

Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie  
der Universität Würzburg  
Direktor: Professor Dr. Dr. h.c. Norbert Roewer

Vergleichende Untersuchung der axillären Plexusblockade:  
Ultraschall gegen Nervenstimulation

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Julia Meierhofer  
aus Passau

Würzburg, Dezember 2012

Referent: Prof. Dr. Dr. h.c. Norbert Roewer

Koreferent: Prof. Dr. Werner Kenn

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 24.09.2013

Die Promovendin ist Ärztin

## Abkürzungsverzeichnis

µs	Mikrosekunde	M./Mm.	Musculus/ Musculi
A./Aa.	Arteria/ Arteriae	m <sup>2</sup>	Quadratmeter
Abb.	Abbildung	mA	Milliampere
AS	Analgosedierung	MED	N. medianus
ASA	American Society of Anesthesiologists	mg	Milligramm
		mgl.	möglich
AX	N. axillaris	MHz	Megahertz
BMI	Body Mass Index	min	Minute
BS	Blutsperre	ml	Milliliter
C4/5/6...	Cervikalnervenwurzel 4/5/6...	mm	Millimeter
		ms	Millisekunde
CAM	N. cutaneus antebrachii medialis	MUC	N. musculocutaneus
		N./Nn.	Nervus/ Nervi
CBM	N. cutaneus brachii medialis	OP	Operation
		p.o.	per os
cm	Zentimeter	PNP	Polyneuropathie
EKG	Elektrokardiogramm	RAD	N. radialis
et al.	et alii	S.	Seite
g	Gramm	s.	siehe
G	Gauge	s	Sekunde
h	Stunde	SONO	Sonographie/ Ultraschall
H.E.	Hämalaun-Eosin		
Hz	Hertz	STIM	Nervenstimulation
i.m.	intramuskulär	Th1/2	thorakale Nervenwurzel 1/2
i.v.	intravenös		
k.A.	keine Angabe	V./Vv.	Vena/ Venae
kg	Kilogramm	VAS	Visuelle Analogskala
kΩ	Kiloohm	vs.	versus
LA	Lokalanästhetikum	zusätzl.	zusätzlich
m	Meter		

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Anatomie des Plexus brachialis .....	1
1.2. Die Evolution der axillären Plexusanästhesie .....	3
1.3. Möglichkeiten der Nervenlokalisierung.....	6
1.3.1. Nervenstimulation.....	7
1.3.2. Ultraschall .....	10
1.4. Fragestellung .....	13
2. Patienten, Material und Methoden.....	14
2.1. Studiendesign .....	14
2.2. Patienten.....	14
2.3. Material .....	16
2.3.1. Bei beiden Anästhesiemethoden verwendete Materialien.....	16
2.3.2. Nervenstimulationsmethode .....	16
2.3.3. Ultraschallmethode.....	17
2.3.4. Untersuchung von Sensorik und Motorik.....	17
2.3.5. Patientenbefragung .....	17
2.4. Methoden.....	18
2.4.1. Versuchsablauf.....	18
2.4.2. Allgemeine Vorbereitungen .....	19
2.4.3. Anästhesieverfahren .....	20
2.4.4. Durchführungszeit .....	23
2.4.5. Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Plexusanästhesie, Anschlagszeit und Anästhesiezeit.....	23
2.4.6. Operationsphase .....	26
2.4.7. Vorgehen bei inkompletten Blockaden .....	26
2.4.8. Aufwachraum und Fragebogen .....	27
2.5. Statistische Auswertung.....	27
3. Ergebnisse .....	28
3.1. Biometrische Daten und Gleichheit der Gruppen.....	28
3.2. Durchführung der axillären Blockade.....	29

3.2.1. Identifizierte Nerven, Lokalanästhetikum und akzidentelle Gefäßpunktionen.....	29
3.2.2. Schmerzbewertung mittels Visueller Analog Scala (VAS).....	30
3.2.3. Durchführungszeit .....	31
3.3. Effektivität der axillären Plexus brachialis Blockade .....	32
3.3.1. Anschlagszeiten .....	32
3.3.2. Anästhesiezeit (Operationsfähigkeit).....	32
3.3.3. Erfolgsquote und Versager.....	33
3.3.4. Blockadequalität/ -erfolg.....	34
3.3.5. Blockadequalität (Score) .....	39
3.4. Patientenzufriedenheit .....	42
3.4.1. Parästhesien bei Anlage der Nervenblockade .....	42
3.4.2. Schmerzen durch die Blutsperre .....	43
3.4.3. Blockdauer .....	44
3.4.4. Gesamtzufriedenheit .....	44
4. Diskussion .....	45
4.1. Diskussion der Ergebnisse im Vergleich zu anderen Studien.....	45
4.1.1. Durchführungszeit .....	45
4.1.2. Blockadeeffektivität .....	46
4.1.3. Komplikationen (Gefäßpunktionen, Parästhesien) .....	60
4.1.4. Patientenzufriedenheit (Gesamtzufriedenheit, VAS, Schmerzen, Parästhesien, Tourniquettoleranz) .....	62
4.2. Fehlerdiskussion .....	64
4.3. Konklusion .....	65
5. Zusammenfassung.....	67
6. Literatur .....	69
7. Anhang .....	87

# 1. Einleitung

## 1.1. Anatomie des Plexus brachialis

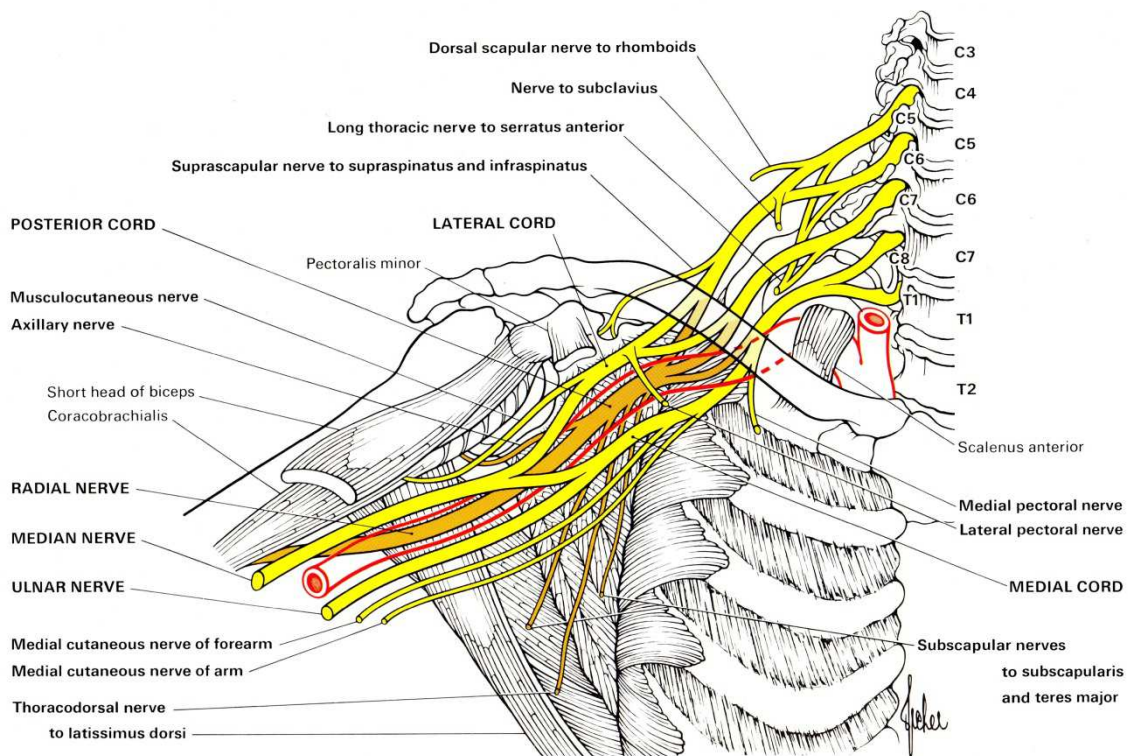
Der Plexus brachialis entsteht aus den ventralen Ästen der Spinalnerven C5 – Th1. Nicht selten sind Varianten, die auch Fasern aus C4 (> 60%) und/ oder Th2 (> 30%) enthalten. Die Spinalnerven treten durch die Foramina intervertebralia aus und laufen über den Processus transversus des entsprechenden Wirbelkörpers. Die A. vertebralis liegt ventral der Nervenaustritte. Es bilden sich drei Trunci, die zusammen zwischen M. scalenus anterior und M. scalenus medius (durch die hintere Scalenuslücke) zur ersten Rippe ziehen. Der Truncus superior enthält die Fasern aus C5 und C6 und bildet sich meist etwas lateral der Scalenuslücke. Der Truncus medius entspricht dem Spinalnerv C7. Der Truncus inferior bildet sich noch in der Scalenuslücke aus den Spinalnerven C8 und Th1 (selten auch aus Th2). Die A. subclavia, die ebenfalls durch die hintere Scalenuslücke zieht, liegt hier vor dem Truncus inferior. Unter ihr befindet sich die erste Rippe. Nachdem die A. subclavia die erste Rippe bzw. die Clavicula passiert hat, heißt sie bis zur hinteren Achselfalte A. axillaris, danach A. brachialis. Plexus brachialis und Arterie sind von der Scalenuslücke bis in die Axilla von einer bindegewebigen Hülle umgeben, die sich aus der cervicalen paravertebralen Faszie ableitet. Sie wird als Gefäß-Nerven-Scheide bezeichnet. Die Strukturen in der Gefäß-Nerven-Scheide sind durch Bindegewebe, (manchmal Septen genannt), voneinander separiert, so dass für jeden Nerv eine Art Kompartiment entsteht (1). Die Gefäß-Nerven-Scheide endet in der Peripherie im Septum intermusculare brachii mediale.

Kurz oberhalb der Clavicula spalten sich die Trunci in eine anteriore (Beugemuskulatur) und eine posteriore (Streckmuskulatur) Division auf, um sich in drei Faszikeln um die A. axillaris zu gruppieren. Der Fasciculus lateralis generiert sich aus den anterioren Divisionen der Trunci superior und medius. Er liegt seitlich der A. axillaris. Der Fasciculus medialis stellt die Fortsetzung der

anterioren Division des Truncus inferior dar und liegt medial der A. axillaris. Aus den posterioren Divisionen der drei Trunci entwickelt sich der Fasciculus posterior, der hinter der A. axillaris zum Liegen kommt. In der Scalenuslücke liegt die A. subclavia vor dem Truncus inferior, die restlichen Trunci in der Ebene des Truncus inferior über der A. subclavia. Nach der ersten Rippe schmiegt sich die A. subclavia bzw. axillaris zwischen die Faszikel. Daraus resultiert einerseits, dass direkt infraclavikulär der posteriore Faszikel üblicherweise lateraler als der am oberflächlichsten gelegene laterale Faszikel angesiedelt ist, und andererseits, dass der mediale Faszikel der tiefst gelegene ist. Erst in der Axilla haben die Faszikel ihre endgültigen, namensgebenden Positionen eingenommen.

Der N. suprascapularis geht als einziger Einzelnerve oberhalb der Clavicula noch vom Truncus superior ab. In der Axilla zweigt sich der N. axillaris (AX) vom posterioren Faszikel ab, der danach zum N. radialis (RAD) wird. Der laterale und der mediale Faszikel bilden ventral der A. axillaris die Medianusgabel und so den N. medianus (MED). Vor der Medianusgabel – in vielen Fällen sehr hoch – entspringt aus dem lateralen Faszikel der N. musculocutaneus (MUC), der auf dem M. coracobrachialis zieht, diesen durchbricht, Mm. biceps brachii und brachialis versorgt und als N. cutaneus antebrachii lateralis endet. Bevor aus dem medialen Faszikel die Radix medialis der Medianusgabel wird, gehen, von oben beginnend, der N. cutaneus brachii medialis (CBM), der N. ulnaris (ULN) und der N. cutaneus antebrachii medialis (CAM) ab. Siehe hierzu Abb. 1.

Die Anatomie – die Anordnung der Nerven um die Arterie – des Plexus brachialis unterliegt in der axillären Ebene einer großen Variabilität (2-7). Ebenso können sich die Nervenpositionen, bezogen auf die A. axillaris, schon durch leichten Druck verändern – wie z.B. durch Tasten der Arterie oder den Schallkopf (5).



