeiden. Nach einer negativen Aspirationskontrolle werden nacheinander die Nerven mit dem Lokalanästhetikum umspült. Bei der so genannten Mehrfachinjektionstechnik werden der N. medianus, der N. radialis und der N. ulnaris nacheinander sowie der N. musculocutaneus gesondert blockiert. Für eine komplette Plexusblockade sind beim Erwachsenen ca. 30-40ml Lokalanästhetikum nötig [27, 64]. Anschließend wird der Dauerkatheter gelegt und mit der Katheterkupplung und dem Filter verbunden. Zuletzt sollte der Katheter an der Austrittsstelle auf der Haut fixiert, und der Filter mittels PinPad ohne Zug am Katheter im Brustbereich befestigt werden. Die Abbildung 5 zeigt das Maß der Anästhesieausbreitung durch den Plexuskatheter. Der blockierte Arm muss bis zum Abklingen der Anästhesie sicher gelagert werden [12-15, 64, 65].

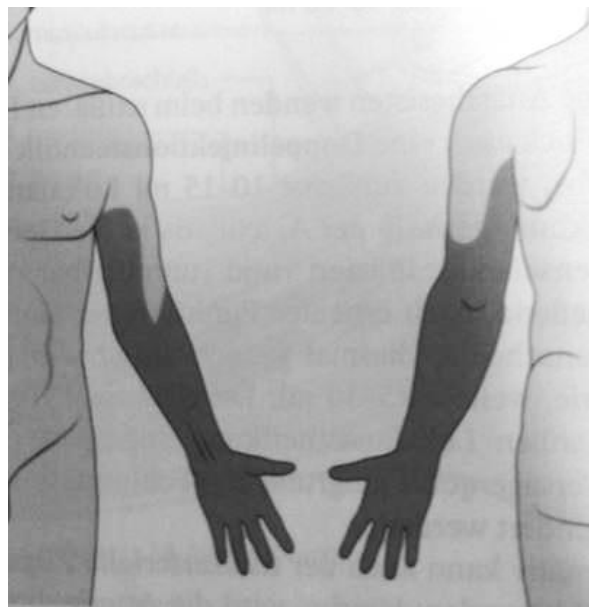


Abbildung 5 Anästhesieausbreitung an der oberen Extremität nach Anlage eines Plexuskatheters [14]

### 1.2.1 Lokalanästhetika

Lokalanästhetika werden nach ihrer chemischen Struktur eingeteilt. Sie alle haben eine ähnliche Molekularstruktur und sind schlecht wasserlöslich. Sie bestehen aus drei Anteilen: einer hydrophilen Aminogruppe mit einer

Alkylzwischenkette und einem lipophilen aromatischen Rest. Je nachdem, ob die Zwischenkette eine Ester- oder eine Säureamidbindung enthält, spricht man von Aminoestern oder Aminoamiden.

Insgesamt sind Lokalanästhetika leicht basisch. Im klinischen Alltag werden fast ausschließlich Aminoamide verwendet (z.B. Mepivacain, Lidocain, Bupivacain und Ropivacain®). Sie sind im Vergleich zu Aminoestern bei längerer Halbwertszeit stärker wirksam. Sie sind bei pH-Veränderungen stabiler und werden nicht im Plasma gespalten, sondern hepatisch metabolisiert. Die verschiedenen Aminoamide werden nach ihrer Wirkstärke, dem Wirkungseintritt und der Wirkdauer sowie ihrer Toxizität unterschieden. Durch den ähnlichen Aufbau in ihrer Struktur haben diese Lokalanästhetika eine vergleichbare Wirkungsweise. Lokalanästhetika können in dissoziierter/gebundener Form und nicht dissoziierter/nicht gebundener Form vorliegen. Nur die dissoziierte Form ist im Zielgewebe wirksam, da so die lipidhaltigen Bindegewebsstrukturen, die den Nerv umgeben, überwunden werden können. [13-15, 17, 65]

Die Eigenschaften der einzelnen Lokalanästhetika sind abhängig von der Lipidlöslichkeit, dem Ionisationsgrad und der Proteinbindung des Medikaments. Die Lipidlöslichkeit bestimmt die Fähigkeit des Aminoamids, die Lipidmembran des Nervs zu überwinden. Je höher die Lipidlöslichkeit, desto höher ist die anästhetische Potenz des Lokalanästhetikums. Der Ionisationsgrad ist abhängig vom pH-Wert des Mediums und der Dissoziationskonstante  $pK_a$  der chemischen Verbindung des Lokalanästhetikums. Je niedriger der  $pK_a$ -Wert des Lokalanästhetikums ist, desto schneller ist der Wirkungseintritt. Bedingt ist dies dadurch, dass mehr nicht-dissoziierte Basenformen vorliegen. Wegen der schlechten Löslichkeit in Wasser werden Lokalanästhetika meist in einer Verbindung mit Hydrochloridsalzen verabreicht. Aminoamide haben eine hohe Bindungsfähigkeit an Glykoprotein und eine geringere Bindungsfähigkeit an Albumin. Bei der Proteinbindung tritt ein Sättigungseffekt auf. Ist eine Sättigung erreicht, liegen bei höherer Konzentration des Lokalanästhetikums vermehrt die ungebundenen Basenformen vor. Je mehr Proteinbindungen vorhanden sind, umso verzögerter ist die Anschlagzeit bei längerer Wirkdauer. Die

Proteinbindung ist demnach ausschlaggebend für die Wirkdauer eines Aminoamids. [13-15, 17, 65]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine hohe Lipidlöslichkeit und Proteinbindung mit einer verzögerten Anschlagzeit sowie einer verlängerten Wirkdauer und einer hohen anästhetischen Potenz einhergeht. Eine niedrige Lipidlöslichkeit und Proteinbindung hingegen entsprechen einem schnelleren Wirkeintritt bei kürzerer Wirkdauer und verminderter Wirksamkeit. Die Konzentration des Lokalanästhetikums ist zudem abhängig von der Applikationsart, der Absorptionsfähigkeit des umliegenden Gewebes und der physikalischen Diffusion im Gewebe. Um eine hohe Konzentration bei möglichst geringer verwendeter Menge an Anästhetikum zu erreichen, sollte es in unmittelbarer Nähe zum Zielnerv appliziert werden. Nachdem das Lokalanästhetikum in das Innere des Nervs diffundiert und dort dissoziiert ist, blockiert es spannungsabhängige Natriumkanäle. Somit verhindert das Lokalanästhetikum eine Depolarisation. Es kann kein Aktionspotential gebildet werden. Die Erregungsfortleitung im Nerv ist blockiert, und es kommt zu einer anästhetischen Wirkung distal des Injektionsortes. Es handelt sich hierbei um eine reversible Blockade der Reizleitung entlang der Nervenfasern. [13-15, 17, 65]

Die Wahl des Lokalanästhetikums richtet sich nach der Sensitivität der Nervenfasern, der Dauer des Eingriffs und der Anschlagzeit des Anästhetikums. Das Lokalanästhetikum wird nach seinen Eigenschaften und seiner anästhetischen Potenz ausgewählt. Die empfohlene Grenzdosierung sollte nicht überschritten werden, um eine Nekrotisierung zu vermeiden. Auch eine Tachyphylaxie ist beschrieben [17, 66]. Für den chirurgischen Eingriff bei einer Replantation und auch bei der Operation zur Behandlung einer Rhizarthrose müssen alle Modalitäten eines Nervs ausgeschaltet werden. Bei einer Blockade der peripheren Nerven des Plexus brachialis kann eine charakteristische Reihenfolge der Blockade beobachtet werden. Zuerst werden die motorischen A $\alpha$ -Fasern blockiert, anschließend die sympathischen B- und C-Fasern, was zu einer Vasodilatation führt. Danach kommt es zur Blockade der A $\delta$ - und A $\beta$ -



Fasern – Schmerz-, Temperatur-, Berührungs- und Druckempfinden werden so ausgeschaltet.

### 1.2.2 Verwendete Lokalanästhetika

Im Rahmen der Plexusanästhesie bei Operationen an der oberen Extremität werden üblicherweise Lokalanästhetika mit einer mittleren und einer langen Wirkdauer kombiniert. Dadurch soll die Anschlagszeit verkürzt und die Wirkdauer verlängert werden.

In der BG Unfallklinik Tübingen werden hier bevorzugt die beiden Medikamente Scandicain® und Ropivacain® verabreicht. Die Entscheidung über das genaue Mischungsverhältnis und die verabreichte Dosis obliegt dem Anästhesisten, der die Blockade durchführt. Das Mischverhältnis beträgt in der Regel 40ml Scandicain® und 10ml Ropivacain®.

*Tabelle 1 Übersicht über die verwendeten Lokalanästhetika im Plexuskatheter, deren empfohlene Dosierung (Konzentration [%], substituiertes Volumen [ml]) und Wirkeintritt [min] und die Wirkdauer [min] [14]*

<b>Verwendetes Lokalanästhetikum im Plexuskatheter</b>	<b>Konzentration [%]</b>	<b>Volumen [ml]</b>	<b>Wirkungseintritt [min]</b>	<b>Wirkungsdauer [min]</b>
<b>Scandicain®</b>	1-2	30-50	10-20	180-300
<b>Ropivacain®</b>	0,5-1	15-30	15-30	360-720

Scandicain® zählt zu den mittellang wirksamen Lokalanästhetika. Es ist ein Lokalanästhetikum vom Säureamidtyp und dient zur Infiltrationsanästhesie sowie zur peripheren Nervenblockade. Die an der BG Unfallklinik Tübingen verwendete Injektionslösung enthält auf 1 ml Lösung 10 mg Scandicain®. Verabreicht werden hier zur Plexusanästhesie in der Regel einmalig zwischen 20-55 ml Scandicain®.

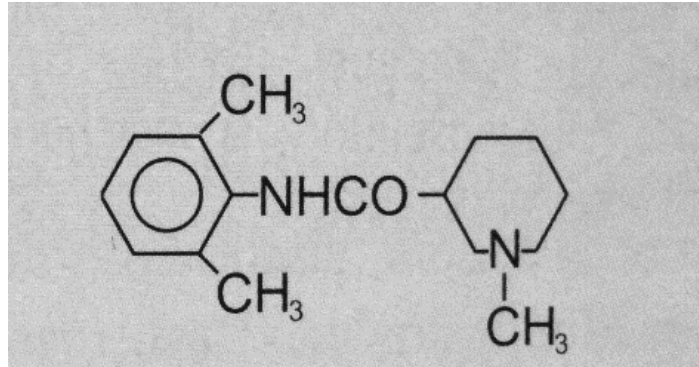


Abbildung 6 Strukturformel Mepivacain (Scandicain®)[14]

Der pKa-Wert von Scandicain® ist nahe am physiologischen pH-Wert von 7,4. Wie oben beschrieben, kommt es dadurch zum schnellen Wirkungseintritt. Scandicain® hat eine Plasmahalbwertszeit von 2-3 Stunden. Nach der Metabolisierung in der Leber wird es renal ausgeschieden.

Ropivacain® hingegen zählt zu den langwirksamen Lokalanästhetika und gehört ebenfalls zu den Lokalanästhetika vom Amidtyp.

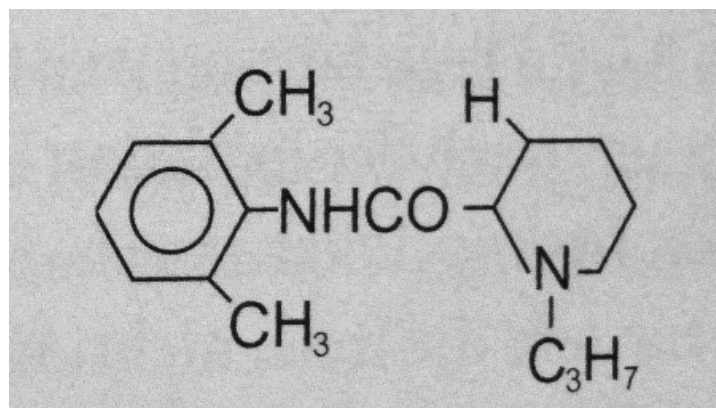


Abbildung 7 Strukturformel Ropivacain® [14]

Im Rahmen einer Plexusblockade hat es eine Plasmahalbwertszeit von 6-10 Stunden. Pro ml der Injektionslösung sind 10 mg Ropivacain® enthalten.

### 1.3 Die Rhizarthrose

Als Rhizarthrose bezeichnet man eine idiopathische Arthrose des Daumensattelgelenks. Frauen sind durchschnittlich 10-15-mal häufiger betroffen als Männer. Die Rhizarthrose tritt meist um das 50. Lebensjahr auf und betrifft oft beide Hände gleichermaßen. Adipositas und eine vermehrte Laxizität der Bänder werden als prädisponierende Faktoren aufgeführt, und es wurde eine Häufung nach der Menopause beobachtet. Die Rhizarthrose kann auch sekundär infolge eines Traumas oder entzündlich, bei rheumatischen Erkrankungen, bei Stoffwechselerkrankungen oder nach Infektionen auftreten.

Es kommt im Verlauf zu einem Knorpeldefekt an den artikulierenden Gelenkflächen des Os trapezium und dem 1. Mittelhandknochen. [58, 67-70]

#### 1.3.1 Klinisches Bild, Diagnose

Die Patienten berichten über Schmerzen beim Umgreifen von Gegenständen und bei Drehbewegungen. Die Rhizarthrose führt zur Bewegungseinschränkung und zu einem deutlichen Kraftverlust in der betroffenen Hand. Zudem wird häufig ein Gefühl der Instabilität des Daumens angegeben. Spitz- und Dreipunktegriff können nur eingeschränkt durchgeführt werden. [58, 67, 70]

Diagnostisch fällt eine verplumpt wirkende Daumenbasis auf. Dieser Pollex adductus ist durch eine dorsoradiale Subluxation der Basis des 1. Mittelhandknochens gegenüber dem Os trapezium bedingt.

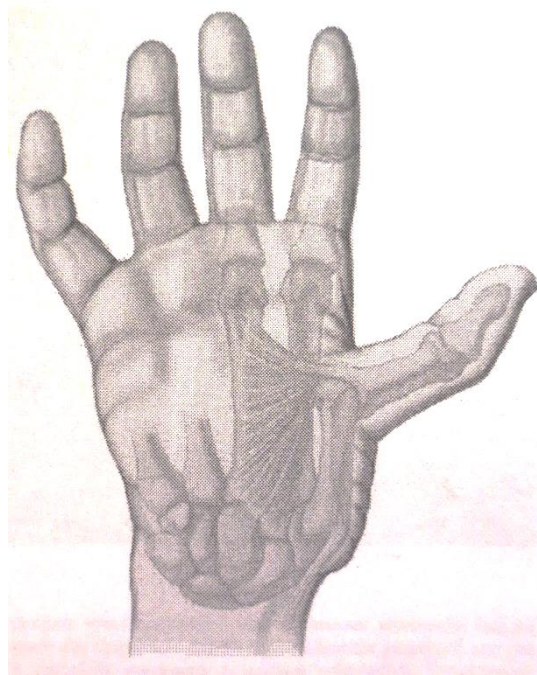


Abbildung 8 Schematische Darstellung des Pollex adductus [59]

Bei der Untersuchung durch passives Bewegen des Gelenks können Schmerzen hervorgerufen werden. Zudem fällt ein Reiben und Knirschen (Krepitus) auf. Eine Röntgenuntersuchung verfestigt die Diagnose (s. Abb. 9).



Abbildung 9 Röntgenbefund der Sattelgelenksarthrose. Zu sehen ist eine Gelenkspaltverschmälerung und Subluxation des Os metacarpale I, sowie subchondrale Sklerosierung [58]

Röntgenologisch wird die Rhizarthrose nach Eaton und Littler (1973) in vier Stadien klassifiziert. Diese Unterteilung wird in der folgenden Tabelle veranschaulicht [67].

Tabelle 2 Röntgenologische Zeichen der Rhizarthrose nach Eaton und Littler [61]

Stadium	Röntgenologische Zeichen
I	Normale Gelenkkonturen, ggf. erweiterter Gelenkspalt (Erguss), geringe Subluxation des Os metacarpale I
II	Geringe Gelenkspaltverschmälerung, Osteophyten kleiner als 2mm, deutliche Subluxation des Os metacarpale I
III	Sklerotische und zystische Veränderungen im subchondralen Knochen, Osteophyten größer als 2mm, deutliche Subluxation des Os metacarpale I, deutliche Gelenkspaltverschmälerung.
IV	Gelenkdestruktion, zystische, sklerotische Umbauvorgänge, Mitbeteiligung des skaphotrapezialen Gelenks

Im fortgeschrittenen Stadium kann es bis zu einer Adduktionsfehlstellung mit Hyperextension des Metakarpophalangealgelenks führen (Abb.10). [58, 67]

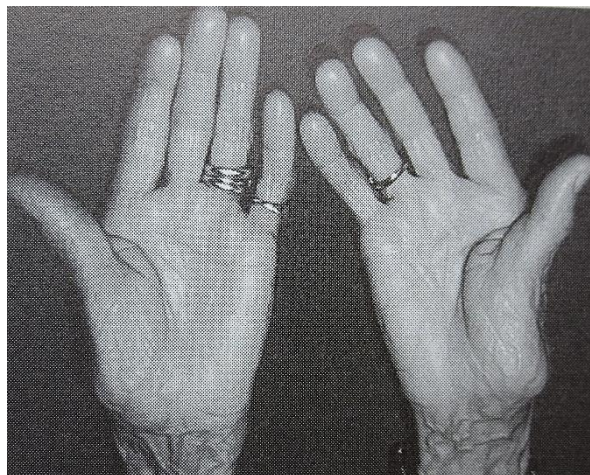


Abbildung 10 Klinische Darstellung der Adduktionsfehlstellung bei einer Rhizarthrose im fortgeschrittenen Stadium [58]

### 1.3.2 Behandlung und Operation

Eine konservative Therapie der Rhizarthrose beinhaltet das Tragen einer Orthese zur Stabilisierung des Daumensattelgelenks und die Verabreichung von Nichtsteroidalen Antirheumatika. Zudem können unter sterilen Bedingungen

Kortikoide in das Gelenk appliziert werden. [70] Nach Ausreizung der konservativen Therapie ist die Resektionsarthroplastik des Os trapezium die Behandlungsmethode der Wahl. Ziel ist eine langfristige Schmerzfreiheit des Patienten und eine größtmögliche Wiedererlangung von Beweglichkeit und Kraft. Es gibt verschiedene Operationstechniken. Alle beinhalten eine Resektion des Os trapezium wie nach Gervis (1949) beschrieben [67].

In der Klinik für Hand-, Plastische-, Rekonstruktive- und Verbrennungschirurgie an der BG Unfallklinik Tübingen wird eine Resektion des Os trapezium wie bei Gervis beschrieben mit einer Suspensionsarthroplastik in modifizierter Form nach Epping durchgeführt. Bei dieser Operationstechnik erfolgt nach der Trapeziumresektion eine Stabilisierung des 1. Mittelhandknochens durch eine Aufhängeplastik mittels der transossärer Verlagerung der Sehne des M. flexor carpi radialis (FCR). Die Operation erfolgt in Rückenlage des Patienten. Das übliche Anästhesieverfahren ist zumeist eine regionale Nervenblockade mittels Plexuskatheter. Die betroffene Hand wird auf einen Handtisch gelagert und desinfiziert. Anschließend erfolgt die sterile Abdeckung und die Anlage einer Oberarmblutleere mit 300 mmHg.

Die Schnitfführung der Hautinzision erfolgt bogenförmige über dem Daumensattelgelenk.

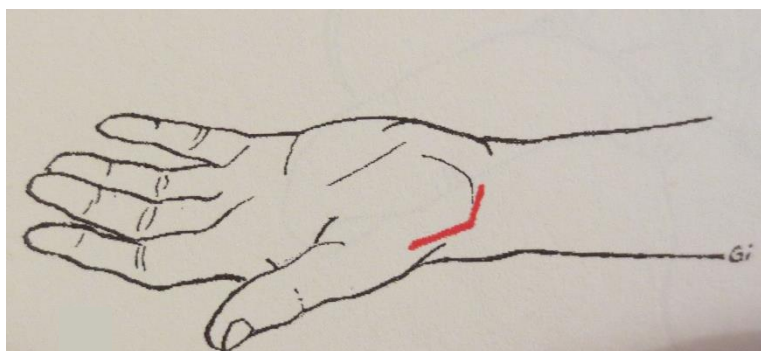


Abbildung 11 Schematische Darstellung der bogenförmigen Schnitfführung bei Hautinzision über dem Daumensattelgelenk [58]

Anschließend erfolgt die Darstellung des Kapselbandapparats. Danach wird die Gelenkkapsel des Daumensattelgelenkes längs eröffnet und die Trapeziumresektion durchgeführt. In die Basis des MC I wird ein Kanal gebohrt. Die nach der Resektion des Os trapezium sichtbar gewordene Sehne des FCR (M. flexor carpi radialis) wird luxiert und halbiert. Der hälftige Sehnenanteil wird durch den Bohrkanal in der MC I Basis gezogen. Bis zu diesem Schritt erfolgt die Operation wie von Epping beschrieben [67].

In der Klinik für Hand-, Plastische-, Rekonstruktive- und Verbrennungschirurgie an der BG Unfallklinik Tübingen wird nun der intakte Sehnenanteil der FCR-Sehne mit dem abgetrennten Sehnenanteil umschlungen und vernäht. Somit hat man die Basis des MC I mit Hilfe der halben FCR-Sehne am MC II stabilisiert. Der halbierte Sehnenanteil wird hier weiter, im Gegensatz zum Vorgehen nach Epping, um die FCR-Sehne geführt und schließlich fixiert.

Bei der Operationstechnik nach Epping wird der halbierte Sehnenanteil im Bereich der MC II Basis mit sich selbst vernäht [67].

Der Wundverschluss erfolgt mittels Hautnaht. Anschließend wird ein steriler Kompressionsverband, dann ein Watteverband und letztendlich ein Papierverband angelegt. Nach der Operation wird der Daumen in Abduktionsstellung fixiert. Dafür wird eine Gipsschiene unter Freilassung des Endgelenkes mit Daumeneinschluss angelegt. Diese soll für 3 Wochen getragen werden.

#### 1.4 Fragestellung und Zielsetzung

In der Literatur konnte bereits eine Verbesserung des Blutflusses in den Fingern durch die Anlage eines Plexuskatheters gezeigt werden. [4-7, 9, 55, 56]

Nach aktuellem Wissensstand ergibt sich nun die Frage nach der quantitativen Veränderung der peripheren Mikrozirkulation in den Fingern und der Wirkdauer nach Anlage eines Plexuskatheters. Die klinische Anwendung eines Plexuskatheters im Rahmen von Replantationsoperationen soll anhand eines standardisierten klinischen Modells wissenschaftlich untermauert werden.

Es soll durch verschiedener Parameter (SO<sub>2</sub>, rHb, Flow und Velocity (s. 2.4)) dargestellt werden, inwieweit sich die Durchblutungssituation in den Fingern verbessern lässt, und ob der Plexuskatheter möglicherweise zum Erhalt eines Replantats beiträgt.

Es soll anhand von Patienten, die im Rahmen ihrer Operation zur Behandlung einer Rhizarthrose routinemäßig einen Plexuskatheter zur intra- und postoperativen Schmerztherapie gelegt bekommen, überprüft werden, ob (1.) eine quantifizierbare Durchblutungssteigerung festgestellt werden kann, (2.) ein signifikanter Unterschied in der Durchblutung zwischen der operierten Hand, an der der Plexuskatheter gelegt wird, und der gegenseitigen Kontrollhand besteht. Zudem soll (3.) die Langzeitwirkung der Lokalanästhetika untersucht werden. Des Weiteren soll untersucht werden (4.), in welchem Zeitraum nach dessen Anlage der Plexuskatheter besonders effektiv wirkt.

Die Erkenntnisse, die in dieser Arbeit durch das standardisierte klinische Modell im Rahmen einer Resektionsarthroplastik bei Patienten mit Rhizarthrose gewonnen werden, kann man sich in der postoperativen Phase bei Replantationen zu Nutze machen. Dabei könnte durch die Nutzung des Plexuskatheters unmittelbar Einfluss auf die Durchblutungssituation an Replantaten genommen werden. Durch den kombinierten Einsatz mit dem O<sub>2</sub>C Gerät, entsteht potentiell eine Plattform mit der die Sauerstoffversorgung und die Mikrozirkulation direkt überwacht und beeinflusst werden kann. Die Messungen bei Operationen an der Rizarthrose eliminieren dabei vielfältige Einflussfaktoren auf die Mikrozirkulation die bei der Replantation vorkommen, durch das beschriebene Studiendesign. Die so „unverfälscht“ gewonnen Messdaten, können zur Orientierung im klinischen Einsatz bei Replantationen genutzt werden. Somit kann diese Arbeit einer möglichen Optimierung der postoperativen Phase bei Replantationen dienen.



## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patientenkollektiv

Die vorliegende Pilotstudie befasst sich mit Patienten, die sich im Zeitraum von Oktober 2012 bis Juli 2013 in der Klinik für Hand-, Plastische-, Rekonstruktive- und Verbrennungschirurgie an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen der Eberhard-Karls-Universität behandeln ließen. Sie unterzogen sich hier einer Resektionssuspensionsarthroplastik (RSA) bei Daumensattelgelenksarthrose (Rhizarthrose). Es wurde ihnen zur intraoperativen Analgesie eine Plexusanästhesie sowie zur postoperativen Schmerztherapie ein dauerhafter Plexuskatheter gelegt. Diese Form des Anästhesieverfahrens wird bei Rhizarthrose-Operationen in der Klinik für Hand-, Plastische-, Rekonstruktive- und Verbrennungschirurgie an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, so wie auch an anderen handchirurgischen Zentren standardmäßig durchgeführt.

Die Studie wurde der Ethikkommission der Eberhard-Karls-Universität Tübingen vorgelegt und bewilligt. (Projekt-Nr. 051/2013BO2 Tübingen) Die Durchführung der Messung störte den üblichen Ablauf vor bzw. während der Operation, sowie den postoperativen Verlauf nicht. Sie erfolgte während des regulären stationären Aufenthaltes der Patienten.

In die Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, die sowohl in der geistigen als auch körperlichen Verfassung waren, sprachlich und inhaltlich den Sinn der Studie nachvollziehen zu können, um in die Teilnahme einzuwilligen. Die untere Altersgrenze lag bei 18 Jahren, die obere Altersgrenze bei 99 Jahren.

Im Aufklärungsbogen (s. 8.2 Aufklärungsbogen) wurden unter anderem die Dauer und Ziele der Studie sowie die Aufklärung zur freiwilligen Teilnahme und die Information über die Anonymisierung und vertrauliche Behandlung der Daten definiert und aufgeführt. Zudem wurden die Patienten im persönlichen Gespräch über die Studie informiert. Die schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie wurde präoperativ eingeholt.

Eine Raucheranamnese führte nicht zum Ausschluss aus der Studie. Es ist anzumerken, dass keiner der Patienten während des stationären Aufenthalts rauchte.

Absolutes Ausschlusskriterium war die fehlende Zustimmung des Patienten, an der Studie teilzunehmen. Im Vorfeld der Studie wurden ebenso Patienten ausgeschlossen, die unter bekannten Gefäß- oder Hauterkrankungen wie beispielsweise einer Peripheren Arteriellen Verschlusskrankheit, dem Raynaud-Syndrom oder einer Sklerodermie litten bzw. erkrankt waren. Weitere Ausschlusskriterien waren vorangegangene Ischämien oder eine Thrombose in den oberen Extremitäten. Diese Patienten konnten aufgrund von möglicherweise bereits bestehenden Mikrozirkulationsveränderungen der Finger nicht in die Studie einbezogen werden. Auch eine Allergie gegen die verwendeten Lokalanästhetika führte zum Ausschluss aus der Studie.

Kriterien, die im Verlauf der Studie zum Ausschluss bzw. Abbruch der Messungen führten, waren beispielsweise eine Plexuskatheter-Fehllage aufgrund anatomischer Verhältnisse oder eine frühzeitige akzidentielle Katheterluxation. Außerdem wurden Patienten ausgeschlossen, bei denen der Plexuskatheter fehlplatziert oder während der postoperativen Phase frühzeitig entfernt werden musste. Gründe hierfür waren frühzeitige Schmerzfreiheit, Flüssigkeitsaustritt aus der Einstichstelle des Plexuskatheters oder zwischenzeitliches Pausieren des Plexuskatheters. Daraus resultierten unvollständige Messreihen.

## 2.2 Studienablauf und Datengewinnung

### 2.2.1 Perioperative Phase/ Messzeitpunkte

Nach erfolgter mündlicher und schriftlicher Aufklärung erfolgte die erste Messung bereits präoperativ im Vorbereitungsraum des Operationssaals.

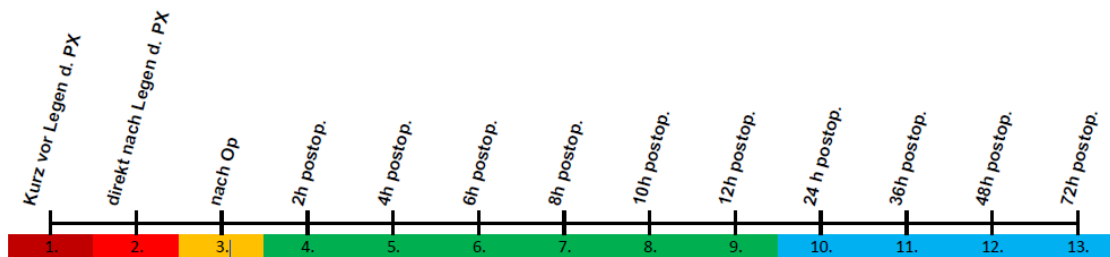
Vor jeder Messreihe wurden das Datum der Operation, das Körpergewicht und die Körpergröße des Patienten sowie die zu operierende Hand und die Kontrollhand notiert. Im weiteren Verlauf wurden zu jeder Messreihe das Datum, die Uhrzeit der Operation, die Schnitt-Naht-Zeit, die verwendeten Anästhetika sowie die Zeit und Dauer der Blutleere und des dafür verwendeten Drucks in

[mmHg] erfasst. Anschließend wurde die eigentliche Messung mittels O2C®-Gerät durchgeführt, welches die non-invasive Diagnostik der Mikrozirkulation in Geweben ermöglichte (s. 2.3). Die folgenden Parameter wurden zeitgleich gemessen: die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins (SO<sub>2</sub>), die relative Hämoglobinmenge (rHb), die Geschwindigkeit des Blutes (Velocity) und der Blutfluss in der Mikrozirkulation (Flow).

Die Messungen wurden nur von einer einzigen Person durchgeführt, um mögliche Unterschiede in der Handhabung des Gerätes durch verschiedene Personen zu vermeiden.

Im Verlauf wurde jeweils die zu operierende Hand im Vergleich mit der nicht-operierten Hand gemessen. Hierbei wurde die zuvor desinfizierte Sonde auf die Haut der Mittelfingerkuppe ohne Druck aufgelegt. Die Messung konnte somit schmerzfrei erfolgen und dauerte in etwa zwei Minuten pro Messvorgang. Die Messzeitpunkte werden im Folgenden aufgeführt und sind auch in der Tabelle zur Plexuskathetermessung im Anhang veranschaulicht (s. 8.1 Plexuskathetermessung).

- |              |   |
|--------------|---|
| 1. Messung:  | kurz vor Legen des Plexuskatheters - Ausgangswert |
| 2. Messung:  | direkt nach Anlage des Plexuskatheters            |
| 3. Messung:  | unmittelbar nach der Operation                    |
| 4. Messung:  | 2 Stunden postoperativ                            |
| 5. Messung:  | 4 Stunden postoperativ                            |
| 6. Messung:  | 6 Stunden postoperativ                            |
| 7. Messung:  | 8 Stunden postoperativ                            |
| 8. Messung:  | 10 Stunden postoperativ                           |
| 9. Messung:  | 12 Stunden postoperativ                           |
| 10. Messung: | 24 Stunden postoperativ                           |
| 11. Messung: | 36 Stunden postoperativ                           |
| 12. Messung: | 48 Stunden postoperativ                           |
| 13. Messung: | 72 Stunden postoperativ                           |



Grafik 1 Messzeitpunkte; 1. dunkelrot: Ausgangswert, 2. rot: nach Legen des Plexuskatheters, 3. gelb: nach der Op, 4.-9. grün: Messung alle 2 Stunden, 10.-13. blau: Messung alle 12 Stunden

Die erste Messung, die auch als vergleichbarer „Ausgangswert“ genutzt wurde, erfolgte unmittelbar vor dem Setzen des Plexuskatheters. Danach folgte die Plexusanästhesie durch den Narkosearzt. Bei den verabreichten Anästhetika handelte es sich um eine Mischung aus Scandicain® und Ropivacain®. Die Entscheidung über das genaue Mischungsverhältnis und die verabreichte Dosis oblag dem Anästhesisten, der die Narkose durchführte. Das genaue Mischverhältnis wurde dokumentiert.

Daraufhin folgte die zweite Messung, nachdem der Plexuskatheter gesetzt und mit einem Pflaster an der Haut befestigt wurde. Diese Messung diente zur Beurteilung der unmittelbaren Auswirkung der Anästhetika auf die Perfusion der Finger. Außerdem wurde dieser Zeitpunkt als Zeitmarker für die folgenden Messungen genutzt, die, abgesehen von einer Messung direkt nach der Operation, im zweistündigen Rhythmus über die nächsten zwölf Stunden sowie anschließend im 12-h-Intervall während des stationären Aufenthaltes erfolgten.

### 2.2.2 Blutleere und Schnitt-Naht-Zeit

Nach dem Anlegen des Plexuskatheters an der zu operierenden Hand wurde der Patient vom Einleitungsraum in den Operationssaal gebracht und umgelagert. Zunächst sorgte der Operateur für die so genannte Blutleere. Hier wird mit Hilfe einer Gummibinde das Blut aus dem Unterarm herausgewickelt und für den Zeitraum der Operation eine Druckmanschette an den Arm angelegt. Nach dem Eintritt der Blutleere konnte die Operation beginnen. Erfasst wurden hier die Dauer der Blutleere sowie der verwendete Druck in [mmHg]. Zudem wurde die Uhrzeit zu Beginn als Schnitt-Zeit und bei Ende der Operation als Naht-Zeit

dokumentiert. Daraus resultierte die Schnitt-Naht-Zeit für die Dauer der Operation.

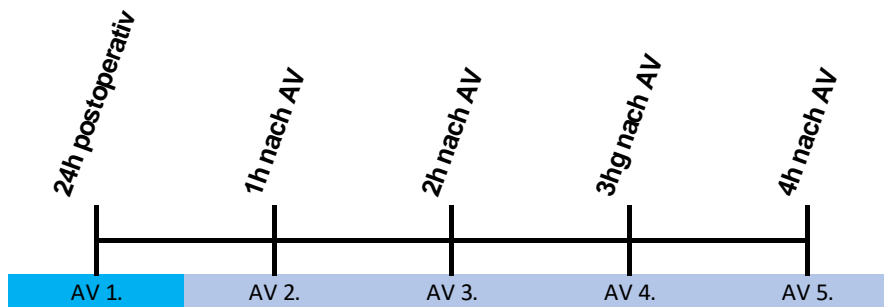
### 2.2.3 Postoperative Phase

Während des stationären Aufenthalts diente der Plexuskatheter zur weiteren Schmerztherapie. Dieser wurde im Anschluss an die Operation kontinuierlich und dabei ausschließlich mit Ropivacain® je nach Bedarf zwischen 6-12 ml pro Stunde durchgeführt. Die Einstellung der Spritzenpumpe des Plexuskatheters erfolgte durch die Pflegeabteilung und war abhängig vom subjektiven Schmerzempfinden des Patienten. Mit den weiteren Messungen sollte die Veränderung in den oben genannten Parametern über mehrere Stunden erfasst werden, um den Langzeitverlauf darstellen zu können.

### 2.2.4 Auslassversuch

Nach 24 Stunden erfolgte der sogenannte Auslassversuch. Hier wurde postoperativ standardmäßig während des stationären Aufenthaltes der Plexuskatheter pausiert. Die hämodynamischen Veränderungen wurden erneut mittels O2C®-Gerät nach dem Ausschalten des Plexuskatheters gemessen. Im Anschluss erfolgte in einem Zeitraum von 4 Stunden eine stündliche Messung der oben genannten Parameter.

AV 1. Messung:	24h postoperativ
AV 2. Messung:	1h nach Auslassversuch
AV 3. Messung:	2h nach Auslassversuch
AV 4. Messung:	3h nach Auslassversuch
AV 5. Messung:	4h nach Auslassversuch



Grafik 2 Messzeitpunkte beim Auslassversuch: AV1. dunkelblau: 24h postoperativ, AV2.-AV5. hellblau: stündliche Messung nach dem Auslassversuch

Die Wirkung des verwendeten Ropivacain® sollte über einen Zeitraum von ca. 4-8 Stunden nach Abschalten des Plexuskatheters und im Rahmen der Schmerzmedikation anhalten. In diesem Zeitraum wurde zusätzlich auf eine orale Schmerzmedikation nach dem WHO Stufenschema umgestellt. Je nach Schmerzintensität erfolgte bei unzureichender Wirkung der vorangegangenen Medikation ein Wechsel zur nächst höheren Stufe [71]. In der BG Unfallklinik Tübingen werden hier 4-mal 500mg Filmtabletten Metamizol (Novalgin®) verabreicht. Bei unzureichender Analgesie konnte bei Bedarf zusätzlich gemäß des Schmerztherapieschemas 1g Paracetamol® (Nichtopioid-Analgetikum) oder 7,5mg Piritramid (Opioid-Analgetikum) intravenös verabreicht werden. Somit war eine ausreichende Schmerztherapie während des Auslassversuchs und des gesamten Klinikaufenthalts sichergestellt.

## 2.3 Messapparatur

Als Messapparatur wurde für die Studie das Oxygen-to-see-Gerät® der Firma LEA Medizintechnik, Gießen, Deutschland, vom Typ LW1212 mit der Seriennummer 182-327-11 verwendet. Das Gerät wurde 2011 hergestellt.

### 2.3.1 Aufbau und Messprinzip des „Oxygen to see“ (O2C®-Gerät)

Das Oxygen-to-see-Gerät® (O2C®; LEA Medizintechnik GmbH, Gießen, Deutschland; Abb. 12) ist ein Diagnosegerät zur non-invasiven Diagnostik der Mikrozirkulation in Geweben und insbesondere der Haut. Es vereint zwei Messmethoden und ermöglicht die schnelle Beurteilung verschiedener

Parameter, die gleichzeitig gemessen werden können: die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins (SO<sub>2</sub>), die relative Hämoglobinmenge (rHb), die Blutflussgeschwindigkeit (Velocity) und der relative Blutfluss (Flow).

Mittels O2C®-Gerät ist es möglich eine Aussage sowohl über eine Hypoxie als auch eine Hyperoxie im gemessenen Gewebe zu treffen. [72]

Die Technik des O2C®-Geräts basiert auf zwei verschiedenen Prinzipien zur Messung der Parameter: zum einen dem Verfahren zur Messung der Sauerstoffsättigung und Hämoglobinmenge, beruhend auf der Gewebespektrometrie, und zum anderen dem Verfahren zur Messung der Durchblutungsgrößen, beruhend auf dem Doppler-Effekt. Das O2C®-Gerät vereint diese beiden Verfahren in einem Gerät.

Aufgrund des Mehrkanalsystems können Messungen mit einer Messsonde zeitlich und parallel in zwei unterschiedlichen Messtiefen (oberflächlich, ca. 2mm und tief, ca. 8mm) erfolgen. Die Messtiefe hängt stark von den optischen Eigenschaften des Gewebes, von der Blutmenge und der Sensorgeometrie ab. [72-79]



Abbildung 12 Das O2C®-Gerät der Firma LEA Medizintechnik, Gießen. Zu sehen sind der Monitor mit Rechner, die Tastatur, die Sonde und der Fußschalter.

### 2.3.2 Laser-Doppler-Fluss-Verfahren

Das Laserlicht kommt bei der Bestimmung der Durchblutungsgrößen der Blutflussgeschwindigkeit (Velocity) und dem Blutfluss (Flow) im Gewebe zum Einsatz. Das Messprinzip beruht auf dem so genannten Doppler-Shift.

Der Doppler-Shift ist die Veränderung der Frequenz von Wellen jeder Art, während sich die Quelle und der Beobachter in Relation zueinander bewegen. Bewegen sich Quelle und Beobachter aufeinander zu, steigt die Frequenz. Entfernen sie sich voneinander, sinkt die Frequenz.

Dieser Effekt tritt bei allen Arten von Wellen auf, auch wenn Licht in Haut und Muskulatur auf sich bewegende Teilchen trifft. Durch die relative Bewegung zueinander ändert sich die Frequenz der Wellen, woraus eine messbare Farbänderung auftritt. [72-79]

In den Messungen des O2C®-Geräts kommt es durch die Bewegung der Erythrozyten zur Doppler-Verschiebung im Laserlicht (Abb.13). Die Frequenzänderung des detektierten Laserlichtes wird in die Blutfließgeschwindigkeit umgerechnet. Je höher die Anzahl der Erythrozyten ist, die sich durch das Messvolumen bewegen, desto höher ist das von Ihnen reflektierte Laserlicht. Aus dieser quantitativen Änderung kann gemeinsam mit der qualitativen Änderung der Parameter „Blutfluss“ (Flow) und auch die Blutflussgeschwindigkeit (Velocity) bestimmt werden. [72-79]

Das O2C®-Gerät ist ein optimiertes Verfahren mit einer hohen Tiefenauflösung im Vergleich zur Laser-Doppler Flowmetrie. So bleiben Messungen nicht auf die oberflächliche kutane Mikrozirkulation beschränkt, sondern können bis in einer Tiefe von 8 mm durchgeführt werden. [72-79]



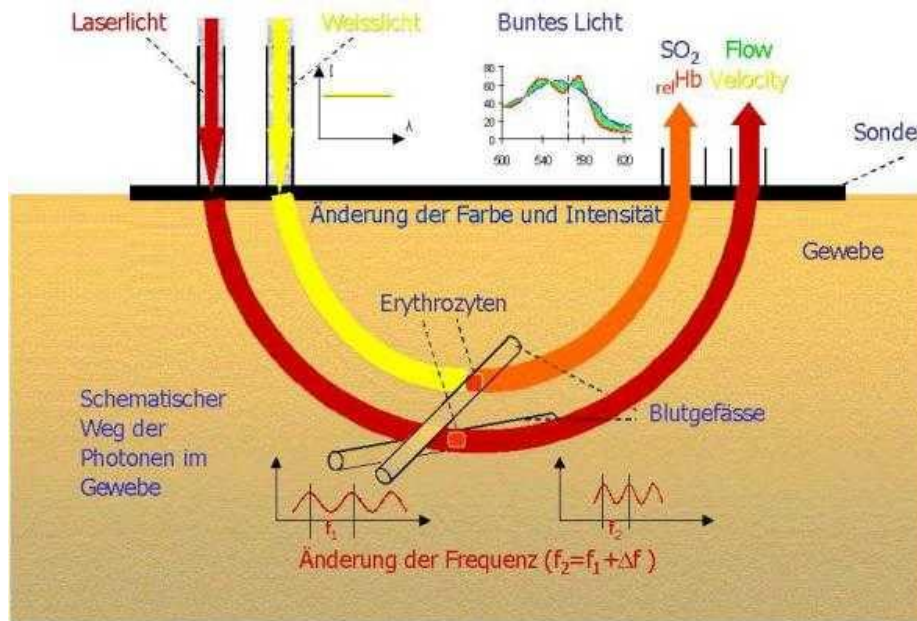


Abbildung 13 Weißlicht und Laserlicht im O2C®-Gerät. Lichteinfall und Reflektion durch das Messgewebe hindurch und zur Oberfläche zurück [77].

### 2.3.3 Weißlichtspektroskopie

Das O2C®-Gerät verwendet zur Messung der Sauerstoffsättigung und der Hämoglobinkonzentration die Gewebespektrometrie. Als Weißlichtquelle dient eine Halogenlampe.

Blut verändert je nach seinem Sauerstoffsättigungsgrad die Farbe:

Im oxygenierten Zustand hat Blut eine hellrote Farbe, im desoxygenierten Zustand eine blau-violette Färbung. Diese Tatsache macht man sich bei der Errechnung der Sauerstoffsättigung (SO<sub>2</sub>) zu Nutze. Das detektierte Licht wird im O2C®-Gerät analysiert und anhand des Farbspektrums die Sauerstoffsättigung bestimmt (Abb.13). Des Weiteren kann über die Absorptionen-Messung des Lichtes im Gewebe die Hämoglobinmenge (rHb) bestimmt werden. Je mehr Hämoglobin, welches den stärksten Licht-Absorber im Gewebe darstellt, vorhanden ist, desto mehr Licht wird absorbiert und umso weniger Licht kann von der Sonde detektiert werden. Der Messwert korreliert direkt mit der Hämoglobinmenge im Messvolumen und ist dadurch abhängig von der Dichte der Gefäße, dem Lumendurchmesser und der Hämoglobinmenge im Blut. [72-79]

#### 2.3.4 Messsonde

Bei der verwendeten Messsonde handelt es sich um eine Glasfasersonde, die das Licht in das Gewebe leiten kann und das detektierte Licht vom Gewebe zu der Messeinheit zurückführt.

Für die Messung wurde eine sogenannte Flachsonde mit zwei Messkanälen verwendet (Abb.14). Die zu untersuchenden Parameter werden mit einem Kanal in einer Oberflächenmessung mit 2mm (superficial) und mit einem weiteren Kanal in einer Tiefenmessung in 8mm (deep) Hauttiefe erfasst. [72, 76]

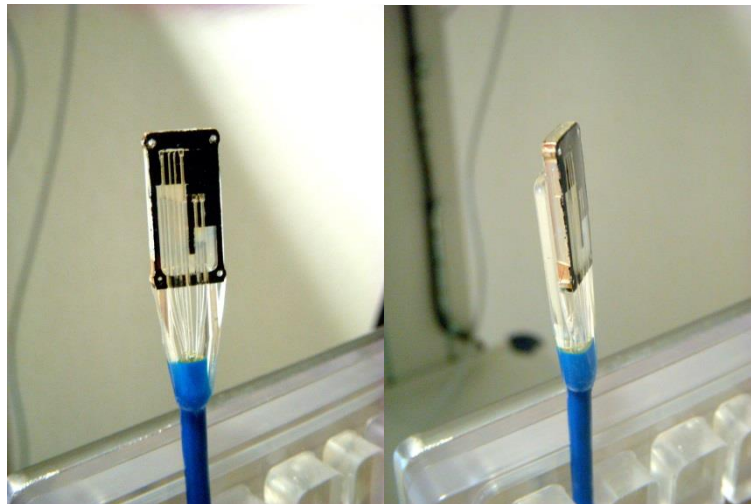


Abbildung 14 Flachsonde LF-2

Der Sensorkopf ist 12mm breit und wird flach auf die Messstelle aufgelegt (Abb.15). Um die Mikrozirkulation möglichst wenig zu beeinflussen, sollte die Sonde ohne zu großen Druck aufgelegt werden. [73, 74, 77, 78, 80]

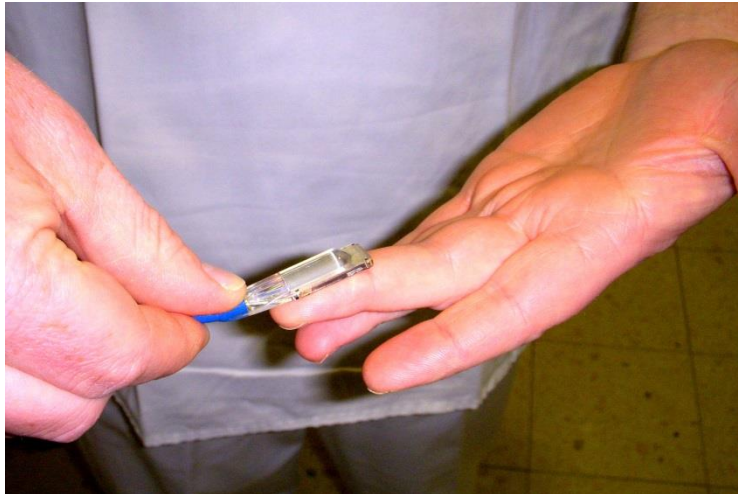


Abbildung 15 Applizierte Flachsonde LF-2

## 2.4 Blutflussparameter

Gemessen wurden die folgenden Parameter jeweils, wie in 2.3.4 beschrieben, in einer Gewebetiefe von 2mm (superficial) und 8mm (deep). Für die Auswertung der Studie wurden jeweils die Parameter in der Tiefenmessung (deep) verwendet.

Die Oberflächenmessungen (superficial) unterliegen vielen Störfaktoren. Beeinflusst werden die Werte in diesem Bereich vor allem vom Umgebungslicht, dem Druck auf die Messsonde und der Sauerstoffsättigung der Umgebung.