**Abb. 1:** Plexus brachialis. Quelle: (8) S.4, Zeichnung von Patricia Archer PhD

**Tabelle 1:** Motorische Versorgung von Arm und Hand

<b>MUC</b>	Beuger des Oberarms (M. biceps brachii, M. brachialis)
<b>MED</b>	den größten Teil der Unterarmbeuger, Beugung/ Opposition des Daumens, Pronatoren (M. pronator teres, M. pronator quadratus, M. flexor carpi radialis)
<b>ULN</b>	Kleinfingerballenmuskeln u. Mm. interossei, Adduktion des Daumens
<b>RAD</b>	Ober- und Unterarmstrecker (M. triceps brachii, M. anconeus)
<b>AX</b>	M. deltoideus, M. teres minor

## 1.2. Die Evolution der axillären Plexusanästhesie

Vor ca.100 Jahren, am 18. Juli 1911, erschien in der Münchner Medizinischen Wochenschrift die erste Beschreibung einer perkutanen Plexus-brachialis-Anästhesie. Der Heidelberger Chirurg Georg Hirschel berichtete über die erfolgreiche „Anästhesierung des Plexus brachialis“ durch eine axilläre Punktion



und die Verabreichung von 2%iger Novocainlösung (+Adrenalin) bei drei Patienten (9). Kurz darauf, am 7. Oktober 1911, veröffentlichte der Chirurg Dietrich Kulenkampff aus Zwickau im Zentralblatt für Chirurgie den supraclavikulären Zugang zum Plexus brachialis (10). Im folgenden Jahr erschien der Artikel „Über die Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung“ (11) des Tübinger Chirurgen Georg Perthes, der die Nervenlokalisierung mit Hilfe eines elektrischen Nervenstimulators beschrieb. Seine Intention bestand darin, die Nervensuche objektiver zu gestalten. Beim bisherigen Vorgehen, dem Auslösen von mechanischen Parästhesien, war der Arzt von der Mitarbeit des Patienten abhängig.

In den darauffolgenden Jahren etablierte sich zunächst die supraclavikuläre Technik zur Blockade des Plexus brachialis, obwohl diese mit mehr Komplikationen (Pneumothorax) behaftet war. Erst 1958 erhielt die axilläre Technik durch Burnham (12,13) wieder mehr Popularität. Er erkannte, dass Gefäße und Nerven in der Axilla in einem bindegewebigen Schlauch, der sogenannten Gefäß-Nerven-Scheide, zusammengefasst sind. Folglich genügte im Prinzip eine einzige Punktion mit einer paravaskulären LA-Injektion, um die Nerven zu umspülen. Burnham beschreibt einen charakteristischen Klick beim Durchdringen der Faszie, wodurch er auf das Auslösen von Parästhesien zur Nervenlokalisierung verzichten konnte. Burnham konnte in seiner Studie eine Erfolgsrate von 93% mit nur 16 ml LA (12) vorweisen, die viele der folgenden Untersuchungen mit größeren Fallzahlen nicht erreichen konnten (14,15). Deren Erfolgsraten erstrecken sich von 60% bis 96% und weisen im Durchschnitt einen Wert von 86% auf.

Schon Hirschel wies darauf hin, dass es für eine Blockade des MUC und des AX essentiell ist, das LA soweit wie möglich proximal in der Gefäß-Nerven-Scheide zu platzieren, da diese Nerven früh vom Plexus abzweigen und nicht mehr zusammen mit den anderen Nerven verlaufen (9). De Jong errechnete, basierend auf Obduktionsergebnissen, ein Mindestvolumen von 42 ml, um den MUC von der Axilla aus zu erreichen (16).

Vor den 1960er Jahren waren Doppel- oder Multiinjektionstechniken vorherrschend, während nach der Publikation von De Jongs Artikel von 1961

die Single-Injektionstechnik – die einfachste Methode - in den meisten Kliniken zum Standard wurde (17-19). Aber auch die transarterielle Technik (mit großen LA Mengen) war in den 1990er Jahren eine beliebte Technik mit Erfolgsraten bis zu 99% (20-23). Heute ist die axilläre Plexus- Blockade eine der am häufigsten genutzten Techniken, um den Arm für Operationen an Hand und Unterarm zu anästhesieren.

1946 wurde von Ansbro erstmals über die kontinuierliche Plexusanästhesie berichtet (24). Der Aufwand war allerdings zu groß, um Einzug in die Praxis zu halten. Erst 1977 benutzte Selander (25) eine Venenverweilkanüle zur kontinuierlichen Plexusanästhesie und ebnete so den Weg für kontinuierliche Verfahren.

In den 1980er Jahren konnte Vester-Andersen mehrfach nachweisen, dass trotz gesteigerter Volumina und Konzentrationen von Lokalanästhetika die Inzidenz inkompletter Blockaden hoch war (26,27). Thompson und Rorie zeigten, dass die Gefäß-Nerven-Scheide durch bindegewebige Septen unterteilt ist und so die zirkumferente LA-Ausbreitung um die Arterie behindern (1). Andere Autoren kamen zu ähnlichen Ergebnissen (28-31). Die Fasziierungen werden für inkomplette Blockaden bei einzeitigen Injektionen verantwortlich gemacht. Partridge et al. konnten belegen, dass die Septen zwar bestehen, aber inkomplett sind und so die Ausbreitung von LA nicht verhindern (3,32). Ay et al. fanden heraus, dass die bindegewebigen Septen durch ein hohes Injektionsvolumen Löcher bekommen und so auch eine Single-Injektionstechnik zu einer kompletten Anästhesie des Arms führen kann (31). Bei einer Abduktion des Arms über 90° stellt auch der Humeruskopf ein Hindernis für die LA-Ausbreitung nach proximal dar, weswegen einige Autoren die Injektion bei angelagertem Arm oder maximal 90° Abduktion empfehlen (33-35).

Durch die technisch besser entwickelten Nervenstimulatoren sowie die oben genannten anatomischen Erkenntnisse wurden die Multiinjektionstechniken immer bedeutender. Viele Studien zeigten, dass nervenstimulationsgesteuerte Multiinjektionstechniken mit 3 oder mehr einzelnen LA-Depots den Single- und Double-Injektionstechniken wie auch der transarteriellen Technik in Anschlagszeit und Erfolgsrate überlegen sind (36-41). Der 2011 von Chin

veröffentlichte Systematic review (42) bestätigt dies und unterstreicht, dass die 4 großen Nerven (MED, MUC, ULN, RAD) durch einzelne Injektionen geblockt werden sollten, um eine qualitativ hochwertige Anästhesie inklusive Tourniquet-Toleranz zu erzeugen. Allerdings wurden in diesem Review die seit den späten 90er Jahren immer populärer werdenden ultraschallgesteuerten Multiinjektionstechniken ausgeschlossen, mittels derer sich Erfolgsraten von bis zu 100% erzielen lassen und die zudem kurze Anschlagszeiten aufweisen (43-47).

Die Frage, welches Anästhesieverfahren und welcher Zugangsweg sich für die Blockade des Plexus brachialis am besten eignen, konnte bis heute nicht eindeutig beantwortet werden.

### **1.3. Möglichkeiten der Nervenlokalisierung**

Zu Beginn der Regionalanästhesie identifizierte man die Nerven durch Kenntnis der Anatomie und durch das Auslösen mechanischer (und thermischer) Parästhesien. Bis in die 1950er Jahre galt der von Moore geprägte Ausspruch „no paresthesia – no anesthesia“ (48,49). Dieses Vorgehen ist mit zwei grundlegenden Problemen behaftet: Erstens ist man auf die qualitativ höchst variable Mithilfe des Patienten angewiesen, der die Parästhesien angeben soll – ein Mangel an Objektivität. Zweitens birgt das Auslösen mechanischer Parästhesien die Gefahr von Nervenschäden (50-53). Mit der Parästhesie weiß der Anästhesist nicht, ob er den Nerv mit der Kanülenspitze oder anderen Anteilen der Kanüle berührt.

Mit wachsender Bedeutung von Sicherheitsstandards in der Anästhesie und dem Bestreben, die Erfolgsquote in der Regionalanästhesie zu verbessern, wandte man sich ab den 1960er Jahren verstärkt der elektrischen Nervenstimulation zu. Die technischen Fortschritte zu dieser Zeit ließen die Geräte deutlich kleiner und einfacher in der Bedienung werden. Mit der Messung des applizierten Stroms während der Stimulation entwickelte sich die Stimulationstechnik in den letzten 15 Jahren zu einer zuverlässigen Methode

und ist heute ein weit verbreitetes und wissenschaftlich fundiertes Verfahren (54-71).

Seit den 1980er Jahren steht mit der Sonographie ein weiteres Verfahren zur Nervendetektion zur Verfügung, das mit der Nervenstimulation konkurriert oder sie ergänzt (72-77). Mit der Sonographie lassen sich Strukturen, Position der Nadelspitze und Ausbreitung des Lokalanästhetikums sichtbar machen (30,43,45,46,74,76,78-87).

### 1.3.1. Nervenstimulation

Ziel der elektrischen Nervenstimulation ist es, die Nadelspitze in unmittelbare Nähe des Nerven zu führen, um das LA exakt zu injizieren und damit den Blockadeerfolg zu gewährleisten. Andererseits soll mit diesem Verfahren eine direkte Nervenberührung verhindert werden. Die vom Nervenstimulator erzeugten elektrischen Impulse führen – bei ausreichender Nähe der Nadel zum Nerv – zu einer Depolarisation am Nerv. Bei motorischen Fasern erfolgt damit die entsprechende Muskelkontraktion. Die Chronaxie oder Kennzeit der verschiedenen Nervenfasern (Tabelle 2) ist ein Maß für deren Stimulierbarkeit.

**Tabelle 2:** Übersicht über Nervenfasertypen und deren Kennzeiten

Nervenfasertyp		Kennzeit
A $\alpha$	motorische Efferenz	50 - 100 $\mu$ s
A $\delta$	Schmerzrezeption	150 $\mu$ s
C	Schmerzrezeption	400 $\mu$ s

Bleibt die elektrische Impulsdauer unterhalb der Kennzeit (z.B. < 150  $\mu$ s), erfolgt keine Depolarisation. Aufgrund der unterschiedlichen Stimulierbarkeit der einzelnen Nervenfasertypen ist es möglich, mit ausreichend kurzen Impulsdauern eine motorische Antwort zu erzielen, ohne dabei schmerzhaftes Parästhesien zu erzeugen. Die benötigte Stromstärke zur Auslösung einer Muskelantwort ist abhängig vom Abstand zwischen Nadelspitze und Nerv. Je

niedriger die Stromstärke bei erhaltener Depolarisation (sichtbare Muskelkontraktion), desto näher ist man dem Nerv (54,55,58,88).

Nach dem Coulomb'schen Gesetz  $I = K \times Q/r^2$  (mit  $I$  = erforderliche Reizstromstärke,  $K$  = Konstante,  $Q$  = minimale Reizstromstärke,  $r$  = Distanz zwischen Elektrode und Nerv) ergibt sich die Entfernung vom Nerv, d.h. die Reizstromstärke ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Nadel-Nerv-Abstands (89).

Als heute übliche Einstellung am Nervenstimulator gilt eine Impulsfrequenz von 1-2 Hz bei einer Impulsbreite von 0,1 ms bis 1,0 ms. Eine höhere Frequenz führt zu einer schnelleren sichtbaren Rückmeldung durch die motorische Antwort und steigert dadurch die Sicherheit – Frequenzen (weit)über 4 Hz sind allerdings unpraktikabel, da sie keine Zeit für die Muskelrelaxation lassen.

Die angestrebte/ zielführende Impulsamplitude ist abhängig von Nervenart und Impulsbreite. Es werden folgende Werte angestrebt (Tabelle 3):

**Tabelle 3:** Übliche Einstellungen am Nervenstimulator

<b>Nervenart/ Stimulationsantwort</b>	<b>Impulsbreite (ms)</b>	<b>angestrebte Impulsamplitude (mA)</b>
gemischter Nerv/ motorische Antwort	0,1	0,3 – 0,5
gemischter Nerv/ motorische Antwort	1,0	(0,05) 0,1 – 0,3
sensibler Nerv/ elektrische Parästhesie	1,0	0,3 – 0,5
sensibler Nerv/ elektrische Parästhesie	0,1	1,0 – 1,5
PNP/ motorische Antwort	1,0	0,3 - 0,5

Zielstromstärken über 0,5 mA bei 0,1 ms Impulsbreite zur Generierung einer Muskelantwort sind mit einer erhöhten Versagerrate vergesellschaftet (90). Das Unterschreiten von 0,3 mA (bei 0,1 ms) birgt keine Steigerung des Blockadeerfolgs (63), erhöht aber eventuell das Risiko eines Nervenschadens durch direkten Nadel-Nerv-Kontakt (65,91).