### 2.4.1 Sauerstoffsättigung des Hämoglobins (SO<sub>2</sub>)

Die Sauerstoffsättigung (SO<sub>2</sub>) gibt an, wie viel Sauerstofftransportkapazität des Blutes gesättigt ist und wird in der Einheit [%] angegeben. Das O<sub>2</sub>C®-Gerät misst hauptsächlich die venöse Sauerstoffsättigung, da sich ein Großteil des Blutvolumens (ca. 75%) der Mikrozirkulation im venösen System befindet. Mittels SO<sub>2</sub> kann eine Aussage über einen hypoxischen Zustand im Gewebe getroffen werden. [72-79]

### 2.4.2 Relative Hämoglobinmenge (rHb)

Die relative Hämoglobinmenge (rHb) ist ein Maß für die Hämoglobinmenge im Messvolumen. Das Hämoglobin ist Bestandteil der Erythrozyten und für die

Sauerstoffbindung zuständig. Der Hämoglobinwert wird in den Mikrogefäßen (bis 100 µm) durch eine Absorptionsmessung im erfassten Areal evaluiert.

Das O2C®-Gerät kann somit durch das Maß an absorbiertem Lichtanteil auf die Menge an Hämoglobin im Mikrogefäßsystem schließen. Die Konzentration an Hämoglobin ist dadurch unter anderem von der Weite des Gefäßlumens und der Dichte der Erythrozyten abhängig. Als Einheit werden hier Arbitrary units [AU] angegeben. Auch dieser Messparameter wird mittels Absorptionsmengenmessung des Lichtes durch die Weisslicht-Spektroskopie ermittelt. [72-79]

#### 2.4.3 relativer Blutfluss (Flow)

Der Blutfluss (Flow) wird mittels Laser-Doppler gemessen und in [AU] angegeben. Er zeigt an, wie viele Erythrozyten sich im Mikrogefäßsystem bewegen und auch mit welcher Geschwindigkeit. Der Blutfluss kann zur Beurteilung der Blutversorgung im Messvolumen herangezogen werden. [72-79]

#### 2.4.4 Blutflussgeschwindigkeit (Velocity)

Die Geschwindigkeit des Blutvolumens ist aus dem relativen Blutfluss abgeleitet. Sie liefert allerdings keine entscheidende Auskunft über die Menge an transportiertem Blut und hat somit kaum klinische Relevanz. Die Velocity wird mittels Laser-Doppler erfasst und wird in der Einheit [AU] angegeben. [72-79]

### 2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung dieser Studie wurde mit Microsoft® Excel® 2016 MSO 32-Bit für Windows durchgeführt. Zur Erstellung von Tabellen wurde Microsoft® Word 2016 MSO 32-Bit für Windows verwendet.

Alle erhobenen Daten aus den Messprotokollen wurden in Excel Tabellen übertragen. Die mittels O2C®-Gerät erhobenen Messungen wurden ebenfalls in diese Excel Tabellen übertragen. Eine Anonymisierte Speicherung der personenbezogenen Daten erfolgte über das O2C®-Gerät. Es erfolgte eine Zuordnung der Daten in numerischer Reihenfolge.

Die Messwerte sind jeweils als Mittelwerte der mittels O2C®-Gerät bei den 20 Probanden erhobeneren Daten dargestellt. Zudem sind Standardabweichung, Minimum und Maximum angegeben.

Um die Werte der Plexushand mit denen der Kontrollhand vergleichen zu können, wurden die Werte in Relation zum Ausgangswert gesetzt. Die absoluten Ausgangswerte wurden zur besseren Vergleichbarkeit der Messdaten auf einen relativen Ausgangswert von 100% gesetzt. So können relative prozentuelle Veränderungen im Verlauf der verschiedenen Messzeitpunkte dargestellt werden.

Die statistische Auswertung der biometrischen Daten erfolgte mittels t-Test (gepaarter, einseitiger t-Test). Es wurden die relativen Mittelwerte der operierten und der nicht operierten Hand zu korrespondierenden Messzeitpunkten (s. 2.2.1) miteinander verglichen, wobei ein p-Wert  $\leq 0,05$  als statistisch signifikant mit einem 95%-Konfidenzintervall angenommen wurde.

Die Nullhypothese besagt, dass es keinen Unterschied zwischen der Plexus- und der Kontrollhand gibt. Die Alternativhypothese besagt, dass es einen einseitigen Unterschied gibt. Es wird von einer Steigerung der gemessenen Blutflussparameter in der Mikrozirkulation durch die über den Plexuskatheter applizierten Lokalanästhetika ausgegangen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum von Oktober 2012 bis Juli 2013 wurden 33 Patienten, die elektiv für eine Operation zur Behandlung einer Rhizarthrose vorgesehen waren, für die Studie rekrutiert. Die Daten von insgesamt 20 Patienten konnten vollständig erfasst und ausgewertet werden. 9 Patienten wurden im Vorfeld ausgeschlossen, da sie die Einschlusskriterien nicht erfüllten. 4 weitere Patienten schieden im Verlauf der Messreihe aus, z.B. wegen Fehlplatzierung oder vorzeitiger Subluxation des Plexuskatheters.

Von insgesamt 20 Patienten waren 13 weiblich und 7 männlich. Die epidemiologischen Daten der Patienten gibt die Tabelle 3 wieder.

*Tabelle 3 Epidemiologische Daten [81, 82]*

<b>N</b>	20
<b>Geschlecht</b>	männlich 7 weiblich 13
<b>Raucher</b>	5
<b>Nichtraucher</b>	15
	Durchschnitt
<b>Alter in Jahren</b>	57,95 ± 7,27
<b>Größe in [m]</b>	1,67 ± 0,08
<b>Gewicht in [kg]</b>	76,15 ± 13,24
<b>BMI in [kg/m<sup>2</sup>]</b>	27,18 ± 4,70

Unter den 20 Patienten waren insgesamt 5 Raucher, was einem Viertel der auszuwertenden Patienten entspricht. 3 der 7 männlichen Patienten und 2 der 13 weiblichen Patienten zählten zu den Rauchern. Im Durchschnitt waren die Raucher mit 27,33 packyears belastet. Die weiblichen Patienten waren im Mittel mit 6,00 packyears belastet, die männlichen Patienten mit durchschnittlich 48,67 packyears. Da alle Patienten während des Messzyklus nicht rauchten, konnte

kein signifikanter Einfluss des Rauchens auf die Ergebnisse detektiert werden. Das Rauchen stellte somit keinen erkennbaren Einfluss auf die Messparameter dar. Allerdings ist die Fallzahl zu gering um einen schwachen Effekt zu detektieren.

### 3.2 Seitenverteilung

Von den 20 Patienten wurden insgesamt 15 an der rechten Hand und 5 an der linken Hand operiert. In der Studie wurde kein Unterschied zwischen dominanter Hand und nicht dominanter Hand gemacht.

Bei den weiblichen Patienten wurde 11-mal die rechte Hand operiert und 2-mal die linke Hand. Bei den männlichen Patienten wurde 4-mal die rechte Hand und 3-mal die linke Hand operiert.

### 3.3 Plexuskatheter

#### 3.3.1 Verwendete Lokalanästhetika

Im Rahmen der Plexusanästhesie wurden die Lokalanästhetika Scandicain® und Ropivacain® verwendet. Wie bereits erwähnt, oblagen das genaue Mischungsverhältnis und die verabreichte Dosis der Medikamente dem Anästhesisten, der die Narkose durchführte. Die Durchführung der Anästhesie war nicht an eine Person gebunden. Bei allen 20 Patienten kamen beide Lokalanästhetika zum Einsatz. Diese wurden jeweils in einem anderen Mischungsverhältnis der Anästhetika bei den Patienten verwendet. Die durchschnittliche Menge der verwendeten Lokalanästhetika ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

*Tabelle 4: Für den Plexuskatheter verwendete Lokalanästhetika [81, 82]*

<b>N 20</b>			
	Durchschnitt	maximal	minimal
<b>Scandicain [ml]</b>	40,00 ± 10,88	60,00	20,00
<b>Ropivacain [ml]</b>	12,00 ± 5,23	30,00	10,00

### 3.3.2 Mischungsverhältnis der Lokalanästhetika

Das genaue Mischungsverhältnis der Anästhetika bei den jeweiligen Patienten kann der Tabelle 5 entnommen werden. Am häufigsten wurde ein Mischungsverhältnis von 40 ml Scanidacin und 10 ml Ropivacain gewählt.

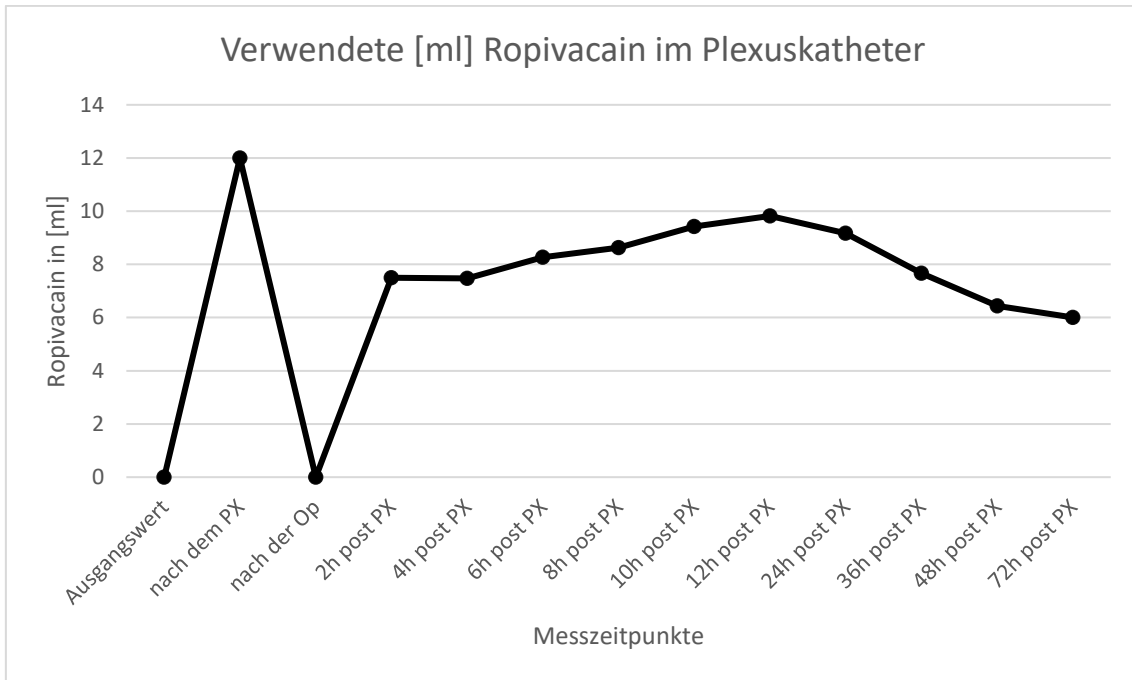
Tabelle 5 Mischverhältnis der Lokalanästhetika

N	Mischverhältnis Scandicain® zu Ropivacain®	
	Scandicain [ml]	Ropivacain [ml]
9	40,00	10,00
4	50,00	10,00
1	55,00	10,00
1	60,00	10,00
2	30,00	10,00
1	25,00	20,00
1	20,00	20,00
1	20,00	30,00
<b>Insgesamt 20</b>		
	Ø 40,00 ± 10,88	Ø 12,00 ± 5,23

### 3.3.3 Plexuskatheter im Verlauf

Die Spritzenpumpe des Plexuskatheters wurde postoperativ mit 6,00-12,00 ml/h befahren. Postoperativ kam, wie beschrieben (s. 2.2.3), nur noch Ropivacain® zum Einsatz. Es wurden durchschnittlich  $8,04 \pm 1,70$  ml Ropivacain® für den Plexuskatheter verwendet. Maximal wurde der Plexuskatheter mit 14,00 ml, mindesten jedoch mit 6,00 ml befahren. Bei allen untersuchten Patienten wurde der Plexuskatheter zur analgetischen Therapie zu allen Messzeitpunkten im postoperativen Verlauf genutzt.





Grafik 3 Verwendete [ml] Ropivacain® im Plexuskatheter im Verlauf

### 3.4 Schnitt-Naht-Zeit und Blutleere

Die durchschnittliche Zeit von Schnitt zu Naht, die Schnitt-Naht-Zeit, betrug  $67,20 \pm 15,38$  min. Die Schnitt-Naht-Zeit entspricht der Operationsdauer.

Die kürzeste Operationsdauer lag bei 48 min, die längste Operation bei insgesamt 113 min.

Die Blutleere umfasste im Durchschnitt  $69,25 \pm 18,89$  min, wobei sie mindestens 47,00 min und maximal 118,00 min lang angelegt war. Die Blutleere wurde bei allen Patienten mit einem Druck von 300 [mmHg] erreicht.

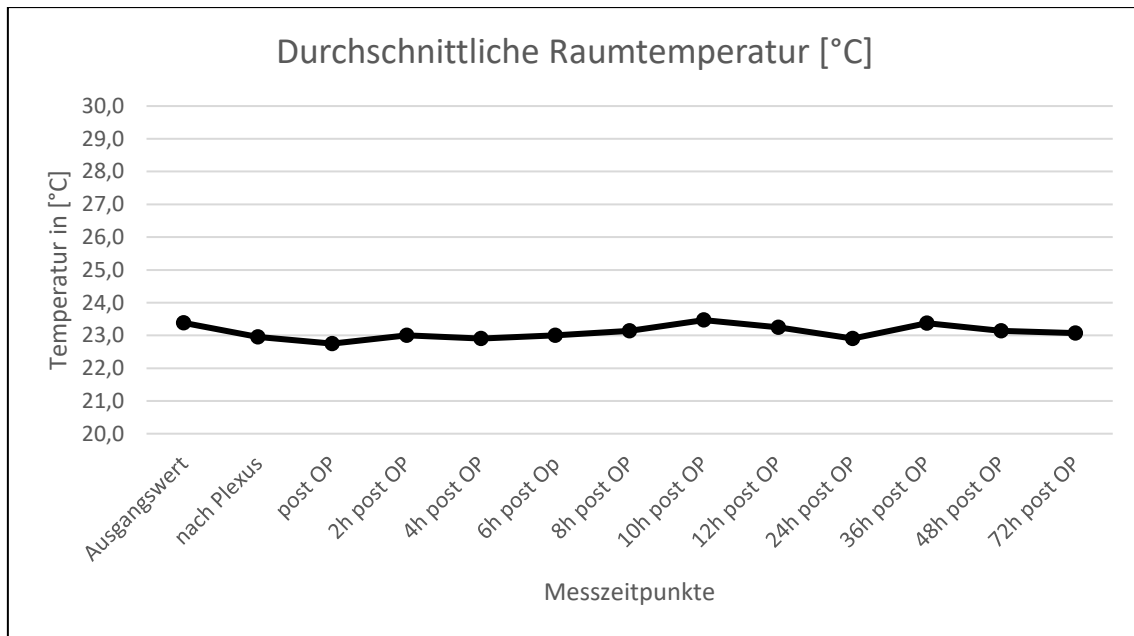
Tabelle 6 Schnittnahtzeit und Blutleere

<b>N</b>	<b>20</b>		
	Durchschnitt	maximal	minimal
<b>Schnittnahtzeit [min]</b>	$67,20 \pm 15,38$	113,00	48,00
<b>Blutleere [min]</b>	$69,25 \pm 18,89$	118,00	47,00

### 3.5 Weitere Messwerte

#### 3.5.1 Raumtemperatur

Die Raumtemperatur lag bei durchschnittlich  $23,10 \pm 1,60$  °C. Wie in Grafik 4 gezeigt, schwankte die Raumtemperatur nicht signifikant zwischen 23,50 °C und 22,80°C während des stationären Aufenthalts der Patienten.



Grafik 4 Durchschnittliche Raumtemperatur [°C]

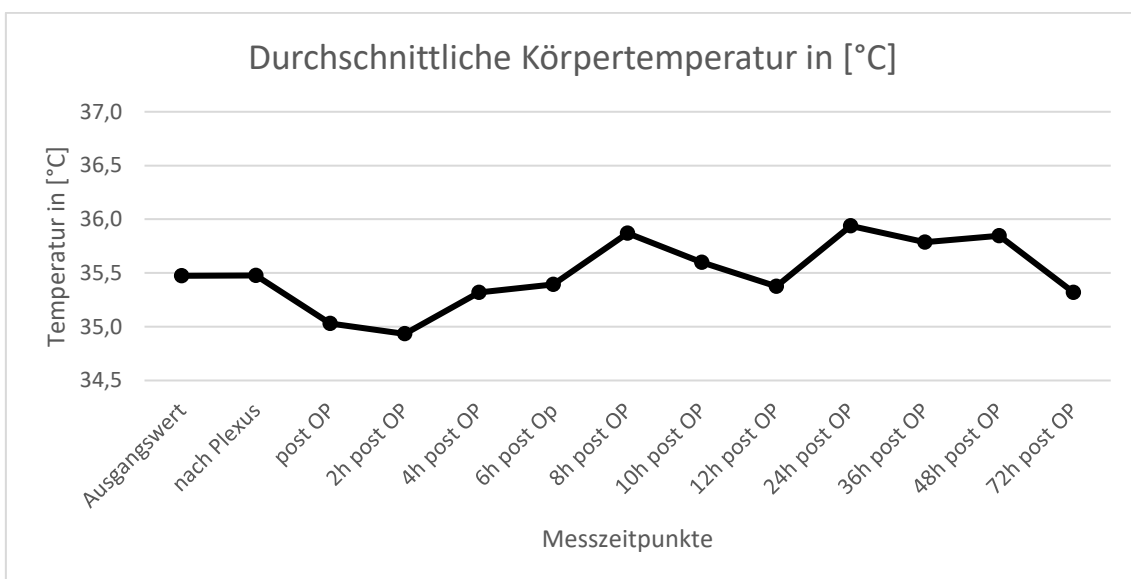
#### 3.5.2 Körpertemperatur

Die durchschnittliche Körpertemperatur zu den verschiedenen Messzeitpunkten ist der Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7 Verlauf der durchschnittlichen Körpertemperatur [°C] der Patienten zu den Messzeitpunkten

Messzeitpunkt	Durchschnittliche Temperatur in [°C]	Maximum [°C]	Minimum [°C]
Ausgangswert	35,40 ± 3,70	37,20	35,40
nach Plexus	35,40 ± 3,60	37,20	35,60
post OP	35,00 ± 3,70	37,00	35,00
2h post OP	34,90 ± 0,60	37,00	35,10
4h post OP	35,30 ± 3,50	37,00	35,20
6h post Op	35,40 ± 4,10	37,30	35,40
8h post OP	35,90 ± 3,70	37,40	35,60
10h post OP	35,60 ± 4,30	37,70	36,00
12h post OP	35,40 ± 4,90	37,70	36,20
24h post OP	35,90 ± 3,70	37,40	36,00
36h post OP	35,80 ± 4,20	37,40	36,00
48h post OP	35,80 ± 3,70	37,40	35,70
72h post OP	35,30 ± 4,30	37,20	35,50

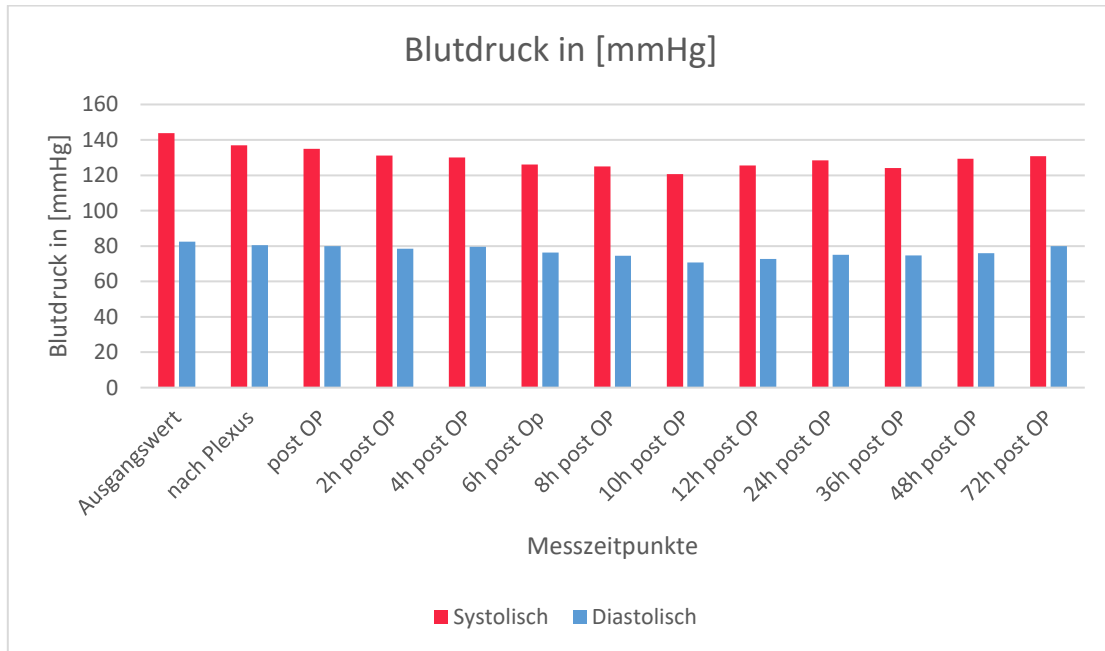
Im Verlauf des stationären Aufenthalts lag die Körpertemperatur der Patienten bei  $35,50 \pm 3,70$  °C.



Grafik 5 Durchschnittliche Körpertemperatur der Patienten in [°C]

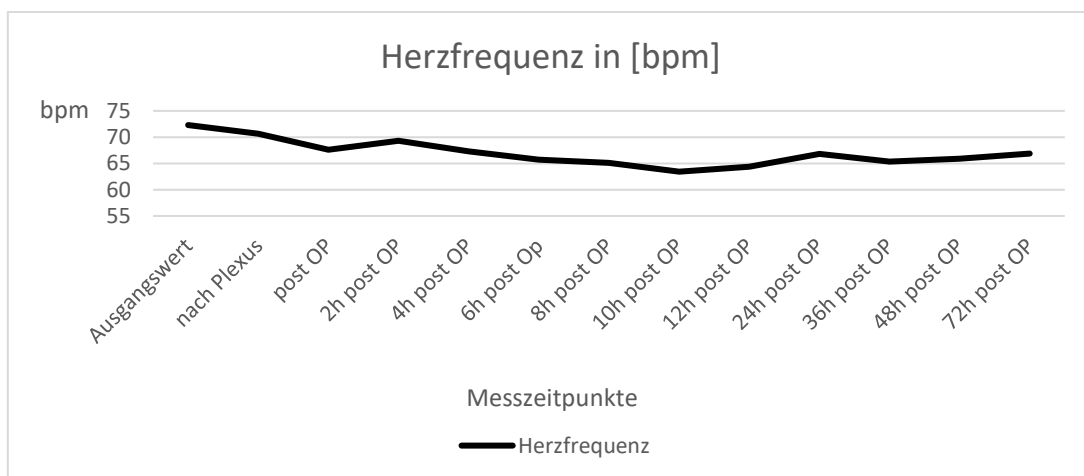
### 3.5.3 Blutdruck und Herzfrequenz

Der Blutdruck lag im Verlauf der Messungen durchschnittlich systolisch bei  $130 \pm 6$  mmHg und diastolisch bei  $77 \pm 4$  mmHg. Grafik 6 zeigt, dass der Blutdruck im Verlauf der verschiedenen Messzeitpunkte stabil bleibt.



Grafik 6 Durchschnittlicher Blutdruck in [mmHg] im Messverlauf

Die Herzfrequenz lag im Mittel bei  $67 \pm 3$  bpm.



Grafik 7 Herzfrequenz in [bpm] im Messverlauf

### 3.6 Blutflussparameter

Die mittels O2C®-Gerät erfassten Parameter werden im folgenden Abschnitt zunächst als absolut gemessene Werte in den Tabellen 8, 10, 12 und 14 abgebildet. Anschließend werden die in Relation zum Ausgangswert gesetzten Werte dargestellt. Bei allen gemessenen Parametern kann nach Anlage eines Plexuskatheters ein Anstieg der Mikrozirkulation beobachtet werden. Zu verschiedenen Zeitpunkten können signifikante Unterschiede zwischen der operierten Hand unter Plexusanästhesie und der Kontrollhand festgestellt werden. Der größte Anstieg wird im Zeitraum bis 2 Stunden postoperativ nach Anlage des Plexuskatheters beobachtet. Anschließend nähern sich die Werte der Plexushand denen der Kontrollhand an. In keiner Messreihe erreichen die Werte der Plexushand im Verlauf der Messzeitpunkte jedoch erneut den Ausgangswert. Der größte Unterschied zum Ausgangswert kann nach Anlage des Plexuskatheters und nach der Operation beobachtet werden. Einen signifikanten Unterschied zwischen der Plexushand und der Kontrollhand gibt es in den Messreihen aller Parameter nach der Operation und 2 Stunden postoperativ.