Bezüglich des Blockadeerfolgs und der Nervengesundheit werden heute folgende grundlegende Sicherheitsanforderungen an Nervenstimulatoren gestellt:

Der Stimulator muss einen konstanten Strom bei Widerständen zwischen 0,5 und 10 k $\Omega$  liefern. Der Ausgangsimpuls sollte ein monophasischer, von 0 bis 5 mA einstellbarer Rechteckimpuls sein, und der tatsächlich fließende Strom angezeigt werden. Eine Unterbrechung des Stromkreises, ungenügende Ladung der Batterie, interne Gerätefehler sowie eine zu hohe Impedanz sollten durch Alarme gemeldet werden (61,90,92,93).

Allerdings werden nicht alle Geräte diesen Anforderungen gerecht (59,61).

Als Punktionskanüle werden monopolare Kanülen verwendet. Bei diesen ist der Schaft isoliert, nur ein winziger Teil der Kanülenspitze leitet den Strom. Damit weist das Stromfeld an der Kanülenspitze eine höhere Dichte auf als bei einer nicht isolierten Kanüle. Die Kanüle sollte nur als Kathode an den Stimulator angeschlossen werden können, damit der Strom vom Nerv zur Nadel verläuft, was die Depolarisation mit geringeren Stromstärken ermöglicht. Wird die Nadel als Anode benutzt, führt das primär zu einer Hyperpolarisation des Nervs und es werden höhere Stromstärken zur Erregung des Nervs benötigt (61,88).

Trotz der Fortschritte gegenüber den rein landmarken- und parästhesiegestützten Techniken müssen die Nachteile der Methode betrachtet werden. Multiinjektionstechniken sind den Single-Injektionstechniken in Bezug auf Anschlagszeit, Erfolgsrate und LA-Volumen überlegen (39,40,42,69,94). Mehrfachinjektionen in ein Kompartiment, in dem sich bereits betäubte Nerven befinden, bergen das Risiko, dass sich jene durch eine motorische Antwort nicht mehr identifizieren lassen. Dies kann Nervenverletzungen infolge unerkannter Nervenberührungen nach sich ziehen (95). Durch die gemeinsame Verwendung von Sonographie und Nervenstimulation konnte gezeigt werden, dass trotz sichtbaren Nadel-Nerv-Kontakts und adäquater Reizstromstärke eine Muskelantwort ausbleiben kann (96-98). Intraneurale Injektionen unter Nervenstimulation sind vermutlich häufiger als bislang angenommen. Auch Parästhesien können trotz Verwendung eines Nervenstimulators vorkommen, ohne dass eine Muskelzuckung auftritt (65,97,99-101). Dieses Phänomen ist bis

jetzt nicht befriedigend erklärt. Man vermutet, dass das elektrische Feld an der Spitze der Nadel inhomogen ist. Die unterschiedlichen Gewebewiderstände führen dazu, dass der Strom den Weg des geringsten Widerstands nimmt und so auch bei direktem Nadel-Nerv-Kontakt keine Depolarisation hervorruft.

### **1.3.2. Ultraschall**

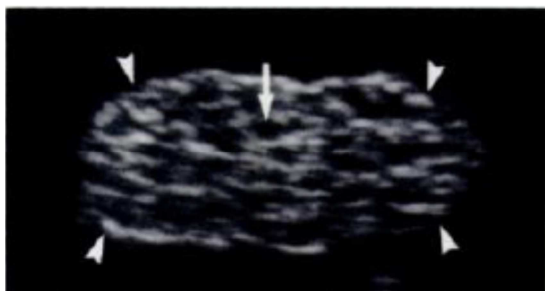
1880 wurde der piezoelektrische Effekt – der Grundstein für die heutigen Ultraschallgeräte – von Jaques und Pierre Curie entdeckt. Der Neurologe und Psychiater Karl T. Dussik setzte den Ultraschall schließlich erstmals in der Medizin zur Diagnostik ein und beschrieb in seinem 1942 veröffentlichten Artikel „Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwenden“ (102) die Darstellung eines Seitenventrikels. Um 1970 etablierte sich die Ultraschalldiagnostik in der Anästhesie. Eine erste Arbeit über Ultraschall in der Regionalanästhesie erschienen 1978: „Application of the Doppler ultrasound bloodflow detector in supraclavicular brachial plexus block“ (79). Fornage stellte 1988 zum ersten Mal Nerven mit hochauflösendem Ultraschall dar (103). Ein Jahr später publizierte Ting den Gebrauch von 2-D-Ultraschall für die axilläre Plexus Blockade (78). So begann man Ende der 80er Jahre Ultraschalltechniken systematisch zu untersuchen und die Geräte technisch zu verfeinern – eine Entwicklung, die bis heute anhält.

Aktuell benutzt man zur Darstellung von Nerven bei peripheren Blockaden Ultraschall mit Frequenzen zwischen 7,5 und 15 (17,5) MHz und daran gebundene Eindringtiefen bis etwa 5 cm. Für tiefer gelegene Nerven, wie z.B. den N. ischiadicus in der Glutealregion, sind niedrigere Frequenzen erforderlich. Für die axilläre Region sind Frequenzen > 10 MHz üblich, da die Nerven sehr oberflächlich liegen (2).

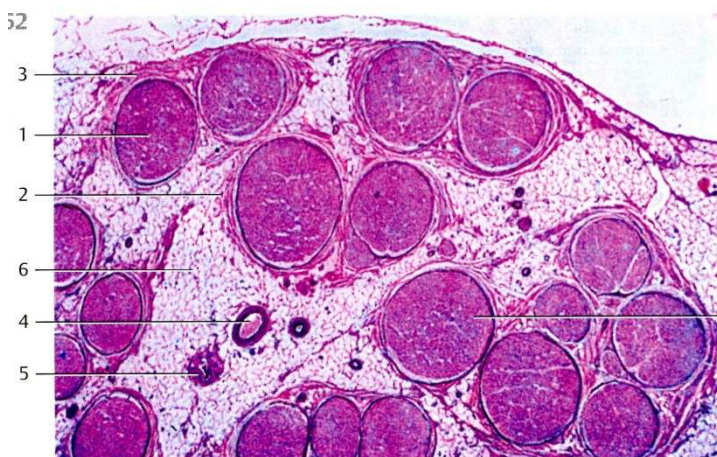
In der Regionalanästhesie kommen üblicherweise Linearschallköpfe zum Einsatz. Die hohe laterale Auflösung und die nahezu gleiche Abbildungsqualität im gesamten Schallfeld bieten hier Vorteile. Die axiale und laterale Auflösung

und damit die Unterscheidbarkeit zweier Bildpunkte betragen bei > 10 MHz um 1 mm.

Der Plexus brachialis lässt sich vom Austritt aus den Foramina intervertebralia bis in die Peripherie gut sonographisch darstellen (104,105). Nerven sind anisotrop im Ultraschall, d.h. die Echogenität bzw. ihr Reflexionsverhalten im Ultraschall ändert sich mit dem Einfallswinkel der Schallwellen zum Nerv. Mit leichten Kippbewegungen des Schallkopfs kann der Winkel der maximalen Reflexion gefunden werden. Nerven stellen sich im Ultraschall ihrem histologischen Aufbau entsprechend dar (106). Sie bestehen aus Nervenfasern (= Axon + Schwannzellen), Bindegewebe (= Peri- und Epineurium, Fett) und Gefäßen (Abb. 2 und Abb.3).



**Abb. 2:** N. ischiadicus (Ochse), quer geschallt mit 15 MHz; der Pfeil markiert eine hypoechogene Struktur, die Pfeilspitzen zeigen die Begrenzung des Nerven an. Quelle: (106) S. 292, Figure 1 b.



**Abb. 3:** N. ischiadicus, 10-fach vergrößert; H.-E.-Färbung. Quelle: (107), S. 189, 262 Nervus ischiadicus  
 1 Nervenfaserbündel  
 2 Perineurium  
 3 Epineurium  
 4 Arterie  
 5 Vene  
 6 Fettgewebe

Im Ultraschall stellen sich Nervenfaserbündel als hypoechogen/ schwarz/ schwach reflektierend dar, Bindegewebe als hyperechogen/ weiß /stark reflektierend (106). Je nach Nervenzusammensetzung imponieren Nerven als hypo- oder hyperechogene – im Querschnitt rundliche, wabenartige (30) –



Strukturen. Die Trunci des Plexus brachialis stellen sich hypoechogen dar, da der Bindegewebeanteil der monofaszikulären Struktur gering ist. Erst weiter in der Peripherie, wo der Nerv ursprungstechnisch vermischerter und mechanisch beanspruchter ist, wird er hyperechogener (ebenfalls so beim distalen N. ischiadicus). Im Längsschnitt stellen die Nerven sich als Schlauch mit hyper- und hypoechogenen, parallelen, linearen Arealen dar (106). Je höher die Ultraschallfrequenz, desto feiner lassen sich die hypo- und hyperechogenen Areale differenzieren.

Nerven haben folgende Eigenschaften, die bei der Ultraschalldiagnostik zu beachten und zu nutzen sind: Sie sind nicht komprimierbar, pulsieren nicht (DD zu Gefäßen), lassen sich durch Druck verschieben und können in ihrem Verlauf verfolgt werden. Hohe Bildaufbauzeiten mit 16-60 Bildern/ sec bei der Ultraschalluntersuchung erlauben es, den Nerv in seinem Verlauf zu verfolgen, um sich so ein räumliches Bild mit seinen Begleitstrukturen zu verschaffen. Bis zu einer Tiefe von 5 cm sind Nerven problemlos darstellbar.

Das Reflexionsverhalten verschiedener Kanülen ist ähnlich (108). Je größer der Kanüldurchmesser und je flacher der Einstichwinkel, desto besser sind sie sichtbar (109). Mittlerweile wurden beschichtete Kanülen entwickelt, die Ultraschall besonders gut reflektieren und somit einen höheren Sichtbarkeitsgrad aufweisen (110-112). Beim Führen der Kanüle unter sonographischer Kontrolle ist es essentiell, die Kanülenspitze während der gesamten Blockadeanlage zu visualisieren! Ohne diese Voraussetzung ist es nicht sicher möglich das LA direkt neben den Nerv zu bringen, gleichzeitig aber genug Abstand von diesem zu halten. Ob quer oder „in-line“ zur Schallebene gestochen wird, ist abhängig von Anwender und Technik.

Ultraschallgeräte (um die 20000 €) sind im Vergleich zu Nervenstimulatoren (um die 1000 €) teuer.

Auch mit Ultraschall können Komplikationen nicht gänzlich verhindert werden, wie einigen Fallberichten zu entnehmen ist (113-119), allerdings besteht die Möglichkeit der Korrektur, auch wenn der Patient keine Schmerzen oder Parästhesie äußert. Voraussetzung für die sichere und erfolgreiche Anwendung von Ultraschall in der Regionalanästhesie sind das Wissen, die praktischen

Fertigkeiten sowie die Erfahrung des Untersuchers darin, sich die Zielstrukturen darzustellen, das erhaltene Bild zu interpretieren (trotz der Artefakte) und die Kanüle sonographisch kontrolliert an den Zielpunkt zu bringen.

Ein Vorteil der Ultraschall-Technik ist die Unabhängigkeit der Information von der Aussage und Mitarbeit des Patienten. Durch die Bildgebung fällt es leichter, rein sensible Nerven, polyneuropathisch veränderte Nerven oder Nerven in teilweise anästhesiertem (87) Gebiet aufzuspüren. Auch die Blockade von Nerven bei tief sedierten/ narkotisierten und relaxierten Patienten – unter besonderer Sorgfalt – stellt ein potentiell Einsatzgebiet dar. Ultraschall ist ein schmerzfreies Verfahren – im Gegensatz zur Nervenstimulation, bei der z. B. Schmerzen auftreten können, wenn die Muskelantwort eine Fraktur bewegt.

Durch das Sichtbarmachen der Zielstrukturen ist eine potentielle Reduktion der Komplikationen wie Gefäßverletzungen oder intraneurale Injektionen, erreichbar. Bis jetzt konnte das noch nicht bestätigt werden (120). Durch die Visualisierung der Ausbreitung des Lokalanästhetikums und damit der Möglichkeit zur Korrektur werden bei sonographiegesteuerten Techniken hohe Erfolgsraten mit > 90% erzielt, unabhängig davon, ob man die Nerven im Ultraschall direkt oder nur das Kompartiment darstellt (43,45,73,75,76,87,121-123). Die Anschlagzeiten fallen kurz bzw. im Vergleich mit anderen Techniken kürzer aus (73,76,77,87). Dadurch können die LA-Menge (85,124,125) und damit mögliche Nebenwirkungen reduziert werden.

#### **1.4. Fragestellung**

Bietet die Sonographie Vorteile gegenüber der Nervenstimulation bei der axillären Plexusblockade bezüglich Durchführungszeit, Anschlagzeit (und damit ökonomische Vorteile), Blockadeerfolg, Blockadequalität und Patientenkomfort?

## **2. Patienten, Material und Methoden**

### **2.1. Studiendesign**

Die Studie zur Untersuchung zweier etablierter Techniken der axillären Plexus brachialis Blockade erfolgte prospektiv, randomisiert und untersucherverblindet. Das Studienprotokoll wurde der Ethikkommission der Universität Würzburg vorgestellt und genehmigt. Bei den Teilnehmern der Studie handelte es sich ausschließlich um Patienten, bei denen eine Plexusanästhesie indiziert war und die in diese einwilligten. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig. Die Randomisierung wurde durch einen an der Studie nicht beteiligten Mitarbeiter, die Plexusblockaden von 5 erfahrenen Fachärzten durchgeführt; zwei Medizinstudenten fungierten als Untersucher.

### **2.2. Patienten**

Die Daten aus einer Vorgängerstudie ließen einen Unterschied in der Anschlagszeit von 10 min erwarten. Die daraus berechnete Stichprobengröße pro Gruppe bei einer zweiseitigen Ausrichtung, einer Power von 80% und einem alpha-Fehler von 5% betrug 20 Patienten.

Am Zentrum für Operative Medizin der Universität Würzburg wurden zwischen Juni 2005 und Oktober 2005 60 Patienten untersucht, die sich einer Operation an Hand, Unterarm oder Ellenbogen unterziehen mussten. Die aus dem stationären (21), ambulanten (25) und Notfall-Behandlungsbereich (2) kommenden Patienten wurden zufällig einer der beiden Gruppen (Ultraschallgruppe = SONO und Nervenstimulationsgruppe = STIM) zugeordnet und je nach Gruppenprotokoll anästhesiert.

Die operativen Eingriffe setzten sich wie folgt zusammen: fünf Operationen bei Karpaltunnelsyndrom, elf Osteosynthesen im Bereich der Hand, acht Osteosynthesen im Bereich des Unterarms, zwei Metallentfernungen, drei

Arthroskopien des Handgelenks, siebzehn Schnittverletzungen und Sehneneingriffe, drei Defektdeckungen, drei Ganglionextirpationen, fünf gefäßchirurgische Eingriffe sowie eine Bursektomie am Ellenbogen. Eingeschlossen wurden alle Patienten, die eine Plexusanästhesie wählten und der Studie zustimmten. Die Teilnehmer der Studie durften nicht jünger als 18 Jahre alt sein und zudem keines der folgenden Ausschlusskriterien aufweisen:

- ASA-Klassifikation > III (Risikoklassifikation der American Society of Anesthesiologists: ASA I = gesunder Patient, ASA II = leichte, kaum leistungsmindernde Systemerkrankung, ASA III = schwere, leistungsmindernde Systemerkrankung)
- Allgemeine Kontraindikationen für eine Plexusanästhesie (Infektion oder Tumore im Bereich der Punktionsstelle, manifeste schwerwiegende Gerinnungsstörungen)
- Vorher bestehende neurologische oder muskelbedingte Defizite, welche die nachfolgende experimentelle Untersuchung behindern
- Schwangere oder stillende Patientinnen
- Verständigungsprobleme mit dem Patienten (keine Deutsch- oder Englischkenntnisse, starke Schwerhörigkeit, starke Demenz)

Die Patienten wurden am Prämedikationstermin über die Studie aufgeklärt (Sinn der Untersuchung, Ablauf des Versuchs, Gewährleistung der Datenschutzes, Freiwilligkeit der Teilnahme) und erteilten im Falle einer Zustimmung diese schriftlich. Alle erforderlichen Fristen wurden eingehalten (Aufklärungsbogen im Anhang: Anlage 1).

Bei Bedarf wurde den Patienten am Vorabend eine Prämedikation mit 10-20 mg Temazepam p.o. verabreicht, am Tag der Operation erhielten sie 3,75 – 11,25 mg (im Mittel 7,5 mg) Midazolam p.o. Die patienteneigene Medikation wurde beibehalten bzw. – wie vor Operationen üblich – ausgesetzt.

## **2.3. Material**

### **2.3.1. Bei beiden Anästhesiemethoden verwendete Materialien**

#### **2.3.1.1. Lokalanästhetikum:**

- Plexusblock: 40-50 ml 1,5%iges Mepivacain
- Ringwall: 5-10 ml 0,5%iges Mepivacain
- Hautinfiltration: 1-2 ml 1%iges Mepivacain

#### **2.3.1.2. Für die Anlage der Plexusanästhesie:**

Als Material diente hier eine 24 G-Kanüle mit rotationssymmetrischem Schliff („pencil-point“), einem Kabel zur Elektrostimulation sowie einer abnehmbaren Injektionsleitung (24G UniPlex Sprotte<sup>®</sup>, UPS, 40 mm, Fa. Pajunk<sup>®</sup>, Geisingen, Deutschland). Die Kanüle verfügt über einen isolierten Schaft mit leitfähiger Spitze (unipolar), was eine genaue Lokalisierung des Nervs ermöglicht. Um einen Stromfluss herzustellen, wurden das integrierte Kabel der Kanüle mit der Kathode und die am Patienten aufgeklebte Elektrode mit der Anode des Nervenstimulators verbunden. Die gleiche Kanüle kam auch bei der Ultraschallmethode zum Einsatz, allerdings ohne Benutzung des integrierten Kabels.

### **2.3.2. Nervenstimulationsmethode**

Für die Nervenstimulationsmethode wurde der Nervenstimulator Stimuplex<sup>®</sup> HNS 11 (Braun<sup>®</sup>, Melsungen, Deutschland) verwendet. Dieses Gerät gibt einen Rechteckimpuls ab. Die Impulsbreite kann auf 0,1 ms, 0,3 ms oder 1,0 ms eingestellt werden, die Impulsfrequenz auf 1 Hz oder 2 Hz. Die Impulsamplitude lässt sich in 0,01 mA- (bzw. 0,1 mA-) Schritten regulieren und kann auf

entweder maximal 1 mA oder maximal 5 mA festgelegt werden. Die tatsächlich fließende Stromstärke wird digital am Nervenstimulator angezeigt.

### **2.3.3. Ultraschallmethode**

Für die Ultraschallmethode kam das tragbare Ultraschallgerät SonoSite 180 Plus<sup>®</sup> (Fa. SonoSite, Bothell, USA) mit linearem, multifrequenterem Digitalschallkopf (5-10 MHz, 38 mm Länge) zum Einsatz. Die Schallfrequenz ist zwischen 5 und 10 MHz regulierbar, wurde aber primär auf 10 MHz eingestellt. Die Eindringtiefe liegt hier im Bereich von bis zu 3 cm bei 7,5 MHz bis zu 5 cm. Die laterale Auflösung rangiert zwischen 0,5 und 0,7 mm, die axiale zwischen 0,2 und 0,3 mm. Dieses Gerät verfügt auch über eine Doppler- sowie eine Farbdoppler-Funktion zur Darstellung von Gefäßen.

### **2.3.4. Untersuchung von Sensorik und Motorik**

Zur Untersuchung der spitz-stumpf-Diskrimination wurde eine 24 G Sprotte<sup>®</sup>-Kanüle (70 mm, Fa. Pajunk, Geisingen, Deutschland) verwendet, wie sie für eine Spinalanästhesie benutzt wird. Auf Grund des rotationssymmetrischen Schliffs ist die Spitze nicht schneidend und verletzt damit die Haut nicht.

### **2.3.5. Patientenbefragung**

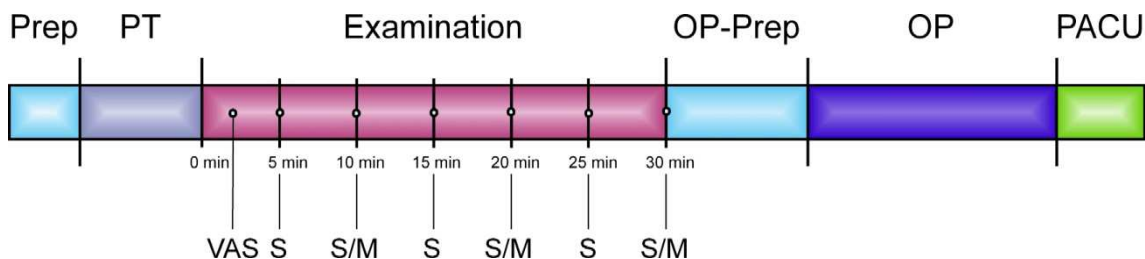
Die Befragung der Patienten erfolgte mittels eines dreiseitigen Fragebogens (s. Anhang: Anlage 4).

## 2.4. Methoden

### 2.4.1. Versuchsablauf

Die folgende Abbildung (Abb. 4) zeigt schematisch den zeitlichen Versuchsablauf:

Nach den allgemeinen Vorbereitungen erfolgte die Durchführung der Nervenblockade, die benötigte Zeit hierfür wurde notiert. Danach schließt sich die 30-minütige Testphase für Sensorik und Motorik an. Nach diesen 30 min wurde der Patient freigegeben, in den Operationssaal gebracht und dort für die Operation vorbereitet. Während der Operation erfolgte die Datenerfassung zu Schmerzmittelverbrauch und Tourniquet-Toleranz. Im Anschluss an die Operation wurde der Patient im AWR weiter betreut und auf die Station verlegt. Die Befragung der Patienten fand nach ca. 24 Stunden statt.

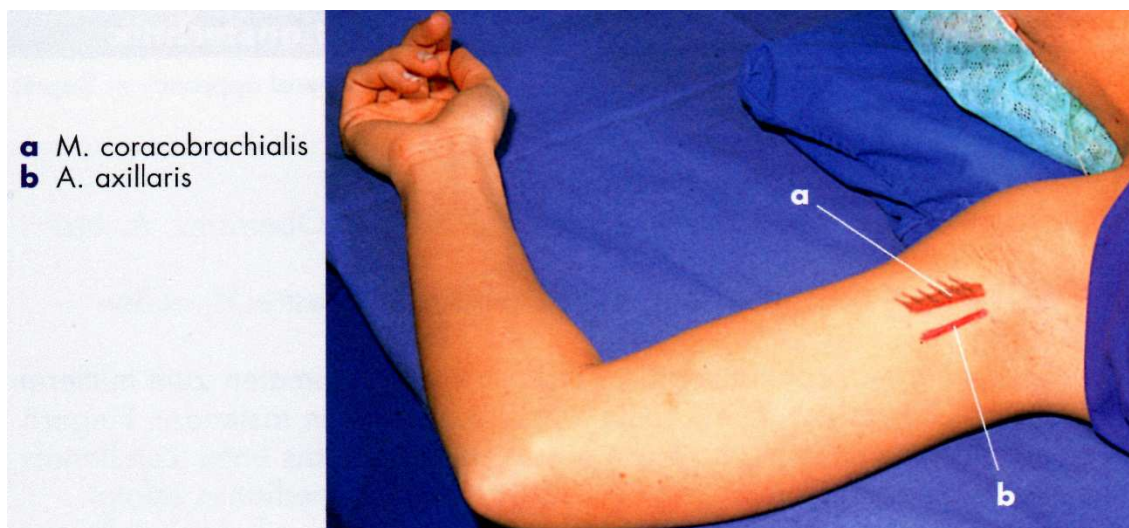


**Abb. 4:** Chronologischer Ablauf des Versuchs

<b><u>Prep</u></b>	Allgemeine Vorbereitung für die Plexusanästhesie
<b><u>PT</u></b>	(Performance time) Zeitaufwand für die Nervenblockade (vom Setzen der Lokalanästhesie bis zum Aufkleben des Pflasters)
<b><u>Examination</u></b>	Untersuchung der einzelnen Innervationsgebiete
<b><u>OP-Prep</u></b>	evtl. Supplementierung der Plexusanästhesie, Freigabe zur Operation, allgemeine chirurgische Vorbereitungen
<b><u>OP</u></b>	Operationsdauer (von Hautschnitt bis Hautnaht)
<b><u>PACU</u></b>	(Post anesthesia care unit) Verlegung des Patienten in den Aufwachraum
<b><u>VAS</u></b>	(Visuelle Analog Scala) Befragung des Patienten über die Schmerzen während Anlage der Plexusanästhesie mit einer VAS
<b><u>S</u></b>	Testen der Sensorik
<b><u>S/M</u></b>	Testen von Sensorik und Motorik

## 2.4.2. Allgemeine Vorbereitungen

Vor Versuchsbeginn wurden alle Patienten an das übliche Monitoring (EKG, Sauerstoffsättigung, nicht invasive Blutdruckmessung) angeschlossen und bekamen im Anschluss daran einen venösen Zugang mit einer Infusion (Sterofundin, Ringer, Ringer-Lactat oder NaCl). Die Anlage der Plexusanästhesie erfolgte im Aufwachraum des Operationstrakts in abgeschirmter Umgebung. Nach Öffnen des Randomisierungsumschlags erfolgten die restlichen Vorbereitungen (Aufstellen des Ultraschall- oder Nervenstimulationsgerätes und, wenn erforderlich, Anbringen einer indifferenten Hautelektrode, Aufziehen des Lokalanästhetikums, Richten von Plexus-Set mit Kanülen, Klärung letzter Fragen mit dem Patienten). Danach wurden die Patienten in Rückenlage gebracht (Arm 90° abduziert, außenrotiert und im Ellenbogen 90° gebeugt (Abb. 5)).