#### 3.6.1 SO<sub>2</sub> absolut

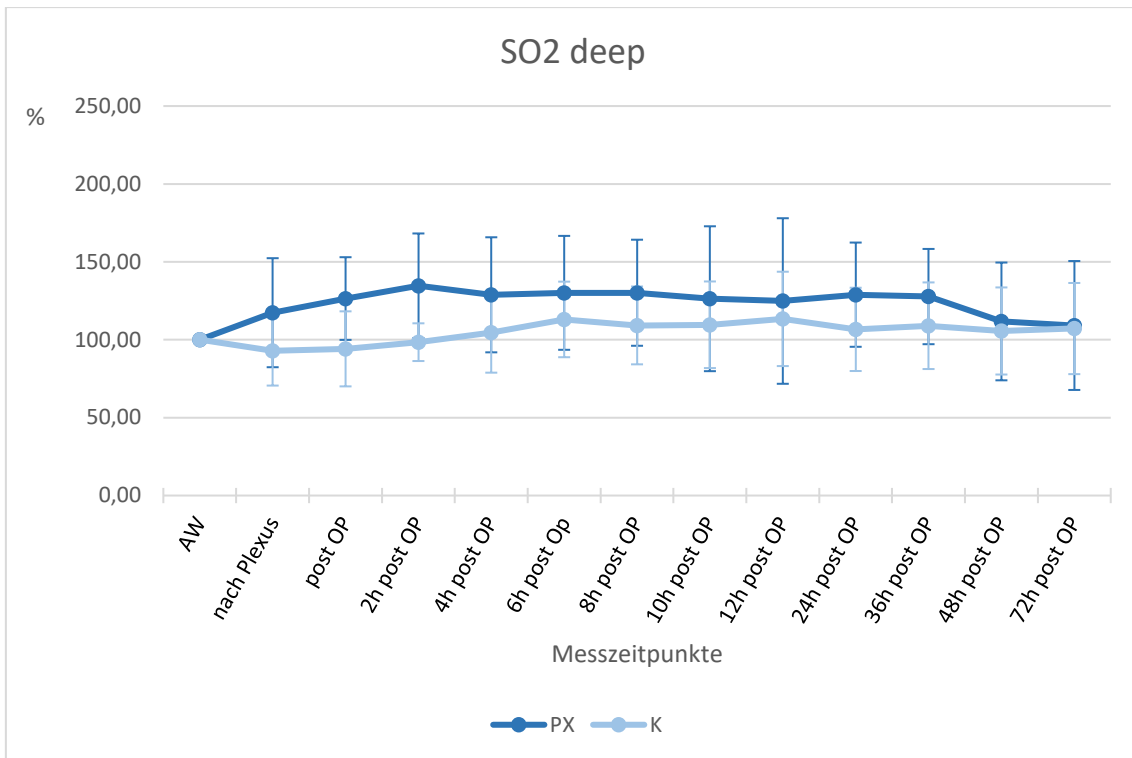
Die Sauerstoffsättigung im venösen System der Plexushand zeigt einen Anstieg bis 2 Stunden nach der Operation. Im Vergleich dazu fallen die Werte der Kontrollhand zunächst ab und steigen dann bis 6 Stunden nach der Operation an. Sie erreichen jedoch nie den Höchstwert der Plexushand.

Tabelle 8 Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins (SO<sub>2</sub> in [%]) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep;

	<b>Absolute Werte der SO<sub>2</sub> [%] deep</b>									
	<b>PX</b>					<b>K</b>				
<b>Messzeitpunkt</b>	MW	STABW	Median	Min	Max	MW	STABW	Median	Min	Max
<b>Ausgangswert</b>	71,95	15,66	70,00	42,00	91,00	80,85	10,92	83,00	46,00	96,00
<b>nach Plexus</b>	80,35	13,55	87,50	38,00	92,00	74,50	16,76	81,00	22,00	91,00
<b>post OP</b>	89,05	5,92	91,00	68,00	96,00	74,32	17,77	79,00	11,00	91,00
<b>2h post OP</b>	90,80	2,93	91,00	85,00	95,00	81,33	7,15	80,00	68,00	92,00
<b>4h post OP</b>	87,95	9,38	89,00	50,00	95,00	82,30	8,60	84,00	63,00	92,00
<b>6h post Op</b>	87,33	8,47	89,00	71,00	97,00	87,87	4,65	89,00	73,00	92,00
<b>8h post OP</b>	88,75	6,10	90,50	71,00	96,00	85,85	6,90	87,00	68,00	97,00
<b>10h post OP</b>	83,79	18,31	90,50	23,00	95,00	84,93	9,15	88,50	58,00	92,00
<b>12h post OP</b>	88,55	4,03	90,00	79,00	94,00	85,82	4,26	86,00	76,00	91,00
<b>24h post OP</b>	88,05	7,00	91,00	70,00	95,00	83,80	9,37	85,00	59,00	94,00
<b>36h post OP</b>	86,60	7,69	88,00	68,00	96,00	84,60	9,13	86,00	65,00	97,00
<b>48h post OP</b>	76,75	18,69	85,50	26,00	95,00	83,00	11,09	88,50	51,00	96,00
<b>72h post OP</b>	83,64	15,25	92,00	47,00	97,00	83,93	10,60	90,00	64,00	96,00

### 3.6.2 SO<sub>2</sub> relativ

Die Grafik 8 gibt einen Überblick über die relativen Werte der venösen Sauerstoffsättigung. Zu sehen ist eine Hyperoxie nach Anlage des Plexuskathers an der operierten Hand. Diese hält im Verlauf an.



Grafik 8 Relativer Mittelwerte und Standardabweichung der SO2 deep im Verlauf; Plexushand (PX), Kontrollhand (K); Ausgangswert (AW) [81, 82]

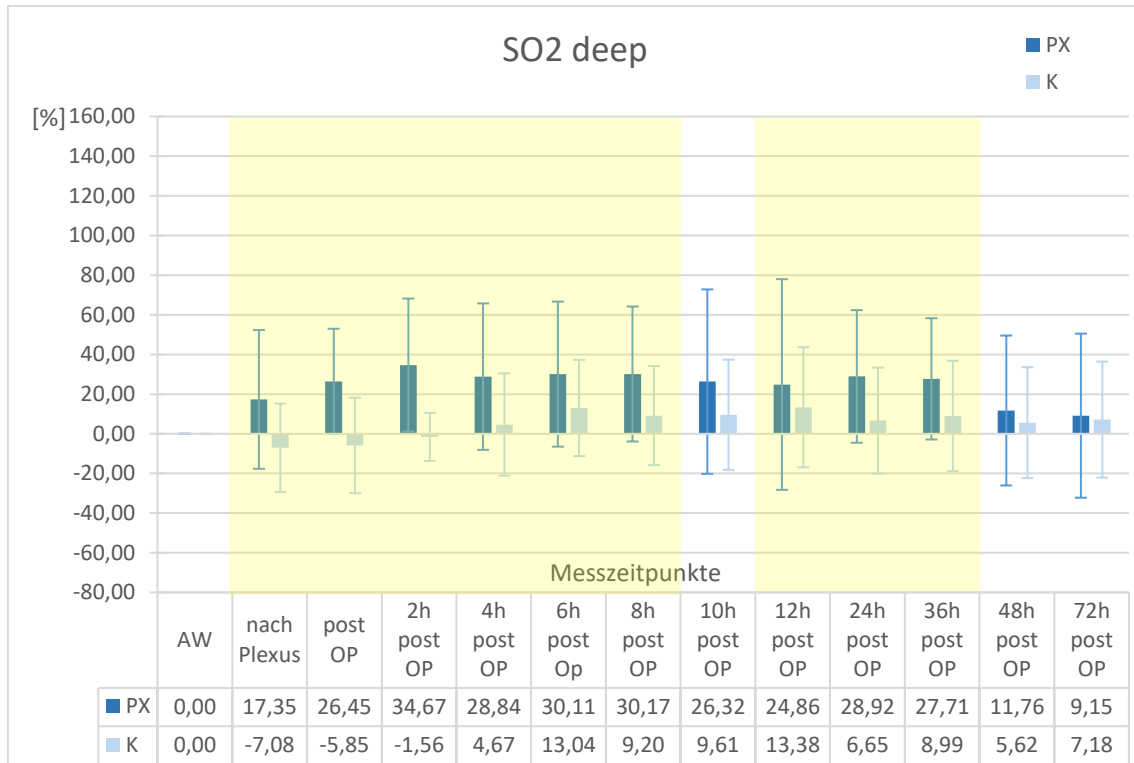
Wie in Tabelle 9 zu sehen ist gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen der Plexushand und der Kontrollhand im Zeitraum nach Anlage des Plexuskatethers bis 8 Stunden postoperativ. Auch im Verlauf zeigt sich ein signifikanter Unterschied von Plexus- und Kontrollhand.

Tabelle 9 Prozentuale Mittelwerte und Standardabweichungen der relativ gemessenen Werte der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins (SO<sub>2</sub>) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep; [81, 82])

Relative Werte der SO <sub>2</sub> [%] deep					
Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<b>Ausgangswert</b>	100,00	0,00	100,00	0,00	-
<b>nach Plexus</b>	117,35	34,99	92,92	22,33	0,010
<b>post OP</b>	126,45	26,53	94,15	24,08	0,000
<b>2h post OP</b>	134,67	33,55	98,44	12,11	0,001
<b>4h post OP</b>	128,84	36,93	104,67	25,80	0,005
<b>6h post Op</b>	130,11	36,56	113,04	24,26	0,039
<b>8h post OP</b>	130,17	34,04	109,20	24,99	0,008
<b>10h post OP</b>	126,32	46,50	109,61	27,80	0,071
<b>12h post OP</b>	124,86	53,13	113,38	30,28	0,036
<b>24h post OP</b>	128,92	33,45	106,65	26,72	0,008
<b>36h post OP</b>	127,71	30,58	108,99	27,80	0,041
<b>48h post OP</b>	111,76	37,80	105,62	27,96	0,246
<b>72h post OP</b>	109,15	41,37	107,18	29,26	0,062

Insgesamt konnte an der Plexushand 2 Stunden nach der Operation ein maximaler Anstieg von 35 % im Vergleich zum Ausgangswert beobachtet werden. Dies ist der Grafik 9 zu entnehmen.





Grafik 9 Prozentuale Steigerung des Mittelwerts zum Ausgangswert und Standardabweichung der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K), signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Ausgangswert (AW)

### 3.6.3 rHb absolut

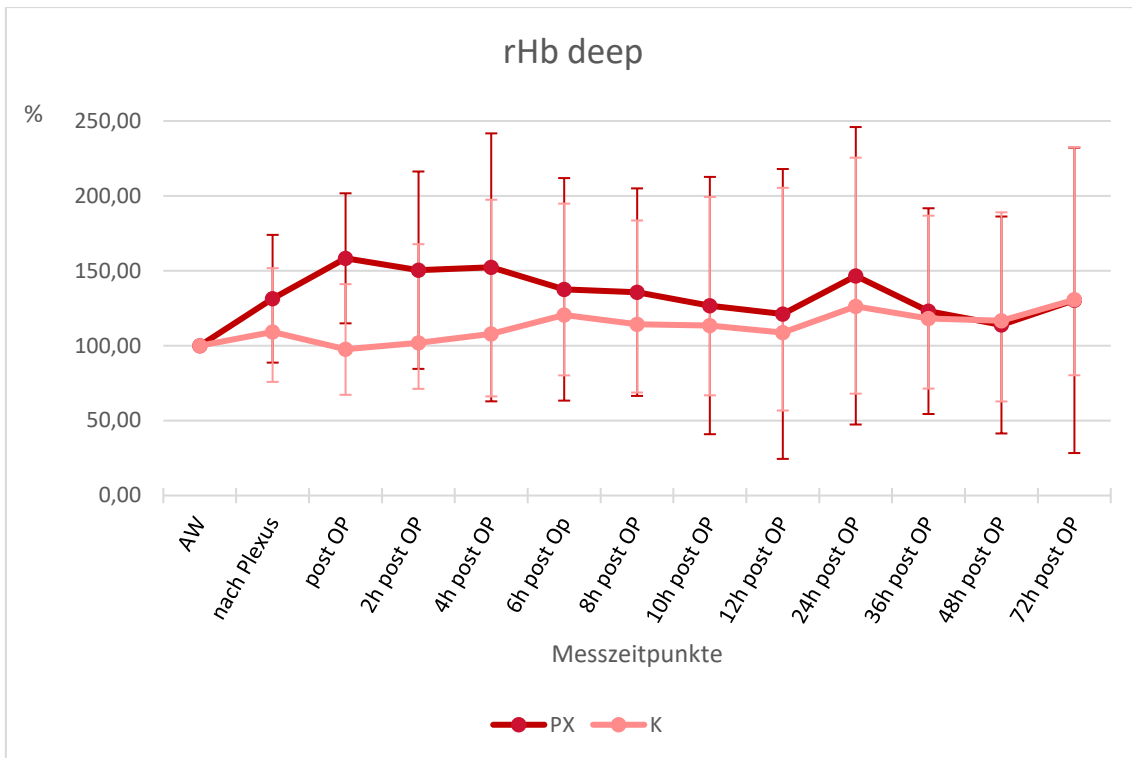
Anhand der Hämoglobinmenge im Gewebe können Rückschlüsse auf die Menge an Blut im Mikrogefäßsystem, dem Füllungsstatus entsprechend, gezogen werden. In Tabelle 10 sieht man eine vermehrte Durchblutung durch einen Anstieg der Hämoglobinmenge im Messvolumen.

Tabelle 10 Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte der relativen Hämoglobinmenge (rHb in [AU]) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep;

<b>Absolute Werte der rHb [AU] deep</b>										
<b>Messzeitpunkt</b>	<b>PX</b>					<b>K</b>				
	MW	STABW	Median	Min	Max	MW	STABW	Median	Min	Max
<b>Ausgangswert</b>	39,80	13,04	39,50	11,00	68,00	42,70	15,16	41,00	20,00	93,00
<b>nach Plexus</b>	47,50	12,63	46,50	22,00	70,00	43,05	10,03	41,00	27,00	67,00
<b>post OP</b>	61,89	18,57	64,00	20,00	90,00	38,05	12,11	36,00	15,00	75,00
<b>2h post OP</b>	57,00	11,24	54,00	41,00	85,00	41,67	7,36	40,00	29,00	59,00
<b>4h post OP</b>	52,30	11,54	51,00	26,00	81,00	42,10	9,36	41,50	27,00	69,00
<b>6h post Op</b>	47,67	6,20	48,00	37,00	59,00	44,87	11,27	41,00	28,00	69,00
<b>8h post OP</b>	46,55	6,04	46,00	37,00	60,00	44,20	10,35	42,00	31,00	72,00
<b>10h post OP</b>	43,93	10,58	44,50	16,00	65,00	41,79	8,16	41,00	30,00	57,00
<b>12h post OP</b>	42,82	10,17	41,00	30,00	65,00	38,45	8,28	36,00	28,00	57,00
<b>24h post OP</b>	49,00	10,58	48,00	36,00	75,00	49,50	20,28	43,50	28,00	116,00
<b>36h post OP</b>	43,60	8,78	40,00	26,00	59,00	44,33	15,16	42,00	28,00	90,00
<b>48h post OP</b>	39,05	9,34	39,00	21,00	64,00	46,45	19,34	45,50	20,00	120,00
<b>72h post OP</b>	47,21	16,21	44,50	21,00	84,00	53,64	17,79	50,00	29,00	93,00

### 3.6.4 rHb relativ

Wie in Grafik 10 zu erkennen, stieg die Hämoglobinmenge nach Anlage des Plexus bis nach der Operation stetig an. Dies lässt auf eine vermehrte Durchblutung und einen dadurch erhöhten Füllungszustand der Gefäße schließen.



Grafik 10 Relativer Mittelwert und Standardabweichung der rHb im Verlauf; Plexushand (PX), Kontrollhand (K); Ausgangswert (AW) [81, 82]

Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Plexus- und der Kontrollhand postoperativ bis 4 Stunden nach der Operation festgestellt werden.

Table 11 Prozentuale Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Hämoglobinmenge (rHb) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep; [81, 82]

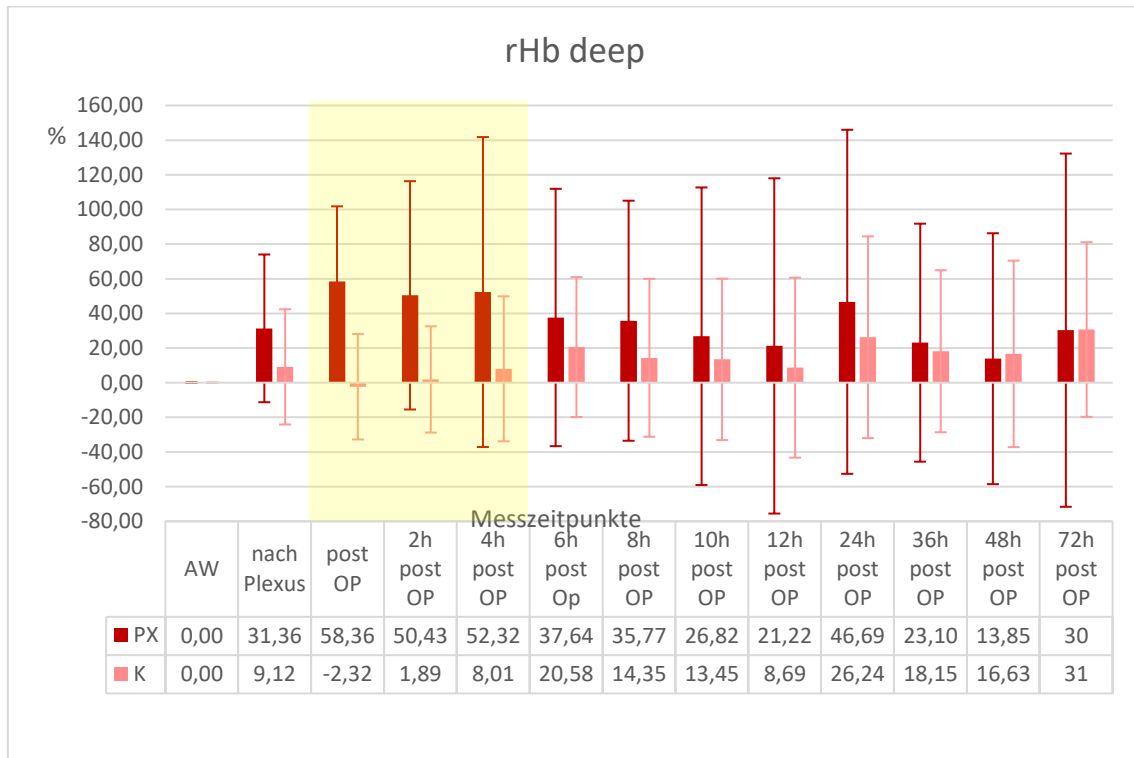
Relative Werte der rHb [AU] deep					
Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
Ausgangswert	100,00	0,00	100,00	0,00	-
nach Plexus	131,36	42,64	109,12	33,25	0,062
post OP	158,36	43,41	97,68	30,45	0,000
2h post OP	150,43	65,88	101,86	30,66	0,021
4h post OP	152,32	89,44	108,01	41,84	0,006
6h post Op	137,64	74,27	120,58	40,38	0,119
8h post OP	135,77	69,27	114,35	45,57	0,064
10h post OP	126,82	85,88	113,45	46,56	0,187
12h post OP	121,22	96,75	108,69	51,93	0,077
24h post OP	146,69	99,29	126,24	58,23	0,150
36h post OP	123,10	68,68	118,15	46,76	0,352
48h post OP	113,85	72,41	116,63	53,83	0,421
72h post OP	130,31	101,94	130,69	50,41	0,327

Im Verlauf lagen die Messwerte der Plexushand über denen der Kontrollhand. Es konnte aber kein signifikanter Unterschied mehr nachgewiesen werden.

Postoperativ lag die Hämoglobinmenge maximal bei 58% über dem Ausgangswert. In diesem Zeitraum fielen die Werte der Kontrollhand unter den Ausgangswert.

Vier Stunden postoperativ nahm der Füllungszustand der Gefäße immer weiter ab. Zu einem erneuten Anstieg kam es 24 Stunden nach der Operation. Hier lag der Anstieg immerhin bei 47% über dem Ausgangswert an der Plexushand. Auch die Werte der Kontrollhand stiegen nach 24 Stunden um 26% auf ein Maximum an. Danach fielen die Werte kontinuierlich ab, bis es 72 Stunden postoperativ zu einem vergleichbaren Anstieg um 30% an der Plexushand und 31% an der Kontrollhand kam.

Wie in Grafik 11 und Tabelle 11 erkennbar, ist ein signifikanter Unterschied nur bis 4 Stunden postoperativ zu erkennen.



Grafik 11 Prozentuale Steigerung des Mittelwerts zum Ausgangswert und Standardabweichung der relativen Hämoglobinmenge an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K), signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Ausgangswert (AW)

### 3.6.5 Flow absolut

Der Blutfluss der Mikrozirkulation ist in Tabelle 12 dargestellt. Hier kommt es zu einem deutlichen Anstieg im Bereich der Pleushand. Es zeigt sich also, dass die Erythrozytenzahl im Mikrogefäßsystem zunimmt. Es kommt zu einer deutlichen Steigerung der Blutversorgung.

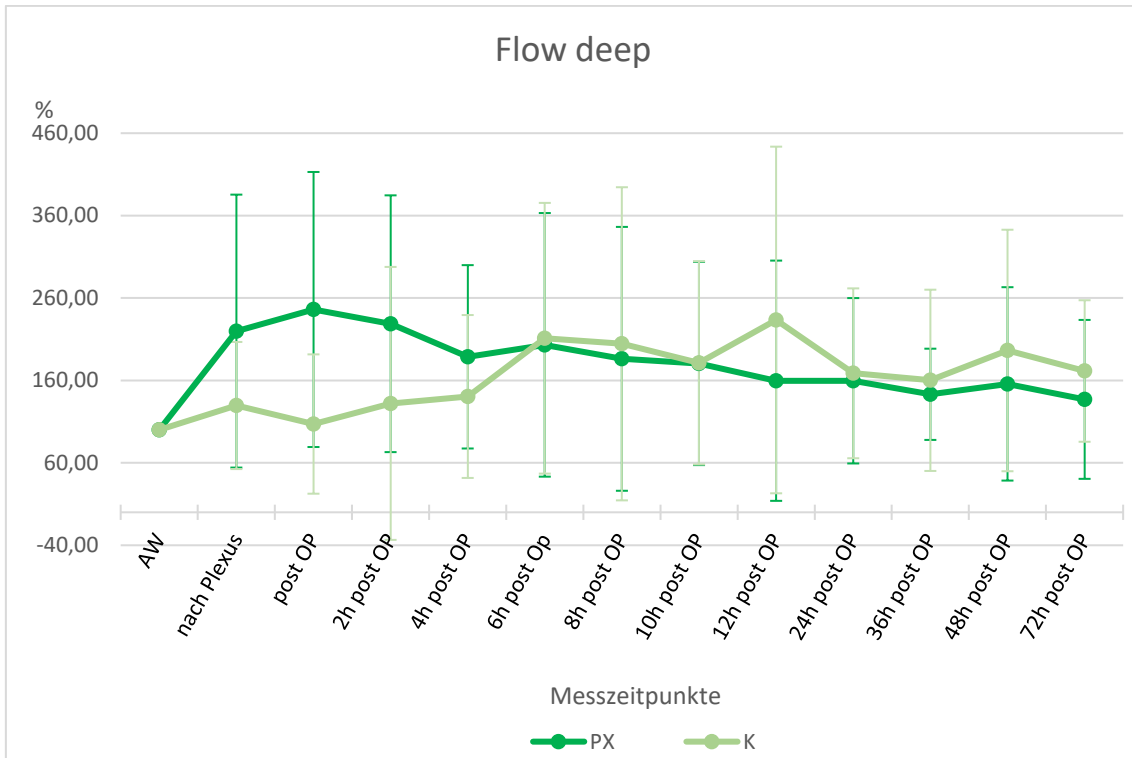
Tabelle 12 Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte des relativen Blutflusses (Flow in [AU]) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep;

	<b>Absolute Werte des Flow deep</b>									
	<b>PX</b>					<b>K</b>				
<b>Messzeitpunkt</b>	MW	STABW	Median	Min	Max	MW	STABW	Median	Min	Max
<b>Ausgangswert</b>	142,75	74,91	126,50	39,00	308,00	139,00	88,61	113,00	39,00	384,00
<b>nach Plexus</b>	234,15	64,48	250,00	97,00	345,00	152,55	84,30	134,00	29,00	289,00
<b>post OP</b>	246,53	61,91	266,00	100,00	351,00	104,47	48,44	102,00	40,00	197,00
<b>2h post OP</b>	223,33	64,41	245,00	83,00	317,00	106,33	66,75	83,00	27,00	243,00
<b>4h post OP</b>	204,90	72,31	217,00	11,00	341,00	142,70	65,76	132,50	61,00	322,00
<b>6h post Op</b>	193,60	76,35	222,00	73,00	306,00	181,20	85,84	150,00	73,00	353,00
<b>8h post OP</b>	181,75	67,48	188,00	49,00	273,00	187,40	71,35	183,00	73,00	299,00
<b>10h post OP</b>	182,64	63,92	192,50	40,00	277,00	181,36	68,15	166,00	73,00	340,00
<b>12h post OP</b>	172,27	84,31	196,00	44,00	296,00	197,09	109,51	209,00	57,00	414,00
<b>24h post OP</b>	173,05	69,01	172,50	28,00	318,00	170,00	72,03	151,00	41,00	315,00
<b>36h post OP</b>	161,27	70,61	135,00	63,00	286,00	158,60	78,37	159,00	36,00	304,00
<b>48h post OP</b>	167,55	66,70	152,00	64,00	287,00	194,00	72,81	192,00	77,00	321,00
<b>72h post OP</b>	191,71	74,45	236,00	84,00	277,00	210,93	80,73	203,50	64,00	308,00

### 3.6.6 Flow relativ

In der Grafik 12 kann man einen deutlichen Anstieg des Blutflusses bis zum postoperativen Messzeitpunkt erkennen. Im Verlauf der Messzeitpunkte sieht man, dass der Blutfluss bereits 2 Stunden postoperativ abfällt, jedoch im Vergleich zur Kontrollhand noch deutlich höher liegt.