**Abb. 5:** Armlagerung mit markierten Landmarken. Quelle: (126), S. 27

Zum Auffinden der Punktionsstelle orientiert man sich am Verlauf der A. axillaris sowie am Rand des kranial davon verlaufenden M. coracobrachialis (Abb. 5). Die Einstichstelle befindet sich in der Lücke zwischen M. coracobrachialis und A. axillaris etwas distal der Achselfalte, so dass das LA-Depot auf Höhe der Kreuzung von A. axillaris und M. pectoralis major liegt.



Das Punktionsgebiet wurde bei Bedarf rasiert und nach geltenden Richtlinien desinfiziert.

### **2.4.3. Anästhesieverfahren**

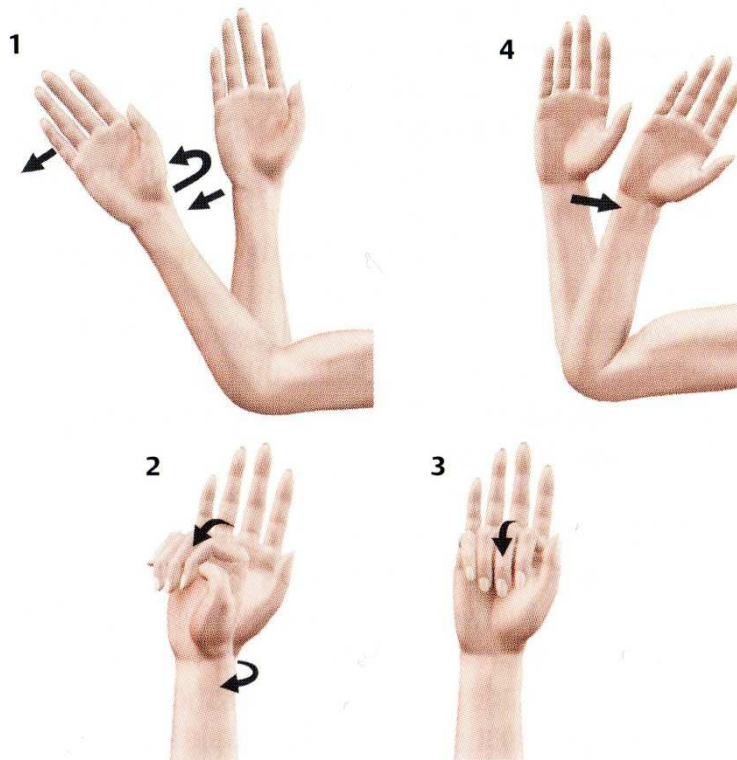
#### **2.4.3.1. Nervenstimulationsmethode**

Nach den technischen Vorbereitungen (Gerätecheck, Aufkleben der Elektrode ca. 20 cm von der Punktionsstelle entfernt) und der örtlichen Betäubung (ca. 1 ml 1%iges Mepivacain) der Punktionsstelle wurde diese mit einer Hautlanzette vorpunktiert. Im Anschluss daran identifizierte der Anästhesist mindestens zwei Nerven mittels elektrischer Nervenstimulation, und eine ihm assistierende Pflegekraft injizierte auf dessen Anweisung hin nach sorgfältiger Aspiration 10 ml bis 20 ml Mepivacain 1,5% pro Nerv. Erste Wahl waren der MED und der RAD. In acht Fällen erwies sich dies als nicht möglich und man wick auf eine der folgenden Kombinationen aus: MED und ULN, RAD und ULN, MED allein. Die Stimulation des MUC war nicht obligat, wurde aber dokumentiert.

Es wurde mit einer Ausgangsstromstärke von 1,0 mA begonnen und nach Erreichen einer adäquaten Stimulationsantwort wurde diese mit Annäherung an den Nerv reduziert. Der Zielbereich für die Reizstromstärke wurde auf kleiner 0,5 mA und größer gleich 0,3 mA festgelegt. Die Impulsdauer wurde auf 0,1 ms, die Impulsfrequenz auf 2 Hz eingestellt.

Folgende Stimulationsantworten wurden akzeptiert (s. Abb. 6):

- **MED:** Volarflexion im Handgelenk, Beugung der Finger II-III in den End- und Mittelphalangen, Beugung des Daumens, Pronation des Unterarms
- **RAD:** Streckung im Ellenbogengelenk, Radialabduktion im Handgelenk, Extension der Finger, Supination des Unterarms
- **ULN:** Beugung der Finger III-V in den Grundgelenken und Adduktion des Daumens, Ulnarflexion des Handgelenks
- **MUC:** Beugung im Ellenbogengelenk



**Abb. 6:** motorische Reizantworten der peripheren Nerven. Quelle: (127), S. 295

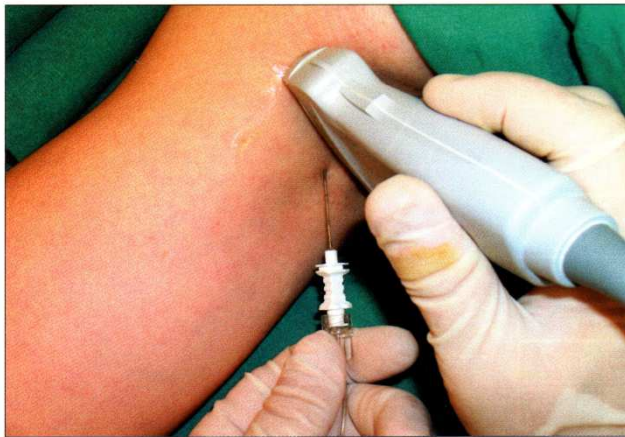
Abb.10.5

1 = RAD, 2 = MED, 3 = ULN, 4 = MUC

Anschließend erfolgte die Betäubung des MUC mit einem Depot (in den M. coracobrachialis) von 5 ml Mepivacain 1,5%, während die Nn. intercostobrachiales und cutaneus brachii medialis mit 5-10 ml Mepivacain 0,5% s.c. als „Ringwall“ anästhesiert wurden.

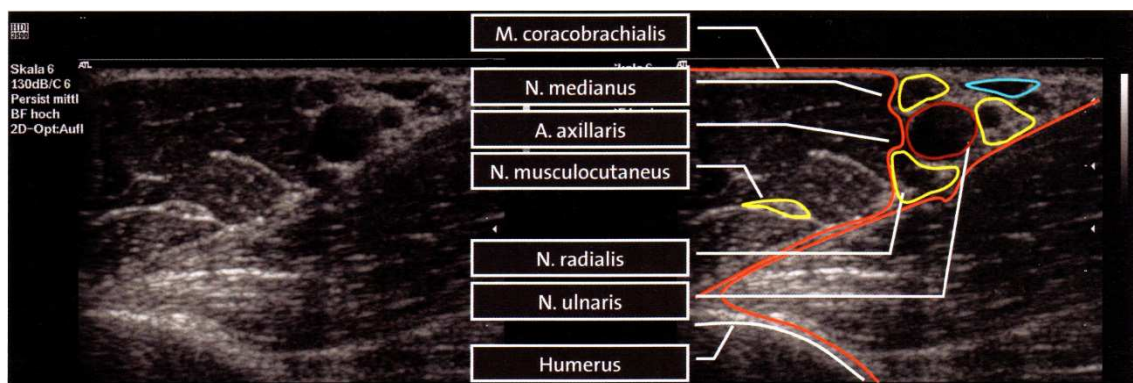
#### 2.4.3.2. Ultraschallmethode

Wie bei der Nervenstimulationsmethode wurde auch hier nach den technischen Vorbereitungen eine Hautquaddel gesetzt und die Haut mit einer Hautlanzette vorbereitet. Das Aufsetzen des Schallkopfes erfolgte etwa auf Höhe bzw. etwas weiter distal der Kreuzungsstelle zwischen A. axillaris und M. pectoralis major quer zur A. axillaris (s. Abb. 7).



**Abb. 7:** Positionierung des Schallkopfs in der Axilla, Kanülenführung out-of-plane.  
Quelle: (128), S. 266

Die Zielstrukturen (RAD, MED, ULN und MUC, A. axillaris, Vv. axillaris, M. coracobrachialis und Humerus) konnten mittels Ultraschall (Schallfrequenz 10 MHz) identifiziert werden, wie der folgenden Abbildung (Abb. 8) zu entnehmen ist:



**Abb. 8:** Ultraschallbild der Axilla, Querschnitt. Quelle: (128), S. 266

Nach dem Einbringen der Kanüle unter Sicht und quer zum Schallkopf wurden die Nerven in der Reihenfolge: RAD, ULN und MED mit jeweils 7 ml bis 15 ml Mepivacain 1,5% anästhesiert. Der MUC erhielt danach 5-10 ml 1,5%iges Mepivacain, für die Nn. intercostobrachiales, cutaneus brachii medialis und cutaneus antebrachii medialis wurden insgesamt 5-10 ml 0,5%iges Mepivacain 0,5% s.c. verwendet.

#### **2.4.4. Durchführungszeit**

Die mittels Stoppuhr gemessene Durchführungszeit ergab sich aus der Zeitspanne zwischen dem Setzen der Hautquaddel zur Lokalanästhesie und dem Aufkleben des Pflasters auf die Punktionsstelle nach Ende der LA-Injektion.

Tasten der Arterie, Orientierung an den Landmarken bzw. Aufsetzen des Schallkopfs und Einstellen des gewünschten Ultraschallbilds erfolgten vor dem Starten der Stoppuhr.

Durchführungszeit, LA-Volumina, stimulierte oder sonographierte Nerven sowie Komplikationen während der Plexusanlage wurden auf einem Datenblatt (s. Anhang: Anlage 2) notiert.

#### **2.4.5. Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Plexusanästhesie, Anschlagszeit und Anästhesiezeit**

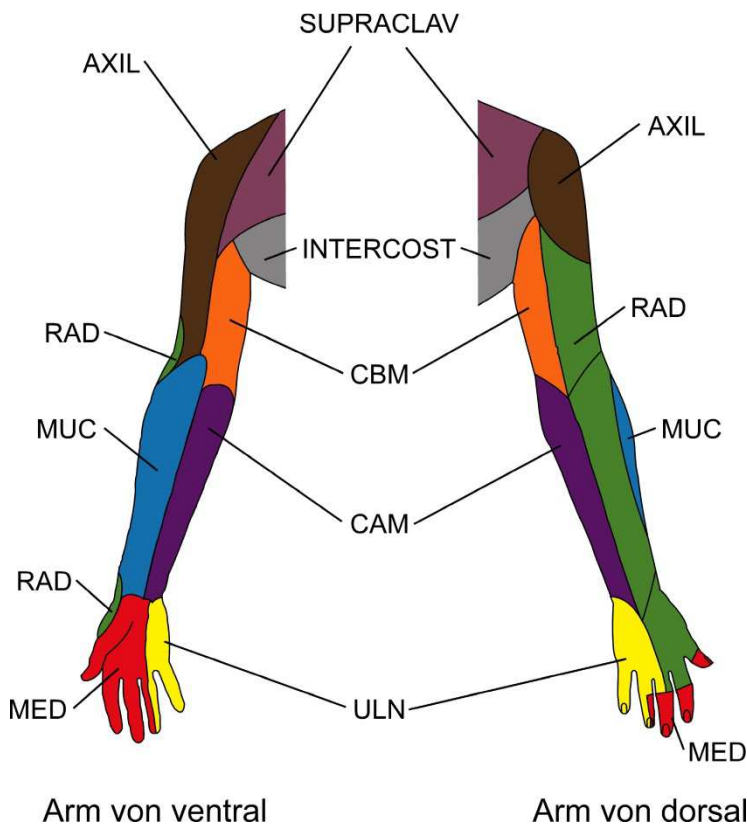
Mit Aufkleben des Pflasters wurde eine zweite Stoppuhr gestartet, nach der sich die nun folgenden Untersuchungszeitpunkte richteten.

Nach Aufkleben des Pflasters und Beseitigung der Spuren wurde der (verblindete) Untersucher hereingerufen. Der Untersucher befragte zuerst den Patienten mittels einer visuellen Analog-Scala nach den Schmerzen während der Plexusblockade, dann untersuchte er jeweils 5, 10, 15, 20, 25, und 30 min nach Ende der Plexusanästhesie die Sensorik am anästhesierten Arm des Patienten sowie nach 10, 20 und 30 min zusätzlich die Motorik (wobei der Test der Sensorik zeitlich immer vor der Motorik erfolgte).