6 Stunden postoperativ übersteigen die Werte des Blutflusses an der Kontrollhand die Werte der Plexushand. Ab diesem Zeitpunkt liegt der Blutfluss an der Kontrollhand bis zum letzten Messzeitpunkt über dem der Plexushand.



Grafik 12 Relativer Mittelwert und Standardabweichung des Flow im Verlauf; Plexushand (PX), Kontrollhand (K); Ausgangswert (AW) [81, 82]

Aus Tabelle 13 und Grafik 12 ersichtlich, gibt es jedoch zu den Zeitpunkten, in denen der Blutfluss der Kontrollhand über dem der Plexushand liegt, keinen signifikanten Unterschied mehr.

Signifikante Unterschiede im relativen Blutfluss lassen sich nach Anlage des Plexuskatheters und im postoperativen Verlauf nur bis zu 4 Stunden postoperativ darstellen.

Tabelle 13 Prozentuale Mittelwerte und Standardabweichungen des relativen Blutflusses (Flow) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep; [81, 82])

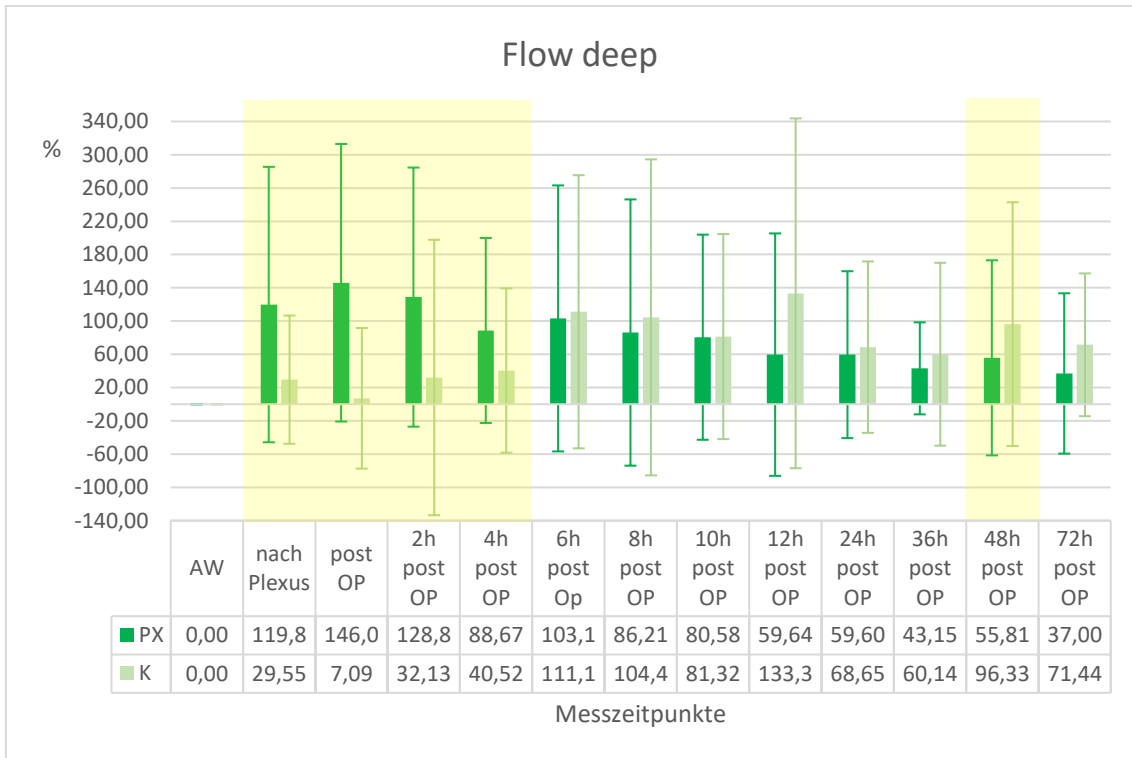
Relative Werte des Flow deep					
Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<b>Ausgangswert</b>	100,00	0,00	100,00	0,00	-
<b>nach Plexus</b>	219,85	165,59	129,55	77,12	0,018
<b>post OP</b>	246,08	166,86	107,09	84,52	0,000
<b>2h post OP</b>	228,81	155,78	132,13	165,59	0,027
<b>4h post OP</b>	188,67	111,23	140,52	98,82	0,024
<b>6h post Op</b>	203,19	159,93	211,18	164,25	0,426
<b>8h post OP</b>	186,20	160,08	204,44	189,98	0,263
<b>10h post OP</b>	180,58	123,32	181,32	123,30	0,487
<b>12h post OP</b>	159,64	145,76	233,35	210,31	0,128
<b>24h post OP</b>	159,60	100,34	168,65	103,07	0,294
<b>36h post OP</b>	143,15	55,35	160,14	109,95	0,284
<b>48h post OP</b>	155,81	117,31	196,33	146,53	0,035
<b>72h post OP</b>	137,00	96,41	171,44	85,85	0,229

Wie man der Grafik 13 entnehmen kann, steigt der Blutfluss im tiefen Gewebe um bis zu 146% postoperativ an. Bereits nach der Anlage des Plexuskatheters kommt es zu einem signifikanten Anstieg um 120%.

Auch die Werte des Blutflusses der Kontrollhand steigen im Verlauf an. Hier kann ein Anstieg um bis zu 111% beobachtet werden.

Es zeigt sich jedoch kein signifikanter Unterschied von Kontroll- zu Plexushand.





Grafik 13 Prozentuale Steigerung des Mittelwerts zum Ausgangswert und Standardabweichung des relativen Blutflusses (Flow) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K), signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Ausgangswert (AW)

### 3.6.7 Velocity absolut

Die Blutflussgeschwindigkeit errechnet sich aus dem relativen Blutfluss. Die absoluten Werte der Blutflussgeschwindigkeit sind in Tabelle 14 zu finden. Auch hier kann ein Anstieg zu Beginn der Messzeitpunkte festgestellt werden.

Tabelle 14 Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte der Blutflussgeschwindigkeit (Velocity in [AU]) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep;

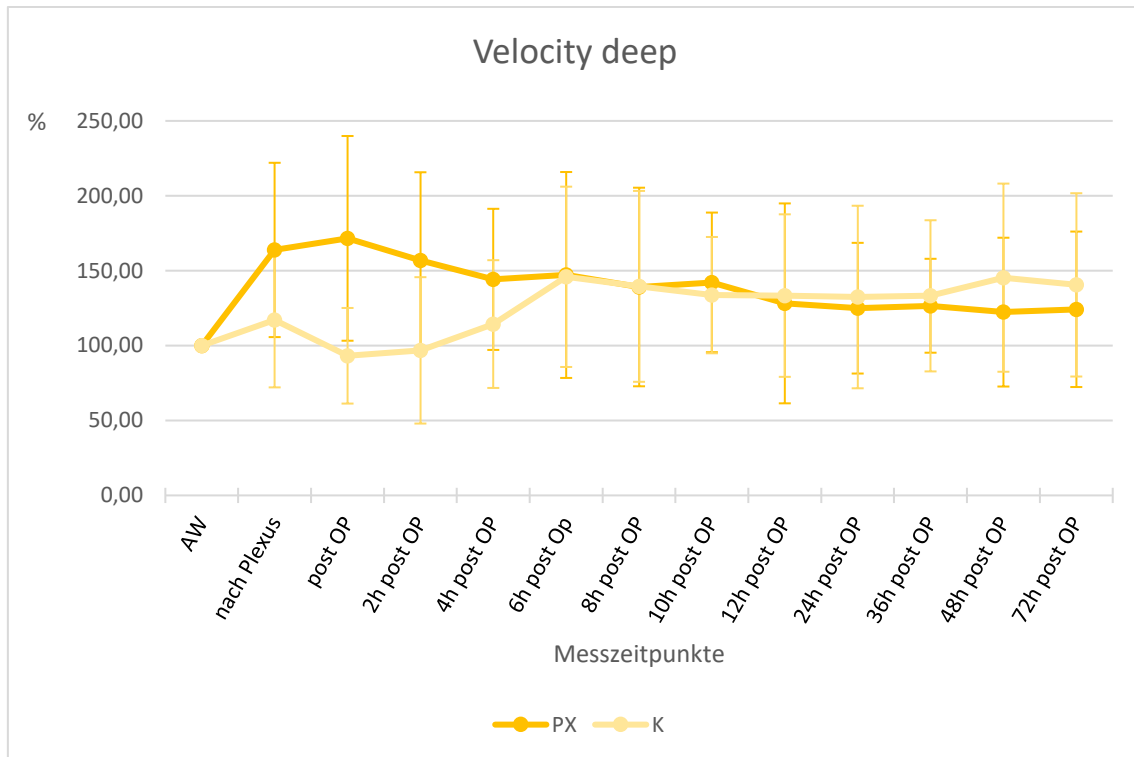
	<b>Absolute Werte der Velocity deep</b>									
	<b>PX</b>					<b>K</b>				
<b>Messzeitpunkt</b>	MW	STABW	Median	Min	Max	MW	STABW	Median	Min	Max
<b>Ausgangswert</b>	32,40	9,61	31,00	20,00	55,00	32,65	11,36	31,00	19,00	60,00
<b>nach Plexus</b>	49,40	11,49	51,00	32,00	73,00	36,15	13,85	32,00	15,00	74,00
<b>post OP</b>	50,00	11,66	48,00	30,00	72,00	27,05	5,88	25,00	19,00	37,00
<b>2h post OP</b>	44,87	10,40	45,00	26,00	66,00	27,47	7,80	26,00	15,00	44,00
<b>4h post OP</b>	43,75	12,02	42,00	27,00	74,00	34,40	10,13	31,00	18,00	59,00
<b>6h post Op</b>	41,07	13,23	38,00	17,00	67,00	40,60	11,66	37,00	24,00	63,00
<b>8h post OP</b>	40,80	12,53	40,00	20,00	73,00	41,00	11,92	40,50	20,00	59,00
<b>10h post OP</b>	40,57	10,93	40,00	20,00	67,00	39,64	11,13	35,50	25,00	63,00
<b>12h post OP</b>	40,00	15,20	41,00	22,00	73,00	38,91	13,19	33,00	24,00	65,00
<b>24h post OP</b>	37,80	10,36	35,00	23,00	64,00	39,10	14,24	36,00	17,00	75,00
<b>36h post OP</b>	37,20	11,36	33,00	25,00	64,00	38,80	13,12	38,00	21,00	60,00
<b>48h post OP</b>	36,85	10,82	35,50	23,00	63,00	42,85	13,15	40,00	20,00	66,00
<b>72h post OP</b>	45,14	14,72	46,50	25,00	72,00	44,86	15,89	38,50	22,00	68,00

### 3.6.8 Velocity relativ

Wie bei den anderen Messparametern kann ein signifikanter Unterschied im Verlauf der Messzeitpunkte der Blutflussgeschwindigkeit festgestellt werden. In Grafik 14 ist gut zu erkennen, dass zunächst nur die Werte der Plexushand ansteigen. Diese liegen deutlich über den Werten der Kontrollhand. Die Blutflussgeschwindigkeit an der Kontrollhand fällt postoperativ bis unter den Ausgangswert.

Im Verlauf der Messzeitpunkte nähern sich die Werte von Kontroll- und Plexushand immer weiter, wie beim Blutfluss, an.

6 Stunden postoperativ sind sie nahezu gleich. Auch hier, wie beim Blutfluss übersteigen die Werte der Kontrollhand 12 Stunden postoperativ die Werte der Plexushand.



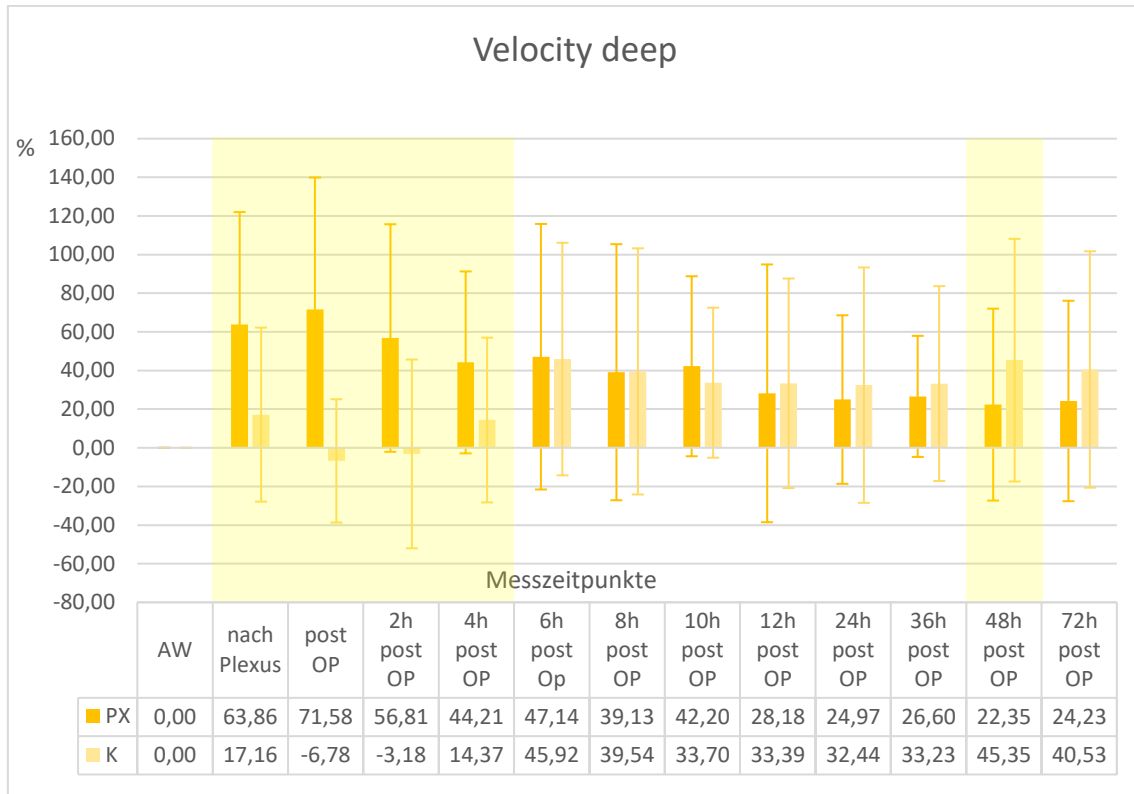
Grafik 14 Relativer Mittelwert und Standardabweichung der Velocity im Verlauf; Plexushand (PX), Kontrollhand (K); Ausgangswert (AW) [81, 82]

Wie in Tabelle 15 und Grafik 15 zu sehen, gibt es jedoch auch hier nur nach Anlage des Plexuskatheters bis 4 Stunden nach Operation einen signifikanten Unterschied. Ab dem Zeitpunkt, an dem die Blutflussgeschwindigkeit der Kontrollhand über der der Plexushand liegt, lässt sich kein signifikanter Unterschied mehr feststellen.

Tabelle 15 Prozentuale Mittelwerte und Standardabweichungen der Blutflussgeschwindigkeit (Velocity) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep; [81, 82]

Relative Werte der Velocity deep					
Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
Ausgangswert	100,00	0,00	100,00	0,00	-
nach Plexus	163,86	58,18	117,16	45,05	0,006
post OP	171,58	68,33	93,22	31,91	0,000
2h post OP	156,81	58,91	96,82	48,86	0,000
4h post OP	144,21	47,10	114,37	42,64	0,014
6h post Op	147,14	68,73	145,92	60,19	0,478
8h post OP	139,13	66,28	139,54	63,72	0,485
10h post OP	142,20	46,60	133,70	38,82	0,215
12h post OP	128,10	66,73	133,39	54,24	0,370
24h post OP	124,97	43,62	132,44	60,93	0,264
36h post OP	126,60	31,34	133,23	50,45	0,353
48h post OP	122,35	49,66	145,35	62,80	0,010
72h post OP	124,23	51,89	140,53	61,18	0,314

In Grafik 15 ist noch einmal der Zeitraum zuerkennen, in dem es einen signifikanten Unterschied zwischen Plexushand (nach Plexus bis 4h post OP) und Kontrollhand gibt. Zu sehen ist, dass nach 48h ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der Kontrollhand zu sehen ist.



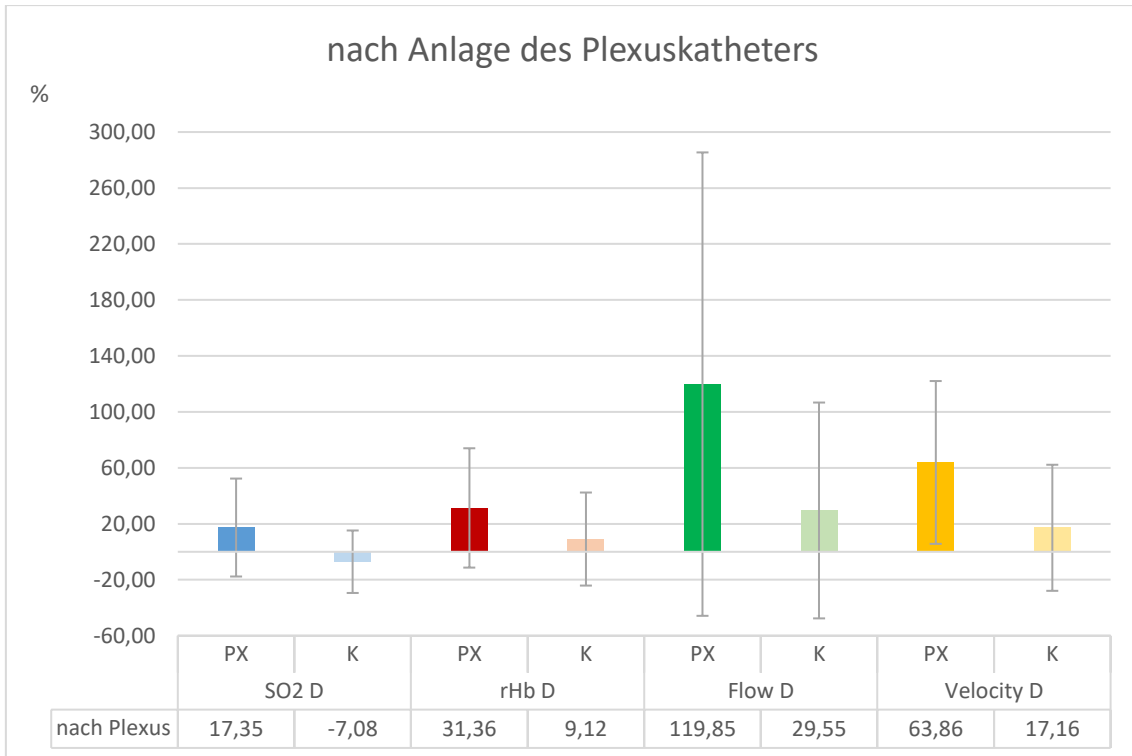
Grafik 15 Prozentuale Steigerung des Mittelwerts zum Ausgangswert und Standardabweichung der Blutflussgeschwindigkeit (Velocity) an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K), signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Ausgangswert (AW)

### 3.6.9 Übersichten

Im Folgenden werden die gemessenen Parameter in einer Übersichtsgrafik dargestellt. Zu sehen sind hier die Messzeitpunkte nach Anlage des Plexuskatheters (nach Plexus/ Grafik 16) und nach der Operation (nach OP/ Grafik 17).

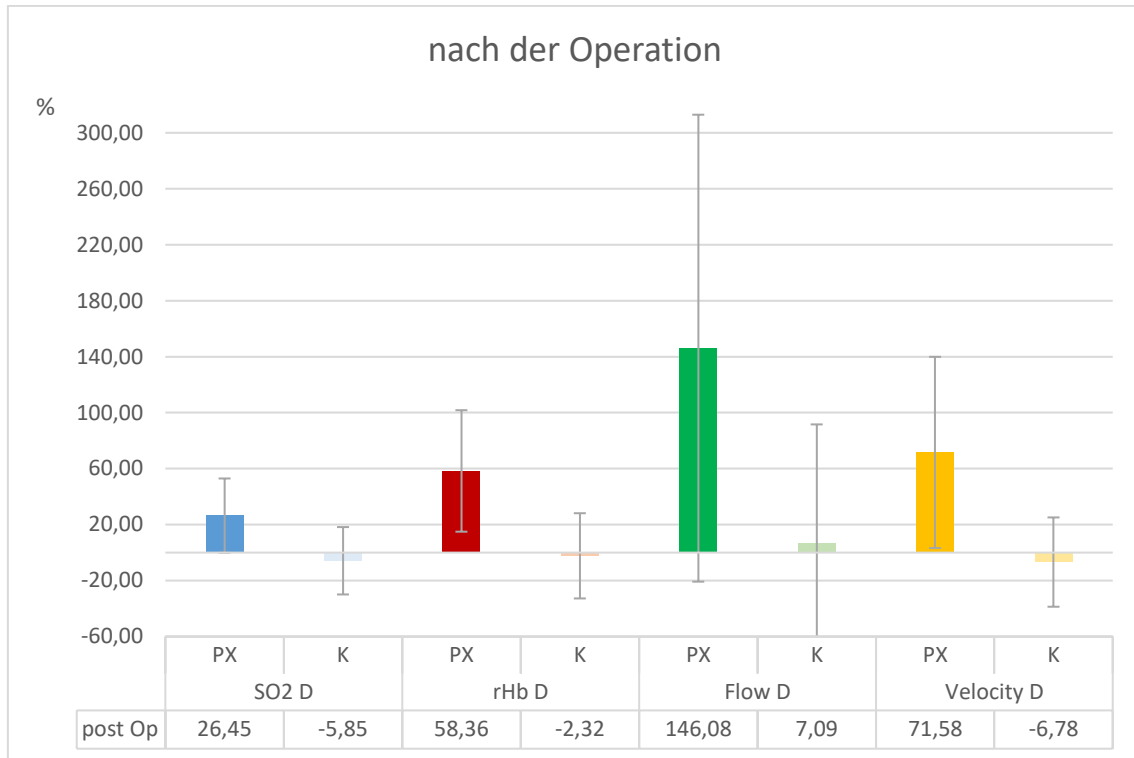
Es ist zu erkennen, dass es in beiden Messungen zu einem deutlichen Anstieg des jeweiligen Parameters (SO<sub>2</sub>, rHb, Flow und Velocity) an der Plexushand kommt. Anzumerken ist, dass die Unterschiede zwischen Plexus- und Kontrollhand signifikant sind. Eine Ausnahme stellt die Messung der relativen Hämoglobinmenge nach Anlage des Plexuskatheters dar. Hier konnte zwar ein prozentualer Anstieg, jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen der operierten und der nicht operierten Hand festgestellt werden (p: 0,062).