Zur Überprüfung der Sensorik wurde abwechselnd das spitze oder stumpfe Ende einer 24 G Sprotte-Kanüle (Fa. Pajunk, Geisingen, Deutschland) verwendet, wobei der Patient angeben sollte, ob sich die Berührung spitz oder stumpf anfühle oder er die Berührung nicht mehr spüre. Der Patient konnte nicht sehen, um welches Ende der Nadel es sich handelte und welches

Hautareal berührt wurde. Die Innervationsgebiete (s. Abb. 9) wurden in folgender Reihenfolge untersucht:

- **MED**: Fingerspitzen der Finger II und III
- **ULN**: gesamter Finger V
- **MUC**: ventrolateraler Unterarm
- **CAM**: medialer Unterarm
- **RAD**: Handrücken über Finger II und dorsoradiales Handgelenk



**Abb. 9:** Innervationsgebiete der oberen Extremität

**SUPRACLAV** = Nn. supraclaviculares, **AXIL** = N. axillaris, **INTERCOST** = Rami cutanei laterales nervorum intercostalium, **CAM** = N. cutaneus antebrachii medialis, **RAD** = N. radialis, **MUC** = N. musculocutaneus, **MED** = N. medianus, **ULN** = N. ulnaris, **CBM** = N. cutaneus brachii medialis

Das Ergebnis dieser Untersuchung wurde mit folgender Einstufung festgehalten:

- **0** = normales Empfinden (intakte spitz-stumpf Diskrimination)

- **1** = beeinträchtigt Empfinden (Analgesie, spitz-stumpf Diskrimination aufgehoben)
- **2** = kein Empfinden/ Anästhesie (Sensibilitätsverlust)

Für die Untersuchung der Motorik wurde der Patient gebeten, folgende Aktionen zur Überprüfung der einzelnen Nerven auszuführen, die in der unten angegebenen Reihenfolge getestet wurden:

- **RAD**: Finger spreizen, Handgelenk strecken, (Arm strecken)
- **MED**: Hand zur Faust schließen, Pronation des Unterarms, Beugung im Handgelenk
- **ULN**: Opposition Finger V und Finger I, Beugung der Finger IV und V, Abduktion des Fingers V
- **MUC**: Arm im Ellenbogengelenk beugen

Die Muskelübungen erfolgten gegen die Schwerkraft, nicht gegen den Widerstand des Untersuchers. Analog zur Sensorik wurden die erzielten Ergebnisse mit folgenden Einstufungen bezeichnet:

- **0** = normale Bewegung möglich (volle Kontrolle/ Kraft der Muskulatur),
- **1** = (stark) abgeschwächte bzw. minimale Bewegung möglich (Parese),
- **2** = keine Bewegung möglich (Paralyse)

Die Anschlagszeit wurde als die Zeitspanne zwischen Beginn der Testung und Erreichen der Parese/ Analgesie definiert, die Anästhesiezeit von Beginn der Testung bis Erreichen der Paralyse/ Anästhesie im jeweiligen Innervationsgebiet. Für jeden Nerv wurde so die mittlere sensible und motorische Anschlagszeit bzw. Anästhesiezeit berechnet. Die gesamt-motorische bzw. -sensible Anschlagszeit erstreckte sich von Beginn der Testung bis zu dem Zeitpunkt, da alle 4 (motorischen) bzw. alle 5 (sensiblen) Nerven eine Parese bzw. Analgesie aufwiesen. Analog hierzu ergaben sich die gesamt-motorische wie auch die gesamt-sensible Anästhesiezeit mit einer Paralyse bzw. Anästhesie in allen getesteten Innervationsgebieten.

Aus den Bewertungspunkten wurden ein sensibler (Maximalwert 5x2 Punkte = 10 Punkte), ein motorischer (Maximalwert 4x2 Punkte = 8 Punkte) und ein Gesamtscore (Maximalwert 8 + 10 = 18 Punkte) für jeden Patienten berechnet.

#### **2.4.6. Operationsphase**

Nach der 30-minütigen Untersuchungsphase wurde der Patient in den Operationssaal gebracht und dort für die weitere Prozedur vorbereitet (Anschließen an das Narkosegerät/Monitor für die Überwachung der Vitalfunktionen, Lagerung, steriles Abwaschen und Abdecken). Die Zeit des Operationsbeginns (Hautschnitt) und die Notwendigkeit einer Supplementierung bzw. Konvertierung wurden dokumentiert. Ebenfalls festgehalten wurden neben der Operationsart und -dauer der Verbrauch von Opioiden und Propofol sowie die jeweilige Begründung für deren Verabreichung.

#### **2.4.7. Vorgehen bei inkompletten Blockaden**

Bei Vorliegen eines inkompletten Blocks standen folgende Optionen zur Auswahl:

- Supplementierung mit Fentanyl, Propofol oder einer Kombination aus beidem (Analgosedierung). Benzodiazepine wurden nicht als Supplementierung gewertet.
- Nachblockieren einzelner Nerven auf Niveau des Ellenbogens oder Handgelenks (oder Lokalanästhesie direkt im Operationsgebiet)
- Konvertierung zur Intubationsnarkose oder Larynxmaskennarkose

Empfand der Patient nach Ausschöpfung aller Möglichkeiten der Analgosedierung immer noch Schmerzen bzw. war schon vor Operationsbeginn absehbar, dass die Anästhesie nicht suffizient ist, wurde entweder ein einzelner Nerv nachträglich blockiert oder – bei fehlender Anästhesie in mehreren Innervationsgebieten – eine Intubationsnarkose oder Larynxmaskennarkose eingeleitet.

Die Ergebnisse der Testung sowie Versager und deren Konsequenzen wurden auf einem zweiten Datenblatt (s. Anhang: Anlage 3) vermerkt.

#### **2.4.8. Aufwachraum und Fragebogen**

Nach Ende der Operation wurde der Patient in den Aufwachraum gebracht und nach entsprechender Erholung auf Station verlegt bzw. nach Ablauf der Überwachungsfrist in die Tagesklinik (für ambulantes Operieren) entlassen.

Die Patienten erhielten einen Fragebogen zur Zufriedenheit mit der Anästhesie (s. Anhang: Anlage 4) ausgehändigt, den sie nach 24 Stunden ausfüllen sollten.

Ambulanten Patienten wurde der Fragebogen mit einem frankierten Rückumschlag mit nach Hause gegeben und um Rücksendung gebeten.

#### **2.5. Statistische Auswertung**

Die den entsprechenden Protokollen entnommenen Daten wurden zuerst in einer Excel<sup>®</sup>-Tabelle (Microsoft Excel<sup>®</sup>) gesammelt. Die statistische Auswertung erfolgte mit Statistica 8.0<sup>®</sup>, für die Erstellung von Grafiken und Abbildungen wurde Statistica 8.0<sup>®</sup>, Macromedia Freehand 10<sup>®</sup>, Microsoft Excel<sup>®</sup> oder Adobe Photoshop 7.0<sup>®</sup> benutzt.

Die Mittelwerte der biometrischen Patientendaten (Alter, BMI) wurden mit dem t-Test für ungepaarte Stichproben verglichen. Die Vergleiche von Geschlechterverteilung, ASA-Klassifikation (American-Society-of-Anesthesiologists-Klassifikation) und Blockadeerfolg (dichotome Ergebnisse) erfolgten mittels des Chi-Quadrat-Tests, während für Durchführungszeit, Anschlagszeiten, Anästhesiezeiten und Scores der Mann-Whitney-U-Test verwendet wurde. Für alle Tests gilt ein Signifikanzniveau von 5% ( $p < 0,05$ ). Signifikante Unterschiede sind mit einem in Rot gedruckten p-Wert markiert. Alle Tests sind zweiseitig ausgelegt. Die Abbildungen 4 und 9 sowie 11-28 wurden vom Autor mit Macromedia Freehand 10<sup>®</sup> erstellt.



### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Biometrische Daten und Gleichheit der Gruppen

In die Analyse wurden 58 Patienten eingeschlossen. Zwei Patienten der STIM-Gruppe mussten jedoch wegen eines Randomisierungsverstoßes und eines stark lückenhaften Datensatzes nachträglich ausgeschlossen werden.

Die beiden Gruppen wiesen hinsichtlich der biometrischen Daten (Geschlecht, Alter, BMI, ASA-Status), Art und Dauer der Operation wie auch der Wartezeit von Injektionsende bis zum Hautschnitt keine Unterschiede auf (Tabelle 4).

**Tabelle 4:** Biometrische Daten (Anzahl, (Prozent), Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung)

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>	<b>p-Wert</b>	<b>Test</b>
<b>Probandenanzahl</b>	30	28		
<b>Geschlecht [♂:♀]</b>	19:11	17:11		
<b>Alter [Jahre]</b>	46 $\pm$ 18	51 $\pm$ 20	0,34	t-Test
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	25,89 $\pm$ 4,09	24,97 $\pm$ 3,93	0,39	t-Test
<b>Körpergröße [m]</b>	1,74 $\pm$ 0,11	1,71 $\pm$ 0,08		
<b>Körpergewicht [kg]</b>	78,33 $\pm$ 15,67	73,50 $\pm$ 13,74		
<b>ASA [n,(%)]</b>			0,10	Chi <sup>2</sup> -Test
<b>1</b>	13 (43)	5 (18)		
<b>2</b>	12 (40)	15 (54)		
<b>3</b>	5 (17)	8 (29)		
<b>Wartezeit bis Schnitt [min]</b>	54,29 $\pm$ 17,66	56,19 $\pm$ 22,81		
<b>OP-Dauer [min]</b>	37,82 $\pm$ 24,41	41,90 $\pm$ 19,15		
<b>OP-Arten</b>				
<b>Finger/Hand</b>	14	12		
<b>CTS/Handgelenk</b>	7	10		
<b>Unterarm</b>	9	5		

Die SONO-Gruppe konstituierte sich aus 15 ambulanten und 15 stationären Patienten, die Stimations-Gruppe aus 16 stationären, 10 ambulanten und zwei Notfallpatienten.

Im Mittel wurden den Probanden beider Gruppen 18 mg Temazepam am Vorabend sowie 7 mg Midazolam präoperativ verabreicht (Tabelle 5).

**Tabelle 5:** Prämedikation (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung), Patientenkategorie (Anzahl (Prozent))

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>Temazepam [mg]</b>	18,33 $\pm$ 3,89	17,50 $\pm$ 4,63
<b>Midazolam [mg]</b>	7,37 $\pm$ 0,70	7,03 $\pm$ 1,68
<b>stationäre Patienten n, (%)</b>	15 (50)	16 (57)
<b>ambulante Patienten n, (%)</b>	15 (50)	10 (36)
<b>Notfallpatienten n, (%)</b>	0 (0)	2 (7)

### 3.2. Durchführung der axillären Blockade

#### 3.2.1. Identifizierte Nerven, Lokalanästhetikum und akzidentelle Gefäßpunktionen

In der SONO-Gruppe wurden durchschnittlich 40,18 ml 1,5 %-iges Mepivacain für die Plexusanästhesie verwendet, in der STIM-Gruppe 42,19 ml. Die Betäubung der Nn. intercostobrachiales erfolgte in der SONO-Gruppe durch 5,57 ml bzw. in der STIM-Gruppe durch 5,35 ml 0,5 %-iges Mepivacain (Tabelle 6).

Der MED wurde in beiden Gruppen bei 26 Patienten (SONO 93% / STIM 96%) identifiziert. Die Darstellung des ULN gelang bei 25 Patienten in der SONO-Gruppe (89%) sowie bei 8 Patienten in der STIM-Gruppe (30%), die des RAD in der SONO-Gruppe bei 27 Patienten (96%) und in der STIM-Gruppe bei 19 Patienten (70%). Der MUC konnte in der SONO-Gruppe 17 Mal (61%) und in der STIM-Gruppe 4 Mal (15%) identifiziert werden.

Zwei Protokolle in der SONO-Gruppe sowie ein Protokoll in der STIM-Gruppe enthalten keine Daten zu den identifizierten Nerven. In der STIM-Gruppe wurde zwei Mal die A. axillaris punktiert, während in der SONO-Gruppe keine arterielle Punktion vorkam. In beiden Gruppen trat bei jeweils zwei Patienten eine venöse Punktion auf.