Zum Messzeitpunkt „nach Plexus“ wird noch einmal deutlich, dass hier der größte Anstieg im Blutfluss zu beobachten war. Es zeigte sich eine Steigerung um 120%.



Grafik 16 Prozentuale Steigerung und Standardabweichung aller Parameter in der Übersicht zum Zeitpunkt nach Anlage des Plexuskatheters an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) zum Ausgangswert (0,00% entspricht hier dem relativen Ausgangswert von 100%)

Auch unmittelbar postoperativ stiegen die Blutflussparameter (SO<sub>2</sub>, rHb, Flow und Velocity) weiter an. Hier konnte, wie schon beschrieben, in jeder Messreihe ein signifikanter Unterschied zwischen der Plexus- und der Kontrollhand festgestellt werden.



Grafik 17 Prozentuale Steigerung und Standardabweichung zum Zeitpunkt nach der Op an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) zum Ausgangswert (0,00% entspricht hier dem relativen Ausgangswert von 100%)

### 3.7 Auslassversuch nach 24 Stunden

#### 3.7.1 absolute Werte

Tabelle 16 beschreibt die Messwerte der verschiedenen Parameter im Auslassversuch 24 Stunden postoperativ.

AV 2.-5. stellen die stündlichen Messungen nach Abschalten der Spritzenpumpe des Plexuskatheter dar. Wie in Tabelle 16 erkennbar, kommt es im Verlauf dieser Messreihe zu keinen nennenswerten Unterschieden zwischen der Plexushand und der Kontrollhand. Es kommt bei der Sauerstoffsättigung zu keinem deutlichen Abfall nach Beendigung der kontinuierlichen Lokalanästhetikagabe. Ebenso ist dies in der Messreihe der relativen Sauerstoffsättigung zu sehen.

Im Verlauf der Messungen kommt es beim Blutfluss zu einem geringen Anstieg der Werte. Dieser Anstieg kann jedoch sowohl bei der Plexushand, als auch bei der Kontrollhand beobachtet werden. Da die Blutflussgeschwindigkeit aus dem

relativen Blutfluss berechnet wird, ist auch hier ein geringer Anstieg der Messwerte in beiden Händen zu beobachten.

*Tabelle 16 Messwerte des Auslassversuches (beschrieben in 2.2.4). Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte der SO<sub>2</sub> an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep;*

<b>SO<sub>2</sub></b>								
	<b>PX</b>				<b>K</b>			
<b>Messzeitpunkt</b>	<b>MW</b>	<b>STABW</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>MW</b>	<b>STABW</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
AW	71,95	16,06	42,00	91,00	80,85	11,20	46,00	96,00
AV 1.	88,05	7,18	70,00	95,00	83,80	9,62	59,00	94,00
AV 2.	87,94	5,46	76,00	95,00	85,50	7,55	71,00	94,00
AV 3.	84,27	9,62	61,00	92,00	83,27	10,73	60,00	93,00
AV 4.	83,07	9,58	62,00	95,00	87,29	4,84	72,00	91,00
AV 5.	87,42	8,87	69,00	97,00	87,83	4,57	83,00	92,00

*Tabelle 17 Messwerte des Auslassversuches (beschrieben in 2.2.4). Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte der rHb an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Ausgangswert (AW)*

<b>rHb</b>								
	<b>PX</b>				<b>K</b>			
<b>Messzeitpunkt</b>	<b>MW</b>	<b>STABW</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>MW</b>	<b>STABW</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
AW	39,80	13,38	11,00	68,00	42,70	15,55	20,00	93,00
AV 1.	49,00	10,85	36,00	75,00	49,50	20,80	28,00	116,00
AV 2.	48,31	8,78	36,00	61,00	48,13	13,36	30,00	75,00
AV 3.	45,80	9,81	30,00	72,00	45,67	8,32	30,00	60,00
AV 4.	46,57	10,83	30,00	76,00	46,57	12,43	27,00	73,00
AV 5.	46,83	10,39	29,00	59,00	45,08	9,01	33,00	61,00



Tabelle 18 Messwerte des Auslassversuches (beschrieben in 2.2.4). Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte der Velocity an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Ausgangswert (AW)

Flow								
	PX				K			
Messzeitpunkt	MW	STABW	Min	Max	MW	STABW	Min	Max
AW	142,75	76,86	39,00	308,00	139,00	90,91	39,00	384,00
AV 1.	173,05	70,80	28,00	318,00	170,00	73,90	41,00	315,00
AV 2.	188,63	86,13	66,00	292,00	207,38	64,53	99,00	308,00
AV 3.	169,33	93,83	52,00	308,00	170,87	79,91	33,00	299,00
AV 4.	188,00	67,01	57,00	299,00	173,86	76,34	86,00	297,00
AV 5.	189,83	76,13	45,00	295,00	199,92	61,22	110,00	314,00

Tabelle 19 Messwerte des Auslassversuches (beschrieben in 2.2.4). Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min) und Maximum (Max) der absolut gemessenen Werte des Flow an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K); Ausgangswert (AW)

Velocity								
	PX				K			
Messzeitpunkt	MW	STABW	Min	Max	MW	STABW	Min	Max
AW	32,40	9,86	20,00	55,00	32,65	11,66	19,00	60,00
AV 1.	37,80	10,63	23,00	64,00	39,10	14,61	17,00	75,00
AV 2.	40,56	13,57	22,00	57,00	44,75	13,53	27,00	68,00
AV 3.	38,87	17,37	21,00	71,00	40,33	13,09	25,00	68,00
AV 4.	40,36	11,85	20,00	69,00	39,79	12,10	29,00	69,00
AV 5.	41,67	12,58	21,00	60,00	44,58	14,90	24,00	77,00

### 3.7.2 relative Werte

In den Tabellen 20-23 sind die Werte der Auslassversuchsmessung in Relation zum Ausgangswert gesetzt. Es zeigt sich nur bei den Messungen der Sauerstoffsättigung 24 Stunden postoperativ sowie eine Stunde nach dem Auslassversuch ein signifikanter Unterschied der Mikrozirkulation zwischen der

Plexushand und der Kontrollhand. In allen anderen Messreihen des Auslassversuchs ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen.

*Tabelle 20 Prozentuale Mittelwerte der SO<sub>2</sub> an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep*

Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<b>AV 1.</b>	128,92	33,45	106,65	26,72	0,008
<b>AV 2.</b>	126,31	28,84	107,36	28,04	0,020
<b>AV 3.</b>	96,42	14,13	101,85	16,62	0,174
<b>AV 4.</b>	95,17	14,47	101,15	10,49	0,101
<b>AV 5.</b>	101,85	9,12	101,95	3,95	0,488

*Tabelle 21 Prozentuale Mittelwerte der rHb an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep*

Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<b>AV 1.</b>	146,69	99,29	126,24	58,23	0,150
<b>AV 2.</b>	144,06	113,68	123,06	57,79	0,174
<b>AV 3.</b>	94,51	20,04	105,54	30,50	0,096
<b>AV 4.</b>	97,99	27,35	97,00	29,08	0,437
<b>AV 5.</b>	103,97	30,40	103,93	19,50	0,499

Tabelle 22 Prozentuale Mittelwerte des Flow an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep

Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<b>AV 1.</b>	159,60	100,34	168,65	103,07	0,294
<b>AV 2.</b>	148,69	76,40	186,39	84,08	0,076
<b>AV 3.</b>	95,56	45,55	103,28	45,07	0,283
<b>AV 4.</b>	123,10	80,67	91,35	57,35	0,112
<b>AV 5.</b>	130,25	77,43	137,58	82,62	0,418

Tabelle 23 Prozentuale Mittelwerte der Velocity an der Plexushand (PX) im Vergleich mit der Kontrollhand (K) und p-Werte ( $p < 0.05$  gilt als signifikant; signifikante Unterschiede wurden farbig hinterlegt; Die Werte entstammen der Tiefenmessung: deep

Messzeitpunkt	PX [%]		K [%]		p-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<b>AV 1.</b>	124,97	43,62	132,44	60,93	0,264
<b>AV 2.</b>	128,68	47,70	140,88	32,99	0,212
<b>AV 3.</b>	96,54	24,27	104,30	27,61	0,103
<b>AV 4.</b>	106,91	41,64	91,19	26,94	0,120
<b>AV 5.</b>	116,09	36,16	116,80	42,61	0,483

## 4 Diskussion

Eine der größten Herausforderung bei Replantationen an der Hand ist es, eine ausreichende Perfusion des replantierten Gewebes zu gewährleisten [4]. Eine Minderperfusion birgt die Gefahr des Verlustes des Replantats.

Um möglichst gute postoperative Ergebnisse nach Replantationen zu erzielen, wird unter anderem während und nach der Operation ein Plexuskatheter eingesetzt. Dieser dient vordringlich der Analgesie und im postoperativen Verlauf der weiteren Schmerztherapie [7, 9, 10, 12-29]. Daneben ist ein vasodilatatorischer Effekt durch Sympathikolyse seit langem bekannt [6, 8, 54, 55, 57, 58]. Diese Studie soll den bekannten Effekt der Perfusionssteigerung nach Anlage eines Plexuskatheters verifizieren und quantifizieren.

In der Literatur wurden bereits Änderungen der Perfusion an den Fingern durch den Einsatz eines Plexuskatheter beschrieben [4-7, 9, 55, 56].

Schon Berger et al. haben 1985 einen Anstieg des Blutflusses der Hand festgestellt [4]. In dieser Studie wurde der Effekt des Plexuskatheters an autolog transplantierten Fingern und Zehen gemessen und beobachtet. Das transplantierte Gewebe unterlag keinem weiteren Trauma. Ödembildung und Gefäßspasmen konnten durch diese Methode verhindert werden [4].

Berger konnte eine plethysmographisch nachgewiesene Steigerung des peripheren Blutflusses zwischen 102% und 786% unmittelbar nach der Anlage des Plexuskatheters beobachten [4]. Auch in der vorliegenden Studie konnte ein signifikanter Anstieg des Blutflusses nach Anlage des Plexuskatheters nachgewiesen werden. Mit dem O2C®-Gerät konnte erstmals mittels Laser-Doppler-Messung gezeigt werden, dass der Blutfluss nach Anlage des Plexuskatheters im Schnitt um 120% anstieg.

Ebenso wie Berger konnten McGregor et al. [5] plethysmographisch gemessene Blutflusssteigerungen sowie Veränderungen der Hauttemperatur nach Anlage eines Plexuskatheters verifizieren. Im Gegensatz zu dieser Studie waren die Werte hier deutlich signifikant erhöht, wenn Adrenalin dem Lokalanästhetikum beigefügt wurde.

Meine Messungen zeigen ebenso wie McGregor einen signifikanten Anstieg auch ohne Zugabe von Adrenalin. Zudem erfolgten die Messungen bei McGregor durch die Anästhesie des Plexus brachialis am Unterarm [5].

Ebenso konnten Cross et al. einen gesteigerten Blutfluss in den Fingern durch eine Plexusanästhesie beobachten (auch hier unter Zugabe von Adrenalin [6]), jedoch ohne signifikanten Anstieg des Blutflusses der Finger im postoperative Verlauf. Im Gegensatz zur Vorgehensweise bei dieser Arbeit wurde das verwendete Lokalanästhetikum im Sinne der Single-Shot-Technik dort nur einmalig appliziert [6]. Der Einfluss der angelegten Blutsperre wurde nicht untersucht. Die von Cross gewählten Messzeitpunkte erlaubten keine Rückschlüsse auf einen möglichen Einfluss einer Hyperämie nach Blutleere auf den Blutfluss [6]. Es wurde davon ausgegangen, dass es zu keiner weiteren Steigerung kam. Cross konstatiert, die venösen Gefäße seien durch den sympathikolytischen Effekt des applizierten Lokalanästhetikums maximalen dilatiert [6].

In dieser Untersuchung konnte jedoch ein signifikanter Anstieg von der ersten Applikation des Lokalanästhetikums bis zu 4 Stunden postoperativ festgestellt werden. Der Anstieg belief sich auf bis zu 146%. Danach war der Effekt zwar weiter nachweisbar, jedoch nicht mehr signifikant. In dieser Studie wurde, im Unterschied zu den zitierten Arbeiten, auch postoperativ ein Lokalanästhetikum zur Fortsetzung der Analgesie verabreicht.

Li et al. [55] beschrieben sowohl einen steigernden Effekt der Plexusanästhesie auf den Blutfluss als auch auf die Blutflussgeschwindigkeit (Velocity). Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Studien kam bei Li das Pulswellendoppler-Verfahren im Bereich der A. brachialis zum Einsatz [55]. In der Studie konnten demgegenüber ein signifikanter Anstieg der Blutflussgeschwindigkeit im Kapillarstromgebiet festgestellt werden. In dieser Studie konnte ein Anstieg der Velocity um bis zu 72% zum Ausgangswert gemessen werden. Die bisher beschriebenen Studien konnten keine weitere Aussage über die Sauerstoffsättigung machen.

Lumenta et al [56] hingegen beschrieben einen positiven Effekt der Plexusanästhesie auf die Sauerstoffsättigung. Mittels Blutgasanalyse wurde die

Sauerstoffsättigung präoperativ, intraoperativ und postoperativ zu insgesamt 4 Messzeitpunkten beschrieben. Die Untersuchung wurde bei elektiven Operationen mit Plexuskatheter durchgeführt. Die Lokalanästhetika wurden mit einer Multiinjektions-Technik zu Beginn der Operation appliziert. [56]

Auch diesen Effekt konnte ich im Kapillargebiet nachweisen und quantifizieren. Die Sauerstoffsättigung  $SO_2$  stieg nach Anlage des Plexuskatheters um 17% und postoperativ im Vergleich zum Ausgangswert um 26% an.

Anders als bei Lumenta et al [56] konnte bei meinen Messungen bereits unmittelbar nach Anlage des Plexuskatheters und der Applikation des Lokalanästhetikums ein signifikanter Unterschied zwischen der Plexus- und der Kontrollhand festgestellt werden.

Wie schon in der Literatur geschildert, konnte in dieser Arbeit der gefäßerweiternde Effekt des Plexuskatheters auf die Mikrozirkulation bestätigt werden. Im Vergleich zu den beschriebenen Studien konnte in dieser Studie der Effekt auf die Mikrozirkulation der Hand durch die Blutflussparameter  $SO_2$ , rHb, Flow und erstmals Velocity zudem quantifiziert werden. Die synchrone und lokale Messung der Blutflussparameter ( $SO_2$ , rHb, Flow, Velocity) erlaubt eine genauere Einschätzung der Qualität und der Quantität der Sauerstoffversorgung in der Mikrozirkulation des Zielgewebes.

Berger [4], McGregor [5], Li [55] und Lumenta [56] beschränkten ihre Messungen auf den Zeitraum unmittelbar nach Anlage des Plexuskatheters. Cross [6] beschreibt einen Effekt bis 24 Stunden postoperativ. Im Gegensatz dazu wird der Plexuskatheter in der gängigen Praxis auch im postoperativen Verlauf zur lokalen analgetischen Therapie, und damit wesentlich länger als in den genannten Studien beschrieben, eingesetzt. Die Effekte auf die Mikrozirkulation durch den Langzeiteinsatz der Plexusanästhesie sind bisher nicht beschrieben.

Diese Studie ist die einzige und auch die erste mit regelmäßigen Messzeitpunkten über eine postoperative Zeitspanne von 72 Stunden.

McGregor stellte fest, dass auch 24 Stunden nach Anlage des Plexuskatheters und Verabreichung der Lokalanästhetika der Blutfluss nicht auf den Ausgangswert seiner Messung zurückgegangen war [5].

Auch die von mir gemessenen Werte der Blutflussparameter liegen 24 Stunden postoperativ noch über denen des Ausgangswertes. Diese Beobachtung kann auch bei den weiteren Messzeitpunkten bis 72 Stunden postoperativ festgestellt werden. Hier findet sich allerdings kein signifikanter Unterschied mehr zwischen der Plexus- und der Kontrollhand. Eine Ausnahme stellen die gemessenen Werte der SO<sub>2</sub> 24 Stunden postoperativ dar. Hier gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen der Plexus- und der Kontrollhand.

Eine zusammenfassende Übersicht des vorher beschriebenen Literaturvergleichs findet sich in Tabelle 24.

Tabelle 24 Verkürzte Übersichtstabelle des Literaturvergleichs

Autor	N	Messmethode	erhobene Parameter	Messzeitpunkte	Plexuskatheter	Lokal-anästhetika	Ergebnisse
<b>Berger et. al [4]</b>	5	Pletysmograph	Arterieller Blutfluss, akraler Puls, akraler systolischer Blutdruck	Vor und nach Plexusblockade	Axillärer Plexusblock, Single-Shot-Technik, postop. 0.25% Bupivacain alle 6 Stunden	Mepivacain, Bupivacain	Arterielle Perfusionssteigerung von 102%-786%, Verhinderung von Gefäßspasmen
<b>McGregor et. al [5]</b>	20	Pletysmograph	Blutfluss, Blutflussgeschwindigkeit, Hauttemperatur	Vor und nach Plexusblockade	Supraclaviculärer Plexusblock, Single-Shot-Technik	Bupivacain + Lignocain vs. Bupivacain + Lignocain + Adrenalin	Blutflusssteigerung 3,1-fach, Blutflussgeschwindigkeitssteigerung 2,8-fach, Temperatursteigerung von 4.6°C, deutliche Steigerung der Hämodynamischen Parameter durch Adrenalingabe, 1 Pat. Blutflusssteigerung nach 24h noch nachweisbar
<b>Cross et. al [6]</b>	20	Pletysmograph	Blutfluss des Arm, Blutfluss der Finger, Blutdruck, Hauttemperatur der Finger	Vor Op, nach Op, nach Abklingen der Plexusblockade	Supraclaviculärer oder axillärer Plexusblock, Single-Shot-Technik	Lignocain + Adrenalin	Blutdrucksteigerung nach PX, Blutfluss im Kontrollarm stieg, jedoch nicht im Plexusarm, Blutfluss in den Finger stieg in PX (signifikant) und Kontrollhand, Blutflusssteigerung auch postoperativ nachweisbar, Hauttemperatur stieg nach

							PX und war auch postoperativ erhöht
<b>Li et. al [55]</b>	8	Pulswellendoppler-Verfahren der A. brachialis	Blutflussgeschwindigkeit, Blutfluss, Durchmesser der A. brachialis, Blutdruck, Hauttemperatur	Nach 0min, 5min, 10min, 20min, 30min	Axillärer Plexusblock, Multiinjektions-Technik	Ropivacain	Signifikante Blutflusssteigerung und -geschwindigkeitssteigerung, Temperaturanstieg, Arterielle Vasodilatation
<b>Lumenta et. al [56]</b>	20	venöse Blutgasanalyse	Sauerstoffsättigung	Vor und nach Plexusblockade, sowie nach der Op	Axilläre Plexusblockade, Multiinjektions-Technik	Mepivacain + Ropivacain	Steigerung der Sauerstoffsättigung nach PX und nach Op; Keine signifikante Veränderung des Laktatspiegels, des pH-Wertes und des Bicarbonatlevel; HKt, Hb und Glukoselevel veränderten sich nicht

Diese Studie ist zudem die bisher einzige, die eine Bewertung aller 4 Parameter zum jeweils gleichen Messzeitpunkt aufzeigt. Dadurch ist es möglich, den Einfluss der Plexusanästhesie auf die Mikrozirkulation nicht nur kurzfristig, sondern auch im weiteren postoperativen Verlauf zu beurteilen.

## 4.1 Blutflussparameter

### 4.1.1 SO<sub>2</sub>

An der Plexushand zeigt die relative Veränderung der Sauerstoffsättigung nahezu durchgängig signifikant erhöhte Werte gegenüber denen der Kontrollhand. Im Bereich der Kontrollhand fallen die Messwerte zunächst unter den Ausgangswert und steigen ab 4 Stunden postoperativ bis zum Ende der Messungen auf ein relativ höheres Niveau an. Eine Signifikanz wird an der Kontrollhand jedoch nicht erreicht. Hier zeigt sich, dass es durch Anlage der Plexusanästhesie zu einer vorübergehenden Hyperoxie in der Mikrozirkulation der Kontrollhand kommt. Da die Effekte an der Kontrollhand jedoch unterhalb des Signifikanzniveaus aber innerhalb der Standardabweichung bleiben, könnten sie eventuell auf die Schwankungsbreite der Messwerte zurückgeführt werden.



Andererseits ist durch die angewandte Blutleere an der kontralateralen Seite mit einer Reperfusionreaktion im Sinne eines Remote-Ischemic Conditioning zu rechnen [83-86]. Dabei werden durch den Einsatz von lokaler Ischämie (zum Beispiel eines Armes) durchblutungssteigernde Effekte an anderen, nicht behandelten Geweben mit geringer Ischämietoleranz induziert [85]. In der Handchirurgie wird dieses Verfahren in der Regel nicht eingesetzt, da die Ischämiezeiten der Operationen regelmäßig unterhalb der Ischämietoleranzzeiten der Hand liegen. Anders jedoch wird zum Beispiel bei der Bypass-Chirurgie am schlagenden Herzen eine Verlängerung der Ischämietoleranz des Myokards durch Remote Ischemic Conditioning (durch wiederholte Ischämie eines Armes) induziert. [85, 86]

Ein solcher Einfluss kommt möglicherweise auch bei diesen Untersuchungen zum Tragen.

Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass im gesamten Messzeitraum eine Immobilisation der operierten Hand erforderlich ist, während die nicht operierte Hand kompensatorisch hypermobil ist. Gleichzeitig kann auch die zunehmende Mobilität des Patienten einen Einfluss auf die später postoperativ gemessenen Werte haben.

#### 4.1.2 rHb

An der Plexushand zeigt die relative Veränderung des rHb nur vom Zeitpunkt der Anlage der Plexusanästhesie bis zu 4 Stunden postoperativ signifikant erhöhte Werte gegenüber den Werten der Kontrollhand. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass es durch Anlage der Plexusanästhesie zu einer vorübergehenden Vasodilatation in der Mikrozirkulation der Plexushand kommt. Im Bereich der Kontrollhand fallen die Messwerte zunächst ebenfalls unter den Ausgangswert und steigen ab 4 Stunden postoperativ bis zum Ende der Messungen auf ein relativ höheres Niveau an.

Dies ist anhand der erhöhten Hämoglobinmenge pro Gewebesvolumen ablesbar. Die Effekte an der Kontrollhand könnten auf Messungenauigkeiten zurückgeführt werden. Andererseits ist auch hier durch die angewandte Blutleere mit einer Reperfusionreaktion im Sinne eines Remote-Conditioning zu rechnen [83, 84].

Die Unterschiede im Zeitverlauf der Veränderungen zwischen SO<sub>2</sub> und rHb sind vermutlich auf interindividuelle Faktoren zurückzuführen (z.B. die Lage des Katheters, Dosis/Verhältnis der Lokalanästhetika)

#### 4.1.3 Flow

An der Plexushand zeigt die relative Veränderung des Flows ab der Anlage des Plexuskatheters bis 4 Stunden postoperativ signifikante und erheblich erhöhte Werte. Hier kann beobachtet werden, dass es durch Anlage der Plexusanästhesie zu einer Steigerung der Flussgeschwindigkeit in der Mikrozirkulation der Hand kommt. Dies ist anhand der erhöhten Beweglichkeit der Erythrozyten im Gewebesvolumen messbar. Die Werte steigen nach der Plexusanästhesie um 120% und postoperativ sogar um 146% über den Ausgangswert. Die Werte bleiben bis zum Ende der Messungen, 72 Stunden postoperativ, erhöht, ohne jedoch das Signifikanzniveau zu erreichen.

Im Bereich der Kontrollhand steigen die Messwerte ebenfalls an. 6 Stunden postoperativ übersteigt der Flow der Kontrollhand sogar den der Plexushand.

Die ursächlichen Einflussfaktoren sind weiter oben bereits diskutiert worden. Die Veränderungen im Flow folgen im Wesentlichen den anderen Parametern. Abweichende Messwerte, die auf weitere Einflussfaktoren hinweisen würden, sind nicht aufgetreten.

#### 4.1.4 Velocity

An der Plexushand zeigt die relative Veränderung der Velocity nur vom Zeitpunkt der Anlage des Plexuskatheters, ähnlich wie bei der rHb, bis 4 Stunden postoperativ signifikante erhöhte Werte im Vergleich zu den Ausgangswerten. Im Bereich der Kontrollhand fallen die Messwerte zunächst ebenfalls unter den Ausgangswert und steigen ab 4 Stunden postoperativ bis zum Ende der Messungen auf ein relativ höheres Niveau. Eine Signifikanz wird auch hier an der Kontrollhand nicht erreicht.

Da es sich hierbei um einen Surrogatparameter handelt, ist die gezeigte Veränderung nachvollziehbar und folgt den gemessenen Primärparametern.

## 4.2 Abschließende Beurteilung

Es konnten in einem Zeitraum von bis zu 4 Stunden postoperativ signifikante Unterschiede zwischen der Plexushand und der Kontrollhand gefunden werden, wohingegen im weiteren Verlauf -wider Erwarten- ein anhaltender Effekt nicht mehr substantiell nachweisbar ist.

Der deutliche und unmittelbar postoperative Anstieg der gemessenen Parameter könnte nicht nur durch die Plexusanästhesie bedingt sein, sondern auch der Hyperämie nach Beenden der Blutleere geschuldet sein. Diese synergistisch wirkenden Effekte auf die Mikrozirkulation können im Rahmen dieser Untersuchung nur vor Beginn der Blutleere klar getrennt werden.

Es konnte jedoch gezeigt werden, dass es zu einem Anstieg des Blutflusses in der Mikrozirkulation bereits nach Anlage der Plexusanästhesie und vor Beginn der Blutleere kommt. Diese Werte sind bereits signifikant. Es kam zu einem Anstieg der Sauerstoffsättigung (an der Plexushand  $SO_2$ : +17,35%; an der Kontrollhand  $SO_2$ : - 7,08%;  $p$ : 0,010), des Blutflusses (an der Plexushand Flow: +119,80%; an der Kontrollhand Flow: +29,55%;  $p$ : 0,018) und der Blutflussgeschwindigkeit (an der Plexushand Velocity: +63,86%; an der Kontrollhand Velocity: 17,16%;  $p$ : 0,006).

Hierdurch wird die Hypothese bestätigt, dass es zu einer Sympathikolyse durch die Applikation der Plexusanästhesie kommt. Dies wird auch in dieser Untersuchung eindeutig gezeigt und ist unabhängig von der anschließenden Blutleere. Nach Beenden der Blutleere kommt es offensichtlich sowohl an der operierten, als auch an der Kontrollhand zu zusätzlichen Effekten. Es ist lange bekannt, dass es nach Operationen in Blutleere abhängig von der Ischämiezeit für die Dauer von bis zu Wochen zu einer reaktiven Hyperämie im betroffenen Gewebe kommt [87, 88]. Der Einfluss des Plexuskatheters ist durch diese synergistischen Effekte nicht mehr so deutlich nachweisbar.

Die verwendeten Lokalanästhetika und ihre Dosierung sowie deren Pharmakokinetik haben ebenfalls einen nachweisbaren Effekt auf die

Mikrozirkulation im Gewebe. Der initiale Effekt wird durch die Gabe des Single Shot mit Scandicain® bei Anlage des Plexuskatheters erklärt. Die Lokalanästhetika wurden in einem Mischungsverhältnis von durchschnittlich 40ml:12ml zu Gunsten von Scandicain® appliziert. Im weiteren Verlauf wurde lediglich Ropivacain® zur Analgesie verabreicht.

Betrachten man nun die Kurven der Blutflussparameter, ist nur zu Beginn der Messreihen (4h) ein deutlicher Unterschied in der peripheren Mikrozirkulation zu erkennen. Auffällig ist, dass genau in dieser Zeitspanne die Wirkdauer des mittellang wirkenden Scandicains® zu erwarten ist. Daher wird angenommen, dass die Daten dieser Studie die vasodilatatorische Wirkung des ausreichend hoch dosierten Scandicains® (Plasmahalbwertszeit ca. 4 Stunden) in ihrem Verlauf widerspiegeln.

Da es nach Erreichen der Halbwertszeit des Scandicain® im Verlauf zu einer Plateaubildung der Parameter kommt, ist davon auszugehen, dass Ropivacain® in dieser Studie nicht den gleichen Effekt auf die Mikrozirkulation der Hand hat. Dies liegt möglicherweise an der geringeren Dosierung des Ropivacain®. Zu bemerken ist, dass die Dosierung sich im weiteren Verlauf am analgetischen Effekt orientiert. Es ist nicht auszuschließend, dass eine Erhöhung der Dosis einen ähnlichen Effekt auf die Mikrozirkulation haben könnte.

Während des sogenannten Auslassversuches orientiert man sich ebenfalls nur am Bedarf des Patienten an Schmerzmedikation. Außer bei SO2 ist bei keinem Parameter ein signifikanter Unterschied nach dem Auslassversuch mehr nachweisbar. Ob es sich bei den signifikanten Werten um den Einfluss der Hyperämie handelt oder um die Wirkung des Ropivacain® ist nicht klar differenzierbar. Es ist anzunehmen, dass die vasodilatatorischen sympatholytischen Effekte des Ropivacains® aufgrund der Unterdosierung zum Zeitpunkt des Auslassversuches nicht wirksam waren. Dadurch erklärt sich der nicht nachweisbare Effekt bei allen anderen Parametern während dieser Messzeitpunkte. Zudem ist fraglich ob die gewählten Messzeitpunkte im Abstand von 1h über 4h, geeignet sind, die Wirksamkeit von Ropivacain® mit einer Halbwertszeit von 4h ausreichend zu erfassen.

Dazu ist bekannt, dass es durch wiederholte Gaben von Lokalanästhetika zu einer Tachyphylaxie kommen kann. Ein Gewöhnungseffekt kann daher nicht ausgeschlossen werden. [89]

Anzumerken ist ebenso, dass es im Verlauf der Messungen ebenfalls zu keinem Rebound-Effekt der Medikamente kommt. Ein Abfall der durchblutungsrelevanten Messparameter unterhalb der Ausgangswerte konnte im Zusammenhang mit dem Auslassversuch nicht beobachtet werden. Im Falle eines Rebound-Effektes wäre dies zu erwarten gewesen [90]. Zu keinem Zeitpunkt konnte ein solcher hypothetisch konträrer Effekt nachgewiesen werden.

#### 4.3 Limitierungen, zukünftige Studie

Trotz der relativ geringen Fallzahl der Probanden lassen sich durch eine hohe Anzahl von Messpunkten signifikante Werte gut ableiten. Damit ist die Arbeit gut geeignet als Vorläuferstudie den Weg für Folgestudien zu bereiten. Folgestudien sollten mit größerer Fallzahl durchgeführt werden, um eine bessere Trennschärfe und Validität zu erreichen.

Es konnte durch den Einsatz des Plexuskatheters und der Applikation von Lokalanästhetika ein nachhaltig positiver Effekt auf die Durchblutungssituation der Hand gezeigt werden. Jedoch war eine klare Trennung von anderen synergistischen Effekten im Rahmen dieses Studiendesigns nicht umsetzbar.

Zusätzlich limitierend ist die Verwendung der Kontrollhand zur Gewinnung von Vergleichsparametern, da an der Kontrollhand die bekannten Fernauswirkungen von Ischämie/Reperfusion eine Rolle spielen.

Im Falle von Replantaten könnten eventuell die benachbarten Gliedmaßen eine bessere Referenz darstellen. Simultane Messungen an der Kontrollhand und an den der Amputation benachbarten Fingern könnten helfen die einzelnen Einflussfaktoren besser zu trennen.

Wie in dieser Arbeit untersucht wurde, ist aufgrund der Sympathikolyse ein signifikanter Effekt auf die Durchblutungssituation nur anfänglich bis 4 Stunden postoperativ signifikant nachweisbar. Sollte der Effekt nur durch das mittellang wirkende Scanidcain® hervorgerufen werden, so hat der Plexuskatheter im

postoperativen Verlauf keine Auswirkung mehr auf die Durchblutungssituation im replantierten Gewebe. Ein Vergleich der ausschließlichen Applikation von mittellangwirkenden Lokalanästhetika, langwirkenden Lokalanästhetika und der Vollnarkose könnte zur Differenzierung zwischen den Effekten beitragen. Limitierungen ergeben sich jedoch aus den Risikoprofilen der Narkoseverfahren. Weiter stellt sich die Frage, ob der gewünschte Effekt der Sympathikolyse durch die Lokalanästhetika auch in replantiertem Gewebe überhaupt eine Rolle spielt. Hier sind nervale und vasale Strukturen durch ein Trauma unterbrochen. Durch die Unterbrechung des Axons fällt der sympathikolytische Effekt auf die Vasomotoren weg. Daraus ist zu schließen, dass eine Durchblutungssteigerung nur bis zur Amputationslinie zu erwarten ist.

Es ist in weiteren Studien zu klären, ob der gewünschte Effekt der Perfusionssteigerung in den replantierten Fingern tatsächlich auch nachgewiesen werden kann.

Da das eigentliche Ziel der Studie die Verbesserung der Durchblutung von Replantaten ist, kann die Beobachtung von Rhizarthrose Operationen nur bedingt übertragen werden.

Eine Steigerung der Mikrozirkulation in den Fingern ist bei Replantationen grundsätzlich erwünscht, um postoperativ schnellstmöglich eine Reperfusion des Amputats und die bestmöglichen Heilungschancen zu erreichen.

Oft ist es jedoch so, dass bei der Rezirkulation eines Amputates der venöse Abstrom kritischer geschädigt ist als der arterielle Einstrom. Eine Ödemneigung des Amputates tritt fast immer als Folge der Reperfusion auf und wird durch einen gestörten venösen Abstrom begünstigt.

Im Hinblick auf eine Replantation an den Fingern muss hinterfragt werden, ob die Blutflusssteigerung bei eingeschränktem venösen Abfluss aus dem Replantat tatsächlich förderlich ist. Es müsste untersucht werden, welchen Einfluss der Plexuskatheter auf die effektive Durchblutungssituation in replantiertem Gewebe hat.

Es wäre möglich, dass der Einsatz eines Plexuskatheters und die konsekutive Durchblutungssteigerung im speziellen Falle der Replantation kontraproduktiv ist.

Sollte es sich um einen positiven Effekt auf die Einheilung des Replantats handeln, sollte untersucht werden, ob eine mögliche Steigerung der verwendeten Menge des Ropivacains® eine Auswirkung auf die Durchblutung des Replantats hat.

Daher wäre es erforderlich, dass die Dosierung des Lokalanästhetikums nicht nur im Rahmen der Analgesie, sondern auch im Hinblick auf die Sympathikolyse titriert wird. Dies könnte zum Beispiel durch den Einsatz des O2C-Gerätes® an einem benachbarten Finger überwacht werden. Hier muss zudem geprüft werden, ob in diesem Falle eine Steigerung der Lokalanästhetikamenge unter Umständen lokal und systemisch eine erhöhte Toxizität und somit Schädigung der nervalen Strukturen verursacht. Es bleibt die Frage, ob Ropivacain® in einer entsprechend höheren Dosierung den gleichen Effekt auf die Durchblutungssituation der Hand hat.

Andererseits ist zu überdenken, ob der Plexuskatheter im postoperativen Verlauf stattdessen mit Scandicain® dauerhaft befahren werden sollte, da in dieser Arbeit nachgewiesen wurde, dass die Beeinflussung der Durchblutung nur mit diesem Medikament tatsächlich erreicht wurde.

Auch hier ist eine mögliche Toxizität durch das verwendete Scandicain® zunächst auszuschließen.

Für eine bessere Vergleichbarkeit sollte in künftigen Studien sowohl die applizierte Menge an Lokalanästhetika als auch das Mischungsverhältnis der Lokalanästhetika für alle Patienten standardisiert werden. Unsere Studie war an den klinischen Ablauf angepasst. Es konnte kein Einfluss auf die verwendeten Lokalanästhetika genommen werden.

Wenn in weiteren Studien tatsächlich ein negativer Effekt auf die Ödembildung im Replantat nachgewiesen wird, muss überlegt werden, ob dies tatsächlich die ideale Anästhesieform im Falle einer Replantation darstellt.

In dieser Arbeit konnte zudem nachgewiesen werden, dass es zu den oben beschriebenen Effekten an der kontralateralen Seite zu einer verzögerten Durchblutungssteigerung im Sinne eines Remote ischemic conditioning kommt. Wahrscheinlich wird dieses Phänomen durch den Einsatz der Blutsperre hervorgerufen. Ob dieser Effekt zur Verbesserung der Einheilungschancen von replantiertem Gewebe genutzt werden kann, muss Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Dies ist besonders interessant, da der Effekt unabhängig von der axonalen Kontinuität und der Sympathikolyse auftritt.

Um den Effekt der Blutleere auf die Blutflussparameter zu untersuchen, müsste bei einer weiteren Studie sowohl an der Plexus- als auch an der Kontrollhand eine Blutleere angelegt werden.

Weiter limitierend sind nicht kontrollierte Einflussfaktoren auf die Mikrozirkulation wie Temperatur, Laktatkonzentration nach Blutsperre, lokaler pH-Wert, Endothelschädigung durch Ischämie und Mikrothrombosen durch Gerinnungsaktivierung. Und ebenso die schwer kontrollierbaren Patienten, die im Langzeitverlauf viel aktiver sind als in den ersten Stunden postoperativ.

#### 4.4 Klinische Relevanz

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass es nach Anlage eines Plexuskatheters und Applikation von Lokalanästhetika zu einer signifikanten Verbesserung der Durchblutung in den Fingern kommt.

Dies könnte bei Replantationsoperationen die Einheilung unterstützen. Aktuell wird der Plexuskatheter bei Replantationen vordergründig als schonendes Narkoseverfahren und zur prolongierten postoperativen Analgesie eingesetzt.

Es muss geklärt werden, ob der Einsatz eines Plexuskatheter im Rahmen einer Replantationsoperation eher von Vorteil oder möglicherweise sogar nachteilig ist.



#### 4.5 Bezug zur Fragestellung (s. 1.4)

Zu (1.): Es konnte gezeigt werden, dass es durch den Einsatz eines Plexuskatheters zu einer quantifizierbaren Durchblutungssteigerung in der Mikrozirkulation der Hand kommt.

Zu (2.) Es konnten signifikante Unterschiede der gemessenen Blutflussparameter zwischen der Plexus- und der Kontrollhand festgestellt werden.

(3.) Im Verlauf konnte ein Gewöhnungseffekt nicht ausgeschlossen werden. Anzumerken ist, dass es im Verlauf der Messungen zu keinem Rebound der Medikamente kommt.

(4.) Es ist festzuhalten, dass der positive Effekt durch die Anlage eines Plexuskatheters auf den Zeitraum nach Anlage des Plexuskatheters bis 4 Stunden postoperativ beschränkt ist. Danach sind Effekte zwar erkennbar, jedoch nicht mehr signifikant.

#### 4.6 Schlussfolgerung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der durchblutungssteigernde Effekt durch Anlage des Plexuskatheters für die ersten 4-6 Stunden erreicht wird.

Für die Replantationschirurgie wäre eine Verlängerung darüber hinaus wünschenswert. Nach der jetzt vorgelegten Datenlage kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass die bisherige klinische Praxis einen relevanten Einfluss über die erste postoperative Phase hinaus hat.

Allerdings muss bedacht werden, dass eine prolongierte Steigerung der Blutzufuhr in einem Replantat auch zur vermehrten Ödembildung beitragen kann, wenn der venöse Abstrom nicht gewährleistet ist

Es ist klar, dass aufgrund der Durchtrennung der Axone im Replantat eine Einflussnahme durch Sympathikolyse mittels Lokalanästhetikum ausgeschlossen ist. Die Verbesserung der Durchblutung erreicht also nur die vorgeschalteten Gewebeabschnitte. Im Replantat besteht aufgrund der Durchtrennung der efferenten Nervenbahnen ohnehin eine Sympathikolyse.

Inwieweit eine Dosissteigerung des langwirksamen Lokalanästhetikums Ropivacain® den gewünschten Effekt hat, muss bei zukünftigen Untersuchungen

nachgewiesen werden. Ob bei einer Dosissteigerung eine neurotoxische Wirkung eintritt, muss weiter untersucht werden.

Der Einsatz des O2C®-Geräts zur Dosisfindung für den vasodilatatorischen Effekt des Plexuskatheters stellt eine attraktive klinische Möglichkeit dar. Die klinische Realisierbarkeit im Alltag muss noch nachgewiesen werden.

Auch eine Erweiterung eines solchen Vorgehens bei anderen Erkrankungen mit kritischer Durchblutung und beeinträchtigter Mikrozirkulation ist denkbar.

## 5 Zusammenfassung

In dieser prospektiven klinischen Studie konnte der bereits in der Literatur beschriebene positive Effekt der peripheren Vasodilatation nach Anlage eines Plexuskatheters nachgewiesen und quantifiziert werden.

Die Arbeit dient als Vorstudie einer möglichen zukünftigen Optimierung der postoperativen Phase hinsichtlich der Überwachung und der Verbesserung der Durchblutungssituation bei Replantationen.

Die Studie bediente sich eines Patientenkollektivs von 20 Patienten, die im Rahmen einer Operation zur Behandlung einer Rhizarthrose standardmäßig einen Plexuskatheter bekamen. Mit Hilfe der non-invasiven Messungen des O2C®-Geräts konnte die Veränderung verschiedener Blutflussparameter in der Mikrozirkulation erfasst werden. Gemessen wurden jeweils die relative Sauerstoffsättigung im Gewebe (SO<sub>2</sub>), die relative Hämoglobinmenge (rHb), der Blutfluss (Flow) und die Blutflussgeschwindigkeit (Velocity) in einer Gewebetiefe von 8mm.

Über 72 Stunden wurden nach Anlage des Plexuskatheters regelmäßige Messzeitpunkte gesetzt.

Es konnten der vasodilatatorische Effekt des Plexuskatheters durch Sympathikolyse in der Mikrozirkulation dargestellt und quantifiziert werden.

Der Blutfluss wurde um bis zu 146% gesteigert, die Sauerstoffsättigung stieg um 35% an. Direkt nach Anlage des Plexuskatheters konnte ein Anstieg in allen 4 Parametern für vier bis sechs Stunden postoperativ festgestellt werden.

Danach näherten sich die Werte denen der Kontrollhand an. Dieser Effekt trat auf, obwohl die Therapie über den Plexuskatheter fortgesetzt wurde. Die bisher in der Literatur beschriebenen Studien sind entweder in der zeitlichen oder im Umfang der gemessenen Parameter begrenzt. Meist werden die Modifikationen der Mikrozirkulation deskriptiv als „Nebenwirkungen“ der Plexusanästhesie dargestellt. Daher sind sie nur begrenzt dazu geeignet einen eventuellen therapeutischen Nutzen abzuleiten. In der vorliegenden Arbeit konnte erstmals ein systematischer Überblick über die Veränderungen verschiedener Aspekte der Mikrozirkulation im Langzeitverlauf berichtet werden. Die dadurch gefundenen Daten lassen sich zur Entwicklung eines neuen klinischen

Therapiekonzeptes nutzen. Weitere Untersuchung sind erforderlich um die klinische Signifikanz eines solchen Konzeptes zu beurteilen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Ninkovic, M., et al., *Microsurgical advances in extremity salvage*. Clin Plast Surg, 2012. 39(4): p. 491-505.
2. Braig, D., et al., *[Results After Distal Digital Replantation - Is It Worth The Effort?]*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2017. 49(1): p. 29-36.
3. Pederson, W.C., *Replantation*. Plast Reconstr Surg, 2001. 107(3): p. 823-41.
4. Berger, A., C. Tizian, and M. Zenz, *Continuous plexus blockade for improved circulation in microvascular surgery*. Ann Plast Surg, 1985. 14(1): p. 16-9.
5. McGregor, A.D., W.K. Jones, and D. Perlman, *Blood flow in the arm under brachial plexus anaesthesia*. J Hand Surg Br, 1985. 10(1): p. 21-4.
6. Cross, G.D. and J.M. Porter, *Blood flow in the upper limb during brachial plexus anaesthesia*. Anaesthesia, 1988. 43(4): p. 323-6.
7. Matsuda, M., N. Kato, and M. Hosoi, *Continuous brachial plexus block for replantation in the upper extremity*. Hand, 1982. 14(2): p. 129-34.
8. Koman, L.A., et al., *The microcirculatory effects of peripheral sympathectomy*. J Hand Surg Am, 1995. 20(5): p. 709-17.
9. Kurt, E., et al., *Continuous brachial plexus blockade for digital replantations and toe-to-hand transfers*. Ann Plast Surg, 2005. 54(1): p. 24-7.
10. Neimkin, R.J., et al., *Continuous axillary block through an indwelling Teflon catheter*. J Hand Surg Am, 1984. 9(6): p. 830-3.
11. Taras, J.S. and M.J. Behrman, *Continuous peripheral nerve block in replantation and revascularization*. J Reconstr Microsurg, 1998. 14(1): p. 17-21.
12. Nickel U., B.A., *Allgemein- und Regionalanästhesie in der Traumachirurgie*. 2005, Springer: Heidelberg. p. 145-168.
13. Meier G, B.J., *Atlas der Regionalanästhesie*. 2006, Thieme: Stuttgart. p. 10-65.
14. Larsen, R., *Anästhesie*. 2013, Elsevier: München. p. 151-182.
15. Rossiant R, W.C., Zwießler B, *Die Anästhesiologie*. 2012, Springer: Heidelberg. p. 320-329, 665-678.
16. Schüke M., S.E., et al, *Prometheus, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 2007, Thieme: Stuttgart. p. 360-374.
17. Van Aken H. K., W.H., et al, *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie*. 2010, Thieme: Stuttgart. p. 56-101.
18. Randalls, B., *Continuous brachial plexus blockade. A technique that uses an axillary catheter to allow successful skin grafting*. Anaesthesia, 1990. 45(2): p. 143-4.
19. Borgeat, A. and G. Ekatothramis, *Brachial plexus block*. Curr Opin Anaesthesiol, 2002. 15(5): p. 537-42.
20. Grau, T., et al., *[Survey on current practice of regional anaesthesia in Germany, Austria, and Switzerland. Part 2: Use, success rates and techniques]*. Anaesthesist, 2004. 53(9): p. 847-55.

21. Kefalianakis, F. and F. Spohner, [*Ultrasound-guided blockade of axillary plexus brachialis for hand surgery*]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2005. 37(5): p. 344-8.
22. Halaszynski, T.M., *Ultrasound brachial plexus anesthesia and analgesia for upper extremity surgery: essentials of our current understanding*, 2011. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2011. 24(5): p. 581-91.
23. Satapathy, A.R. and D.M. Coventry, *Axillary brachial plexus block*. *Anesthesiol Res Pract*, 2011. 2011: p. 173796.
24. Buttner, J., R. Klose, and H. Hammer, [*Continuous axillary catheter plexus anesthesia--a method of postoperative analgesia and sympathetic nerve block following hand surgery*]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 1989. 21(1): p. 29-32.
25. Singelyn, F.J. and X. Capdevila, *Regional anaesthesia for orthopaedic surgery*. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2001. 14(6): p. 733-40.
26. Graf, B.M. and E. Martin, [*Peripheral nerve block. An overview of new developments in an old technique*]. *Anaesthesist*, 2001. 50(5): p. 312-22.
27. Schulz-Stubner, S., [*Brachial plexus. Anesthesia and analgesia*]. *Anaesthesist*, 2003. 52(7): p. 643-56; quiz 657.
28. Andersson, A., J. Akesson, and L.B. Dahlin, *Efficacy and safety of axillary brachial plexus block for operations on the hand*. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*, 2006. 40(4): p. 225-9.
29. De Jong, R.H., *Axillary block of the brachial plexus*. *Anesthesiology*, 1961. 22: p. 215-25.
30. Koscielniak-Nielsen, Z., *Axillary block studies--quality problems*. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2000. 44(9): p. 1163-4.
31. Pitombo, P.F., et al., *Selective suprascapular and axillary nerve block provides adequate analgesia and minimal motor block. Comparison with interscalene block*. *Rev Bras Anesthesiol*, 2013. 63(1): p. 45-51.
32. Pham-Dang, C., et al., *A new axillary approach for continuous brachial plexus block. A clinical and anatomic study*. *Anesth Analg*, 1995. 81(4): p. 686-93.
33. Aguirre, J., et al., *The role of continuous peripheral nerve blocks*. *Anesthesiol Res Pract*, 2012. 2012: p. 560879.
34. Mezzatesta, J.P., et al., *Continuous axillary brachial plexus block for postoperative pain relief. Intermittent bolus versus continuous infusion*. *Reg Anesth*, 1997. 22(4): p. 357-62.
35. Rouholamin, E. and D. Harris, *Axillary block anaesthesia in acute and elective hand surgery: a report on 300 procedures*. *Ann R Coll Surg Engl*, 1990. 72(2): p. 90-3.
36. Lin, E., J. Choi, and A. Hadzic, *Peripheral nerve blocks for outpatient surgery: evidence-based indications*. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2013. 26(4): p. 467-74.
37. Klein, S.M., et al., *Peripheral nerve block techniques for ambulatory surgery*. *Anesth Analg*, 2005. 101(6): p. 1663-76.
38. De Andres, J. and X. Sala-Blanch, *Ultrasound in the practice of brachial plexus anesthesia*. *Reg Anesth Pain Med*, 2002. 27(1): p. 77-89.