**Tabelle 6:** LA-Volumina (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung), identifizierte Nerven (Anzahl, (Prozent)), Komplikationen (Anzahl, (Prozent))

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>Mepivacain 1,5 % [ml]</b>	40,18 $\pm$ 2,88	42,19 $\pm$ 3,49
<b>Mepivacain 0,5 % [ml]</b>	5,57 $\pm$ 2,01	5,35 $\pm$ 2,12
<b>Identifizierte Nerven n, (%)</b>		
<b>MED</b>	26 (93)	26 (96)
<b>ULN</b>	25 (89)	8 (30)
<b>RAD</b>	27 (96)	19 (70)
<b>MUC</b>	17 (61)	4 (15)
<b>Arterie punktiert n, (%)</b>	0 (0)	1 (4)
<b>Vene punktiert n, (%)</b>	2 (7)	2 (7)
<b>fehlende Anästhesieprotokolle</b>	2	1

### 3.2.2. Schmerzbewertung mittels Visueller Analog Scala (VAS)

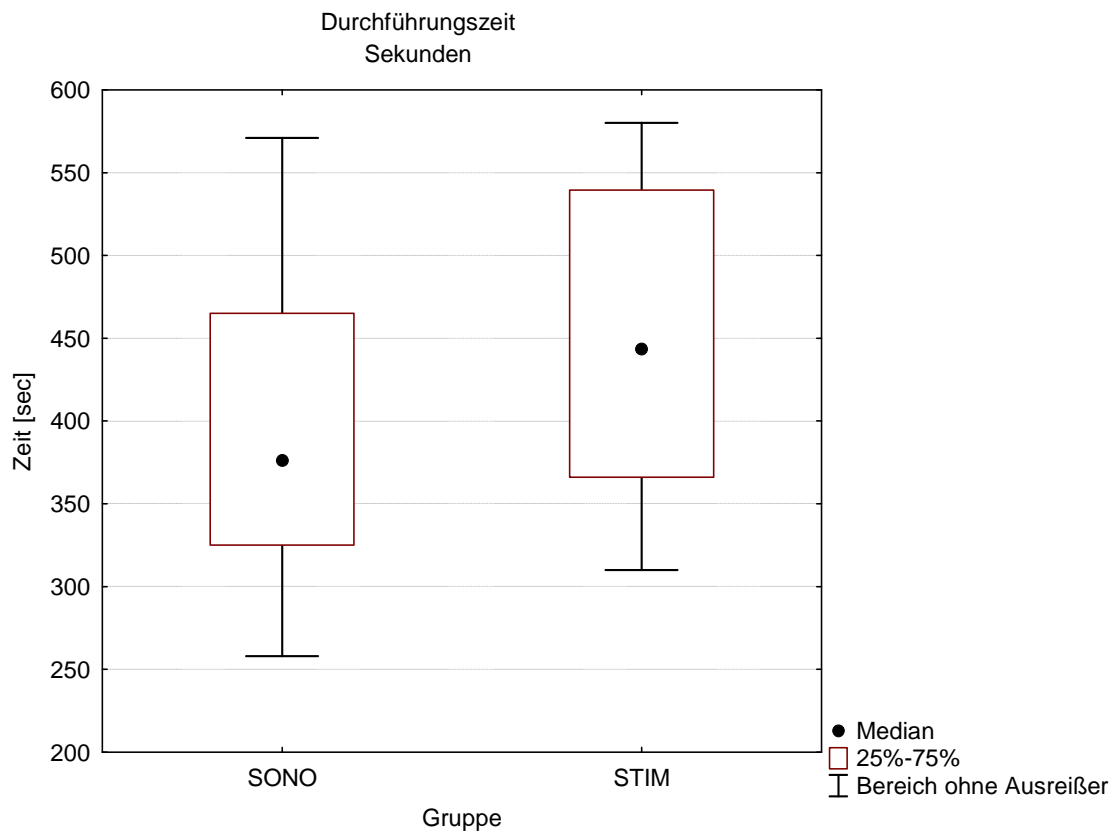
Die Patienten bewerteten die Schmerzen bei der Plexusanlage im Mittel mit 2,2 cm (SONO) und 1,6 cm (STIM) (Tabelle 7).

**Tabelle 7:** VAS-Werte (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung)

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>VAS [cm]</b>	2,24 $\pm$ 2,09	1,59 $\pm$ 2,02

### 3.2.3. Durchführungszeit

Die Durchführungszeit war in der SONO-Gruppe (6 min 41 sec  $\pm$  1 min 43 sec) kürzer als in der STIM-Gruppe (8 min 3 sec  $\pm$  2 min 35 sec) (Abb. 10, Tabelle 8) (p= 0,018).



**Abb. 10:** Box-Plot Durchführungszeit

**Tabelle 8:** Durchführungszeit (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung)

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>	<b>p-Wert</b>	<b>Test</b>
<b>Zeit [sec]</b>	401,33 $\pm$ 103,06	482,57 $\pm$ 154,57	<b>0,02</b>	MWU-Test
<b>Zeit [min]</b>	6,68 $\pm$ 1,72	8,05 $\pm$ 2,58		

### 3.3. Effektivität der axillären Plexus brachialis Blockade

#### 3.3.1. Anschlagszeiten

Zwischen den Anschlagszeiten der einzelnen Nerven waren – mit Ausnahme der Anschlagszeit für den MED, die in der STIM-Gruppe kürzer war ( $p = 0,028$ ) – keine Unterschiede zwischen den Gruppen zu verzeichnen (Tabelle 9). Die kürzeste Anschlagszeit konnte beim CAM mit 5,67 min in der SONO-Gruppe, die längste beim RAD mit 13,10 min in der STIM-Gruppe gemessen werden.

**Tabelle 9:** Anschlagszeiten in Minuten (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, (Median))

Anschlagszeit	SONO	STIM	p-Wert	Test
<b>Sensibel</b>				MWU-Test
<b>MED</b>	8,75 $\pm$ 3,76 (10)	6,96 $\pm$ 3,91 (5)	0,03	
<b>ULN</b>	10,00 $\pm$ 5,55 (10)	11,46 $\pm$ 6,51 (10)	0,37	
<b>RAD</b>	8,89 $\pm$ 4,67 (10)	13,10 $\pm$ 8,87 (10)	0,12	
<b>MUC</b>	10,06 $\pm$ 6,18 (10)	13,10 $\pm$ 6,02 (10)	0,13	
<b>CAM</b>	5,67 $\pm$ 1,73 (5)	6,79 $\pm$ 4,13 (5)	0,50	
<b>Motorisch</b>				MWU-Test
<b>MED</b>	12,14 $\pm$ 4,18 (10)	10,80 $\pm$ 2,77 (10)	0,18	
<b>ULN</b>	11,79 $\pm$ 4,76 (10)	10,78 $\pm$ 2,72 (10)	0,43	
<b>RAD</b>	10,69 $\pm$ 2,58 (10)	10,74 $\pm$ 3,85 (10)	0,63	
<b>MUC</b>	11,11 $\pm$ 3,20 (10)	12,61 $\pm$ 4,49 (10)	0,17	
<b>gesamt-sensibel</b>	15,45 $\pm$ 5,96 (15)	16,67 $\pm$ 6,99 (15)	0,58	
<b>gesamt-motorisch</b>	12,61 $\pm$ 4,49 (10)	12,63 $\pm$ 4,52 (10)	0,99	

#### 3.3.2. Anästhesiezeit (Operationsfähigkeit)

Auch bezüglich der Zeit bis zur Operationsfähigkeit ließen sich zwischen den Gruppen keine Unterschiede feststellen (Tabelle 10). Die kürzeste Zeitspanne bis zur Anästhesie (10,54 min) konnte mit dem CAM in der SONO-Gruppe

erreicht werden, am längsten dauerte es hingegen beim MUC, 17,65 min, ebenfalls in der SONO-Gruppe.

**Tabelle 10:** Anästhesiezeiten in Minuten (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, (Median))

Anästhesiezeit	SONO	STIM	p-Wert	Test
<b>Sensibel</b>				MWU-Test
<b>MED</b>	15,23 $\pm$ 5,45 (15)	14,75 $\pm$ 6,38 (15)	0,79	
<b>ULN</b>	15,80 $\pm$ 6,87 (15)	16,59 $\pm$ 7,62 (15)	0,81	
<b>RAD</b>	14,55 $\pm$ 8,00 (15)	15,00 $\pm$ 7,71 (15)	0,71	
<b>MUC</b>	17,65 $\pm$ 8,86 (15)	15,71 $\pm$ 5,50 (15)	0,53	
<b>CAM</b>	10,54 $\pm$ 6,43 (10)	10,93 $\pm$ 7,21 (10)	0,96	
<b>motorisch</b>				MWU-Test
<b>MED</b>	14,00 $\pm$ 6,45 (10)	17,14 $\pm$ 7,84 (20)	0,11	
<b>ULN</b>	14,17 $\pm$ 5,84 (10)	14,76 $\pm$ 6,02 (10)	0,84	
<b>RAD</b>	14,23 $\pm$ 7,58 (10)	13,18 $\pm$ 6,46 (10)	0,68	
<b>MUC</b>	15,45 $\pm$ 6,71 (10)	17,06 $\pm$ 8,49 (10)	0,64	
<b>gesamt-sensibel</b>	23,33 $\pm$ 6,73 (25)	20,56 $\pm$ 4,64 (20)	0,25	
<b>gesamt-motorisch</b>	19,41 $\pm$ 8,27 (20)	20,77 $\pm$ 7,60 (20)	0,64	

### 3.3.3. Erfolgsquote und Versager

Nach einer mittleren Wartezeit von 55 min (vom Injektionsende bis zum Hautschnitt) musste in beiden Gruppen bei je drei Patienten ein zusätzliches Verfahren (Allgemeinanästhesie oder zusätzliche Nervenblockade weiter distal) angewendet werden, um die Operation durchführen zu können. Dies entspricht einer Erfolgsquote von 90% (SONO) und 89,7% (STIM). Bei zwei (6,7%) Patienten in der SONO-Gruppe und vier (14,3%) in der STIM-Gruppe war die Gabe von Fentanyl notwendig (Tabelle 11). Die Unterschiede sind nicht signifikant.

**Tabelle 11:** Supplementierungen und Erfolgsquote (Anzahl, (Prozent))

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>	<b>p-Wert</b>	<b>Test</b>
<b>Allgemeinanästhesie</b>	2 (6,7)	1 (3,6)		
<b>zusätzl. distaler Block</b>	1 (3,3)	2 (7,1)		
<b>zusätzl. Fentanyl</b>	2 (6,7)	4 (14,3)		
<b>Versager (ohne AS)</b>	3 (10,0)	3 (10,7)	0,93	Chi <sup>2</sup> -Test
<b>Supplementierungen</b>	5/30 (16,7)	7/28 (25)	0,43	Chi <sup>2</sup> -Test
<b>Erfolgsquote</b>	90,0 %	89,3 %		

### 3.3.4. Blockadequalität/-erfolg

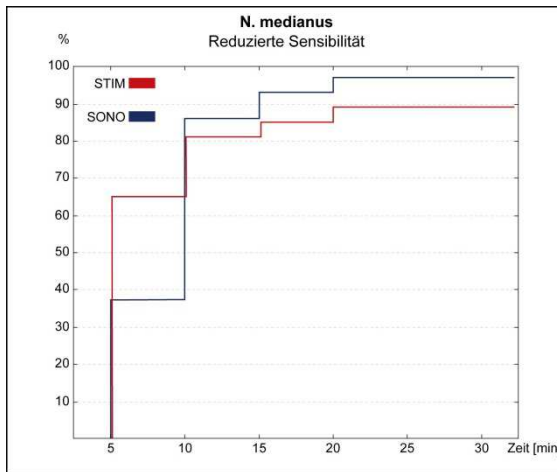
Bei einzelner Betrachtung der Nerven ergaben sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Blockadeerfolgs nach 30 min (Tabelle 12).