39. Dufour, E., et al., *Ultrasound and neurostimulation-guided axillary brachial plexus block for resection of a hemodialysis fistula aneurysm*. *Anesth Analg*, 2009. 108(6): p. 1981-3.
40. Marhofer, P., H. Willschke, and S.C. Kettner, *Ultrasound-guided upper extremity blocks - tips and tricks to improve the clinical practice*. *Paediatr Anaesth*, 2012. 22(1): p. 65-71.
41. Koscielniak-Nielsen, Z.J. and J.B. Dahl, *Ultrasound-guided peripheral nerve blockade of the upper extremity*. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2012. 25(2): p. 253-9.
42. Mirza, F. and A.R. Brown, *Ultrasound-guided regional anesthesia for procedures of the upper extremity*. *Anesthesiol Res Pract*, 2011. 2011: p. 579824.
43. Marhofer, P., et al., *Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: Part 2-recent developments in block techniques*. *Br J Anaesth*, 2010. 104(6): p. 673-83.
44. Marhofer, P., et al., *Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: part 1*. *Br J Anaesth*, 2010. 104(5): p. 538-46.
45. Bloc, S., et al., *Comfort of the patient during axillary blocks placement: a randomized comparison of the neurostimulation and the ultrasound guidance techniques*. *Eur J Anaesthesiol*, 2010. 27(7): p. 628-33.
46. Abrahams, M.S., et al., *Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials*. *Br J Anaesth*, 2009. 102(3): p. 408-17.
47. Lo, N., et al., *Evolution of ultrasound guided axillary brachial plexus blockade: retrospective analysis of 662 blocks*. *Can J Anaesth*, 2008. 55(7): p. 408-13.
48. Koscielniak-Nielsen, Z.J., *Ultrasound-guided peripheral nerve blocks: what are the benefits?* *Acta Anaesthesiol Scand*, 2008. 52(6): p. 727-37.
49. van Geffen, G.J., et al., *Ultrasound-guided training in the performance of brachial plexus block by the posterior approach: an observational study*. *Anaesthesia*, 2007. 62(10): p. 1024-8.
50. Casati, A., et al., *Effects of ultrasound guidance on the minimum effective anaesthetic volume required to block the femoral nerve*. *Br J Anaesth*, 2007. 98(6): p. 823-7.
51. Schwemmer, U., et al., *[Ultrasound-guided peripheral nerve blockade]*. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 2006. 41(7-8): p. 481-90.
52. Popovic, J., et al., *Current practice of ultrasound-assisted regional anesthesia*. *Pain Pract*, 2006. 6(2): p. 127-34.
53. Ootaki, C., H. Hayashi, and M. Amano, *Ultrasound-guided infraclavicular brachial plexus block: an alternative technique to anatomical landmark-guided approaches*. *Reg Anesth Pain Med*, 2000. 25(6): p. 600-4.
54. Ebert, B., R. Braunschweig, and P. Reill, *[Quantification of variations in arm perfusion after plexus anesthesia with color doppler sonography]*. *Anaesthesist*, 1995. 44(12): p. 859-62.

55. Li, J., et al., *Regional hemodynamic changes after an axillary brachial plexus block: a pulsed-wave Doppler ultrasound study*. Reg Anesth Pain Med, 2012. 37(1): p. 111-8.
56. Lumenta, D.B., et al., *Influence of brachial plexus blockade on oxygen balance during surgery*. Anesth Analg, 2011. 113(1): p. 199-201.
57. Su, H.H., et al., *The effects of continuous axillary brachial plexus block with ropivacaine infusion on skin temperature and survival of crushed fingers after microsurgical replantation*. Chang Gung Med J, 2005. 28(8): p. 567-74.
58. Hoffmann R., *Handchirurgie*. 2. überarbeitete Auflage ed. 1999, Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 242, 406-409.
59. Johansson, K., et al., *Effects of blockade of alpha- and beta-adrenoceptors and neuropeptide Y(1) receptors, as well as brachial plexus blockade, on endothelium-dependent vasodilation in the human forearm*. Clin Exp Pharmacol Physiol, 2002. 29(7): p. 603-7.
60. Bergman, B.D., et al., *Neurologic complications of 405 consecutive continuous axillary catheters*. Anesth Analg, 2003. 96(1): p. 247-52, table of contents.
61. Niesel, H.C., P. Rodriguez, and I. Wilsmann, *[Regional analgesia of the upper extremity in children (author's transl)]*. Anaesthesist, 1974. 23(4): p. 178-80.
62. AG, B.M. *RKU Kompendium (6064605B)*. [Internet] 2014 [cited 2014 07.06.2014]; Available from: <http://www.bbraun.com/cps/rde/xchg/bbraun-com/hs.xsl/products.html?acs=1&prid=PRID00000642&id=0002074277000000021>.
63. Birnbaum J, A.R., *Ultraschallgestützte Regionalanästhesie*. 2008, Springer: Heidelberg. p. 102-107.
64. Meier, G., *Atlas der peripheren Regionalanästhesie : Anatomie, Sonografie, Anästhesie, Schmerztherapie*. 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. ed. 2013, Stuttgart [u.a.]: Thieme. 376.
65. B., S., *Techniken der Regionalanästhesie*. Vol. 2. 1996, Weinheim: Chapman & Hall.
66. Mogensen, T., et al., *Tachyphylaxis associated with repeated epidural injections of lidocaine is not related to changes in distribution or the rate of elimination from the epidural space*. Anesth Analg, 1989. 69(2): p. 180-4.
67. al, T.H.e., *Handchirurgie*. 2011, Springer-Verlag Berlin: Heidelberg. p. 1401-1411.
68. Eaton, R.G., et al., *Ligament reconstruction for the painful thumb carpometacarpal joint: A long-term assessment*. The Journal of Hand Surgery, 1984. 9(5): p. 692-699.
69. Fuchs, S., et al., *Intra-articular hyaluronic acid compared with corticoid injections for the treatment of rhizarthrosis*. Osteoarthritis and Cartilage, 2006. 14(1): p. 82-88.
70. Lögters, T., S. Gehrman, and J. Windolf, *Aktuelle Aspekte zur Therapie der Rhizarthrose*. Der Unfallchirurg, 2016. 119(12): p. 1000-1006.



71. Thomas Karow, R.L.-R., *Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie*. Auflage: 20. (2012), Köln: Dr. med. Thomas Karow.
72. Derfuss, T. *O2C (oxygen to see)*. 2013 [cited 2013 13.05.13]; Available from: <http://www.lea.de/deu/indexd.html>.
73. Derfuss, T. *Messprinzip*. LEA Medizintechnik GmbH 2017 [cited 2017 16.06.2017]; Available from: <http://www.lea.de/deu/txMessprinzip.html>.
74. Derfuss, T. *2.4 Was ist die Messtiefe des O2C?* LEA Medizintechnik GmbH 2017 [cited 2017 16.06.2017]; Available from: <http://www.lea.de/deu/txFAQ.htm#24>.
75. Derfuss, T. *Häufig gestellte Fragen - FAQ*. LEA Medizintechnik GmbH 2017 [cited 2017 16.06.2017]; Available from: <http://www.lea.de/deu/txFAQ.htm>.
76. Derfuss, T. *O2C (oxygen to see)*. LEA Medizintechnik GmbH 2017 [cited 2017 16.06.2017]; Available from: <http://www.lea.de/deu/indexd.html>.
77. Derfuss, T. *Messprinzip*. LEA Medizintechnik GmbH 2013 [cited 2013 13.05.2013]; Available from: <http://www.lea.de/deu/txMessprinzip.html>.
78. Derfuss, T. *2.4 Was ist die Messtiefe des O2C?* LEA Medizintechnik GmbH 2013 [cited 2013 09.05.2013]; Available from: <http://www.lea.de/deu/txFAQ.htm#24>.
79. Derfuss, T. *Was misst O2C (oxygen to see)?* LEA Medizintechnik GmbH 2017 [cited 2017 16.06.2017]; Available from: <http://www.lea.de/deu/txMessparameter.html#anker1>.
80. Derfuss, T. *O2C-Sonden*. LEA Medizintechnik GmbH 2013 [cited 2013 13.05.2013]; Available from: <http://www.lea.de/deu/indexd.html>.
81. Wenger, A., et al., *Quantification of the vasodilatory effect of axillary plexus block. A prospective controlled study*. Journal of Surgical Research, 2017. 212: p. 153-158.
82. Wenger, A., et al., *Skin Perfusion Changes within 12 h after Axillary Plexus Block*. Eur Surg Res, 2017. 58(5-6): p. 227-234.
83. Kraemer, R., et al., *Acute effects of remote ischemic preconditioning on cutaneous microcirculation--a controlled prospective cohort study*. BMC Surg, 2011. 11: p. 32.
84. Kolbenschlag, J., et al., *Remote Ischemic Conditioning Improves Blood Flow and Oxygen Saturation in Pedicled and Free Surgical Flaps*. Plast Reconstr Surg, 2016. 138(5): p. 1089-1097.
85. Bosnjak, Z.J. and Z.D. Ge, *The application of remote ischemic conditioning in cardiac surgery*. F1000Res, 2017. 6: p. 928.
86. Heusch, G., et al., *Remote Ischemic Conditioning*. J Am Coll Cardiol, 2015. 65(2): p. 177-95.
87. Blair, D.A., W.E. Glover, and I.C. Roddie, *The abolition of reactive and post-exercise hyperaemia in the forearm by temporary restriction of arterial inflow*. J Physiol, 1959. 148: p. 648-58.
88. Sumner, D.S. and R. Folse, *Persistent hyperemia following prolonged arterial occlusion*. Ann Surg, 1968. 168(5): p. 837-43.
89. Kottenberg-Assenmacher, E. and J. Peters, *Mechanismen der Tachyphylaxie bei langdauernden Regionalanästhesien*. Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther, 1999. 34(12): p. 733-742.

90. Teixeira, M.Z., *Rebound effect of modern drugs: serious adverse event unknown by health professionals*. Rev Assoc Med Bras (1992), 2013. 59(6): p. 629-38.

## 7 Erklärung zum Eigenanteil

Die vorliegende Arbeit wurde in der Klinik für Hand-, Plastische-, Rekonstruktive- und Verbrennungschirurgie an der BG Unfallklinik Tübingen unter Betreuung zunächst von Prof. Dr. med. Afshin Rahmanian-Schwarz und anschließend von Privatdozent Dr. med. Oliver Lotter unter der Supervision von Prof. em. Dr. med. Hans-Eberhard Schaller durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. med. Afshin Rahmanian-Schwarz, Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger und Privatdozent Dr. med. Jens Rothenberger. Das Konzept und die Ausführung wurden von Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger und mir entwickelt.

Sämtliche Messungen, Dokumentationen und die tabellarische Aufarbeitung wurden eigenständig und ausschließlich von mir durchgeführt. (Oxygen-to-see-Gerät® der Firma LEA Medizintechnik, Gießen, Deutschland).

Die statistischen Auswertungen und Ergebnisse wurden von mir erstellt und verfasst. Die Auswertungen und Diskussion der Ergebnisse erfolgten mit Unterstützung durch Privatdozent Dr. med. Oliver Lotter und in Zusammenarbeit mit und unter Supervision von Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger.

Die Betreuung der Doktorarbeit erfolgte von 10/2012 bis 06/2016 durch Prof. Dr. med. Afshin Rahmanian-Schwarz. Prof. Dr. med. Afshin Rahmanian-Schwarz unterstützte mich vorwiegend bei der Konzeption und Planung der Studie.

In die Messmethodik wurde ich von Privatdozent Dr. med. Jens Rothenberger und Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger eingearbeitet. Die Messungen habe ich selbstständig und ausschließlich selbst durchgeführt.

Bei der Auswertung und Diskussion wurde ich von 10/12 bis 12/16 sowie 07/17 von Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger betreut. Die weitere Betreuung und kritische Bewertung erfolgte ab 06/16 bis zur Fertigstellung der Arbeit durch Privatdozent Dr. med. Oliver Lotter.

Grundlage für die oben genannten Veröffentlichungen [81, 82] sind die Messungen meiner Studie, sowie die von mir erarbeiteten Ergebnisse und Auswertungen. Am Text der Veröffentlichungen habe ich selbst nicht mitgewirkt und diese nicht verfasst. Interpretationsüberschneidungen zwischen den genannten Publikationen und diesem Manuskript entstehen dadurch, dass die Daten nur in eine Richtung ausgewertet werden können. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte wie bereits erläutert von 10/12 bis 12/16 sowie 07/17 in Zusammenarbeit mit Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Karlsruhe, den 08.08.2017

## 8 Veröffentlichung

1. Wenger, A., et al., Quantification of the vasodilatory effect of axillary plexus block. A prospective controlled study. *Journal of Surgical Research*, 2017. 212: p. 153-158. [81]
2. Wenger, A., et al., *Skin Perfusion Changes within 12 h after Axillary Plexus Block*. *Eur Surg Res*, 2017. 58(5-6): p. 227-234. [82]

Grundlage für die beiden oben genannten Veröffentlichungen [81, 82] sind die Messungen meiner Studie sowie die von mir erarbeiteten Ergebnisse und Auswertungen. Am Text der Veröffentlichungen habe ich selbst nicht mitgewirkt und diese nicht verfasst. Interpretationsüberschneidungen zwischen den genannten Publikationen und diesem Manuskript entstehen dadurch, dass die Daten nur in eine Richtung ausgewertet werden können. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte von 10/12 bis 12/16 sowie 07/17 in Zusammenarbeit mit Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger.

## 9 Anhang

### 9.1 Plexuskathetermessung

#### **Protokoll: Plexuskatheter-Messungen**

<i>Datum</i>	
<i>Uhrzeit der Op</i> <i>Schnitt</i> <i>Naht</i>	
<i>Körpergewicht</i>	
<i>Körpergröße</i>	
<i>Welcher Arm →RIA? (R/L)</i>	
<i>Verwendetes Anästhetikum</i>	
<i>Blutleere von/bis</i>	
<i>Wie hoch war der Druck (in mmHg)?</i>	

*Bemerkungen:*

Nr.	Zeitpunkt der Messung	Datum	Uhrzeit	Herzfrequenz	Blutdruck	Körpertemp.	Raumtemp.	ml-Anästhetikum/Name	Gemessen von
1. Ausgangswert	Bevor der Plexuskatheter gestochen wird								
2. Messung	Nachdem der Plexuskatheter gesetzt wurde und der Patient angibt keine Schmerzen mehr zu haben								
3. Messung	Direkt nach der Op								
4. Messung	2h post OP								
5. Messung	4h post OP								
6. Messung	6h post OP								
7. Messung	8h post OP								
8. Messung	10h post OP								
9. Messung	12h post OP								
10. Messung	24h post OP								
11. Messung	36h post OP								
12. Messung	48h post OP								
13. Messung	72h post OP								

Bemerkungen:

## Weitere Messungen


Auslassversuch:


Nr.:	Zeitpunkt der Messung	Datum	Uhrzeit	Blutdruck	Herz- frequenz	Körper- temp.	Raum- temp.	ml- Anästhetikum/ Name	Gemessen von
1. Messung	Kurz vorher								
2. Messung	1h danach								
3. Messung	2h danach								
4. Messung	3h danach								
5. Messung	4h danach								

Bemerkungen: 1. Auslassversuch nach 24h



## 9.2 Einverständniserklärung

**BG Klinik**  
Berufsgenossenschaftliche  
Unfallklinik Tübingen



BG Unfallklinik Tübingen, Schwanenbergr. 95, 72076 Tübingen

**Stadtleiter:** Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Eberhard Schaller  
**Prüfartz:** Priv. Doz. Dr. med. Afshin Rahmani-Schwarz  
**Betreuer:** Dr. Andrea Wenger  
Dr. Jens Rothenberger

**Beteiligte**  
Studentin: Cand. med. Lara-Elena Hakim-Melbodi

**Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie (HPRV)**  
Plastische, Hand-, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie an der Eberhard Karls Universität Tübingen  
Direktor der Klinik für HPRV  
Univ.-Prof. Dr. med. H.-E. Schaller

Ihr Zeichen:  
Ihre Nachricht vom:  
Unser Zeichen:  
Ansprechpartner:  
Telefon: +49 7071 606-3038  
Fax: +49 7071 606-  
E-Mail:  
Datum: 11.03.2013

**Untersuchung zur Perfusion der Finger unter Anwendung eines Plexuskatheters**

**Aufklärung**

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

Sie unterziehen sich an der Klinik für Hand-, Plastische-, Rekonstruktive- und Verbrennungschirurgie der BG Unfallklinik Tübingen einer Operation bei **Dauammittelgelenksarthrose**.

Wir führen derzeit eine klinische Studie zur Messung der Durchblutung unter Anwendung eines Plexuskatheters durch und möchten Sie im Folgenden über diese Untersuchung informieren und einladen, als eine/r von ca. 25 Patienten daran teilzunehmen.

**Einführung und wichtige Punkte:**

Der Plexuskatheter ist ein Narkoseverfahren, das operative Eingriffe an der Hand, sowie wirksame Schmerztherapie nach Operationen ermöglicht. Es ist bekannt, dass es unter Anwendung des Plexuskatheters zu einer Blutflusssteigerung kommt. Dies ist jedoch noch nicht ausreichend wissenschaftlich belegt und quantifiziert worden.

**Wissenschaftlicher Hintergrund und Grund der Durchführung der Studie:**

Aus diesem Grund befasst sich die Studie mit der Durchblutung der Hand unter Anwendung eines Plexuskatheters. Das zentrale Ziel der Studie ist die Veränderung der Durchblutung, die

BG Unfallklinik Tübingen  
Schwanenbergr. 95  
72076 Tübingen  
Tel: +49 7071 606-0  
Fax: +49 7071 606-1002  
www.bcs-tueringen.de

Bankenverbindung  
Vollkassen Tübingen  
BLZ: 441 901 10  
Konto: 1005 039  
Kreissparkasse Tübingen  
BLZ: 441 901 20  
Kontax: 6720

USt-IdNr.: DE 143 293 432  
Kfz-Nr.: 200 040 131  
Tübingen  
Verein für Berufsgenossenschaftliche  
Hilfswerbung Heidelberg e.V.  
Geschäftsführer: Florian Filber

durch den Plexuskatheter verursacht werden, zu bestimmten Zeitpunkten nach der Operation zu messen.



#### **Studiendurchführung:**

Gemessen wird mit einer Sonde, welche auf die Haut der Mittelfingerkuppe beider Hände aufgelegt wird. Die Sonde sendet ein Laser-Licht und ein Weißlicht, so kann das Gerät die Messung durchführen. Schmerzen treten während den Messungen nicht auf. Eine Untersuchung dauert ca. 5 Minuten. Gemessen wird vor der Operation und zu mehreren Zeitpunkten nach der Operation, während des Klinikaufenthalts.

#### Gemessen werden soll im Detail:

1.Messung:	kurz vor Legen des Plexuskatheters - Ausgangswert
2.Messung:	direkt nach legen des Plexuskatheters
3.Messung:	direkt nach der Operation
4.Messung:	2 Stunden nach der Operation
5.Messung:	4 Stunden nach der Operation
6.Messung:	6 Stunden nach der Operation
7.Messung:	8 Stunden nach der Operation
8.Messung:	10 Stunden nach der Operation
9.Messung:	12 Stunden nach der Operation
10.Messung:	24 Stunden nach der Operation
11.Messung:	36 Stunden nach der Operation
12.Messung:	48 Stunden nach der Operation
13.Messung:	72 Stunden nach der Operation

Im sogenannten Auslassversuch sollen die Durchblutungsveränderungen direkt nach Ausschalten des Plexuskatheters gemessen werden. Ihre Schmerzmedikation wird zu diesem Zeitpunkt auf Tabletten umgestellt.

Im Regelfall findet der erste Auslassversuch nach 24 Stunden statt, es wird dann jeweils stündlich über einen Zeitraum von vier Stunden gemessen.

#### **Risiken und Nebenwirkungen:**

Es sind keine Risiken und Nebenwirkungen bekannt.

#### **Hinweis:**

Die Teilnahme an der Studie beruht auf Freiwilligkeit, es entstehen Ihnen daraus keine persönlichen Vorteile. Sofern Sie nicht an der klinischen Prüfung teilzunehmen oder später aus ihr ausscheiden möchten, entstehen Ihnen daraus auch für die weitere Behandlung keine Nachteile. Eine Nichtteilnahme und Möglichkeit des Widerrufs ohne Angabe von Gründen ist jederzeit möglich.

Ihre Teilnahme oder Nicht-Teilnahme an der klinischen Studie hat keine Auswirkung auf den regulären Ablauf bei Rhizarthrose-Operation.

#### **Bestätigung der Vertraulichkeit, Datenschutz:**



Die ärztliche Schweigepflicht wird uneingeschränkt beachtet. Der vertrauliche Umgang mit allen Daten wird garantiert. Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschließlich in anonymisierter Form. Die Daten werden im Rahmen von Vorträgen und Artikeln in medizinischen Journalen anonymisiert veröffentlicht.

Patientendaten, die erfasst werden sind: Name, Alter, Größe, Gewicht und die vier gemessenen Parameter Sauerstoffsättigung, relativer Hb, Blutfluss und Blutfließgeschwindigkeit; außerdem Blutdruck, Herzfrequenz, Körpertemperatur, Raumtemperatur, Angabe über Art und Dosierung des Anästhetikums.

Die Angaben der persönlichen Daten sollen bis zum Abschluss der Studie gespeichert werden, die erfassten Daten (Sauerstoffsättigung, relativer Hb, Blutfluss und Blutfließgeschwindigkeit) sollen für mindestens 10 Jahre gespeichert werden.

Den Patienten, an welchen die oben genannten Parameter gemessen wurden, werden willkürliche Nummern zugeordnet und somit anonymisiert. Patientendaten, welche in Papierform vorliegen werden fachgerecht über einen Schredder vernichtet.



## Einwilligung

Ich,....., wurde von meinem Arzt vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Prüfung zur Durchblutungsmessung an der Hand während Narkose und aufgeklärt. Ich habe den Aufklärungstext gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit Fragen zu stellen, und habe die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Mein Arzt bzw. ein fachlich geeigneter Vertreter hat mich über die Teilnahme an der Studie verbundenen Risiken und den möglichen Nutzen informiert.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Studie zu entscheiden und weiß, dass die Teilnahme an dieser klinischen Prüfung freiwillig ist. Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angaben von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluss nachteilig auf die spätere Behandlung durch meinen Arzt auswirken wird.

Mir ist bekannt, dass meine persönlichen Daten in verschlüsselter Form gespeichert und im Rahmen von Vorträgen und wissenschaftlichen Arbeiten veröffentlicht werden.

Mit meiner Einverständnis zur Teilnahme erkläre ich gleichzeitig, dass ich mit der im Rahmen dieser klinischen Prüfung erfolgenden Aufzeichnung von Krankheitsdaten und ihrer Weitergabe zur Überprüfung an den Auftraggeber einverstanden bin.

Ich habe eine Kopie der Patientinformation und dieser Einwilligungserklärung erhalten.

**Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser klinischen Studie.**

.....  
Ort und Datum

.....  
Unterschrift des Patienten

.....  
Ort und Datum

.....  
Unterschrift des aufklärenden Arztes



## 10 Danksagung

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Prof. em. Dr. med. Hans-Eberhard Schaller, Herrn Privatdozent Dr. med. Oliver Lotter und Prof. Dr. med. Afshin Rahmani-Schwarz für die freundliche Überlassung des Themas und die stete fachliche Betreuung. Weiter möchte ich mich bei Dr. med. Dr. med. univ. Andrea Wenger für die Unterstützung bedanken. Ebenso gilt mein Dank Herrn Privatdozent Dr. med. Jens Rothenberger.

An dieser Stelle möchte ich mich von Herzen bei meiner Familie bedanken, ohne deren Geduld und Unterstützung diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

*„Leider lässt sich eine wahrhafte Dankbarkeit mit Worten nicht ausdrücken.“  
Johann Wolfgang von Goethe*