**Tabelle 12:** Blockadeergebnisse nach 30 Minuten Testung (Anzahl, (Prozent))

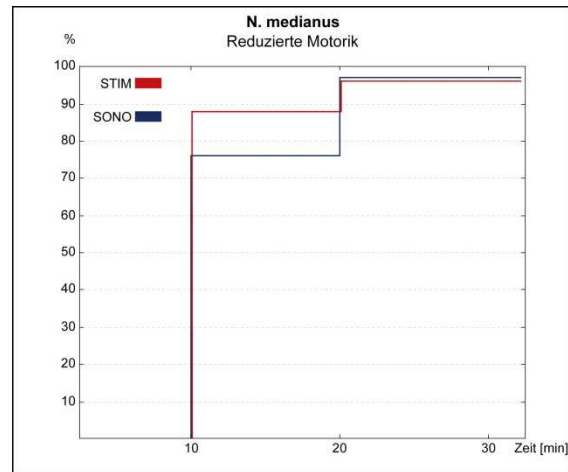
<b>n, (%)</b>	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>	<b>p-Wert</b>	<b>Test</b>
<b>Analgesie</b>				Chi <sup>2</sup> -Test
MED	28/29 (97)	24/27 (89)	0,27	
ULN	29/29 (100)	25/27 (93)	0,14	
RAD	28/28 (100)	24/27 (89)	0,07	
MUC	25/28 (89)	21/28 (75)	0,16	
CAM	30/30 (100)	28/28 (100)	-	Test nicht mgl.
<b>Parese</b>				
MED	28/29 (97)	26/27 (96)	0,96	
ULN	29/29 (100)	27/28 (96)	0,30	
RAD	29/29 (100)	28/28 (100)	-	Test nicht mgl.
MUC	27/30 (90)	24/28 (86)	0,62	
<b>Anästhesie</b>				
MED	23/26 (88)	21/26 (81)	0,44	
ULN	26/27 (96)	23/26 (88)	0,28	
RAD	23/26 (88)	18/25 (72)	0,14	
MUC	17/24 (71)	14/26 (54)	0,22	

CAM	28/28 (100)	27/28 (96)	0,31	
<b>Paralyse</b>				
MED	25/28 (89)	23/27 (85)	0,65	
ULN	25/27 (92)	22/27 (81)	0,22	
RAD	26/28 (93)	23/27 (85)	0,36	
MUC	22/26 (85)	17/25 (68)	0,16	

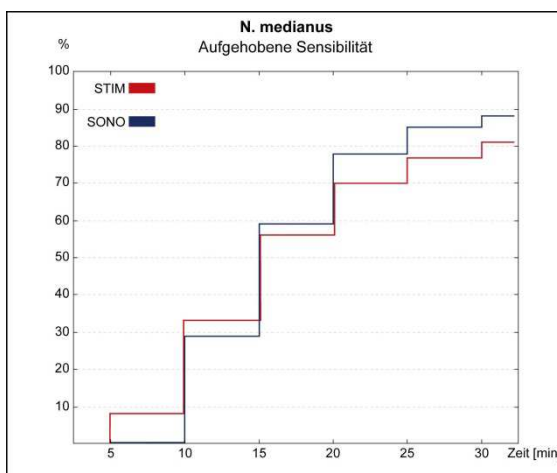
### 3.3.4.1. Nervus medianus



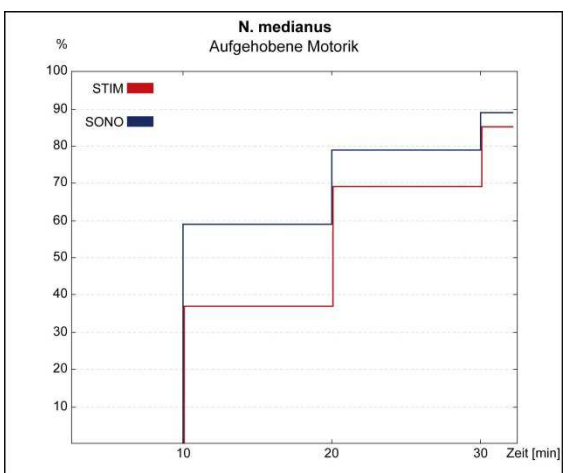
**Abb. 11:** Patientenanteil mit einer Analgesie im MED-Gebiet



**Abb. 12:** Patientenanteil mit einer Parese im MED-Gebiet



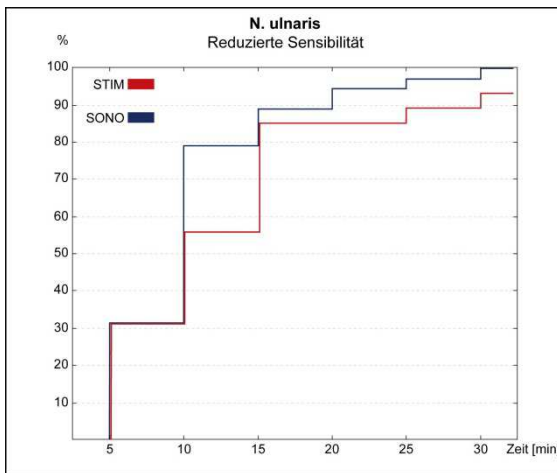
**Abb. 13:** Patientenanteil mit einer Anästhesie im MED-Gebiet



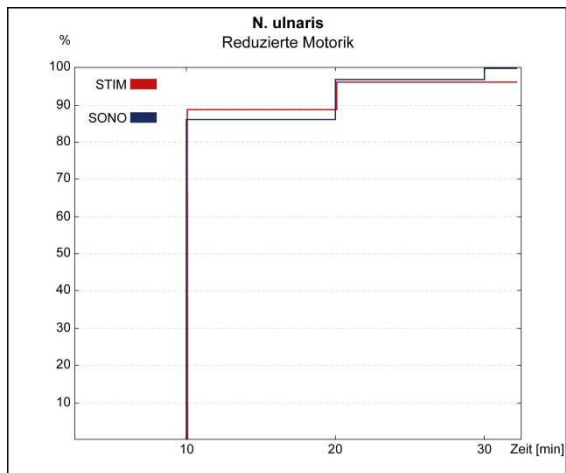
**Abb. 14:** Patientenanteil mit einer Paralyse im MED-Gebiet



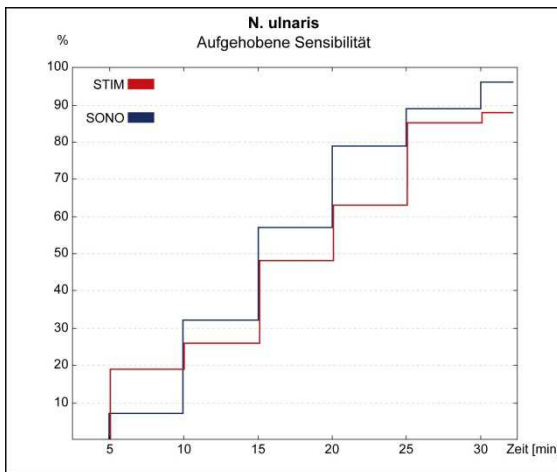
### 3.3.4.2. Nervus ulnaris



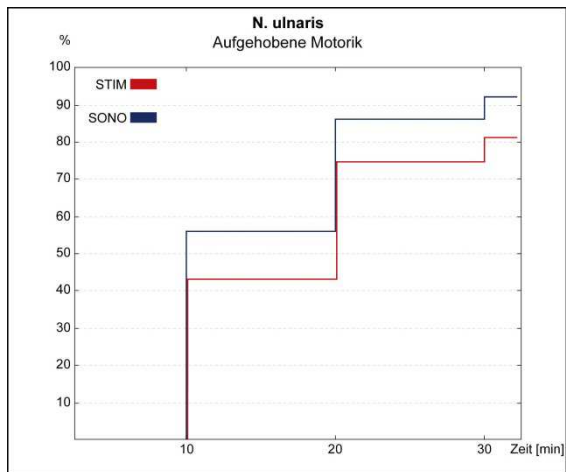
**Abb. 15:** Patientenanteil mit einer Analgesie im ULN-Gebiet



**Abb. 16:** Patientenanteil mit einer Parese im ULN-Gebiet

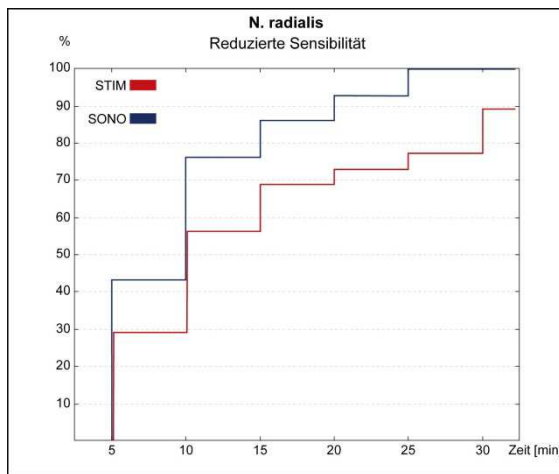


**Abb. 17:** Patientenanteil mit einer Anästhesie im ULN-Gebiet

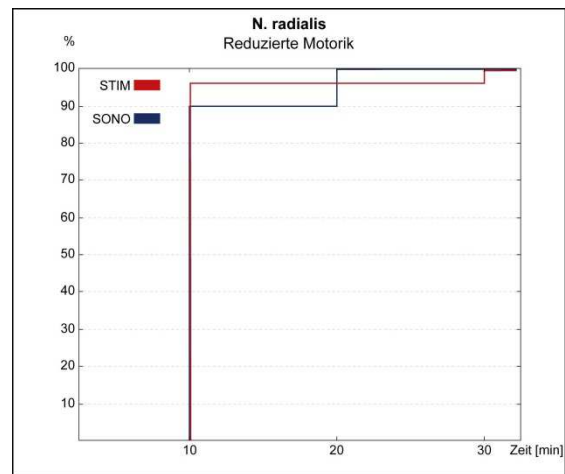


**Abb. 18:** Patientenanteil mit einer Paralyse im ULN-Gebiet

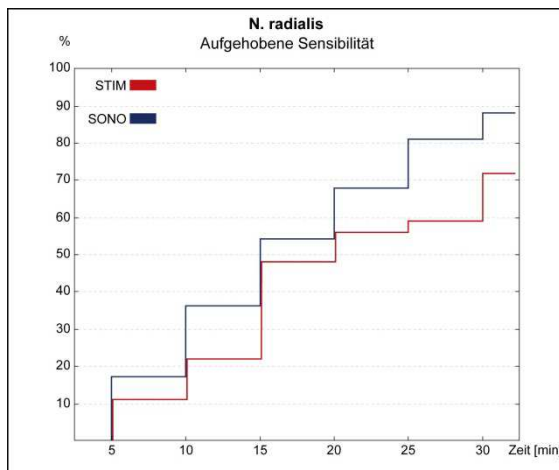
### 3.3.4.3. Nervus radialis



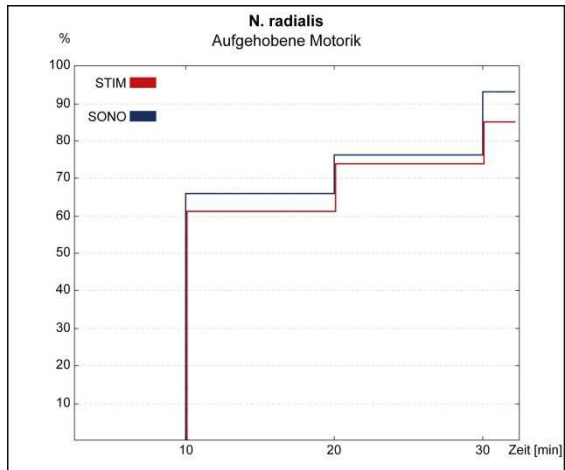
**Abb. 19:** Patientenanteil mit einer Analgesie im RAD-Gebiet



**Abb. 20:** Patientenanteil mit einer Parese im RAD-Gebiet

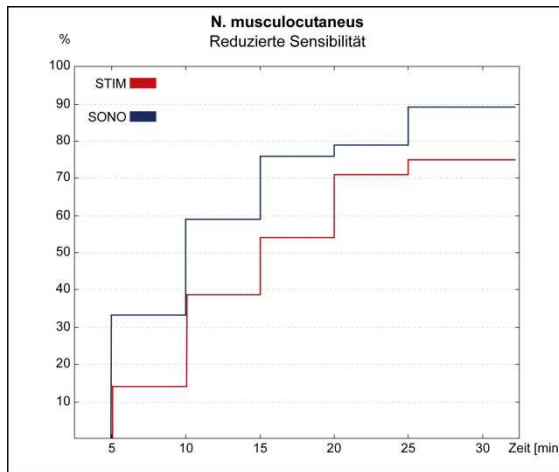


**Abb. 21:** Patientenanteil mit einer Anästhesie im RAD-Gebiet

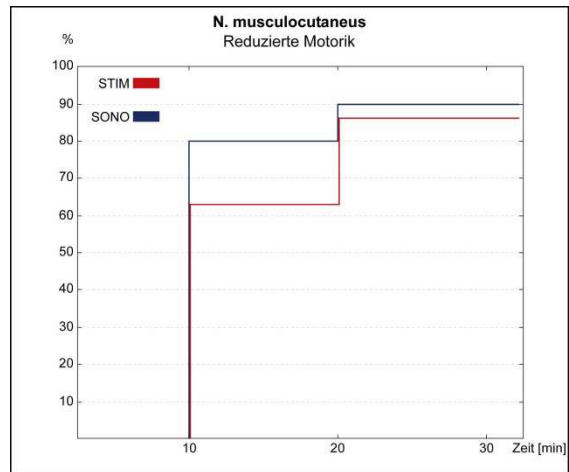


**Abb. 22:** Patientenanteil mit einer Paralyse im RAD-Gebiet

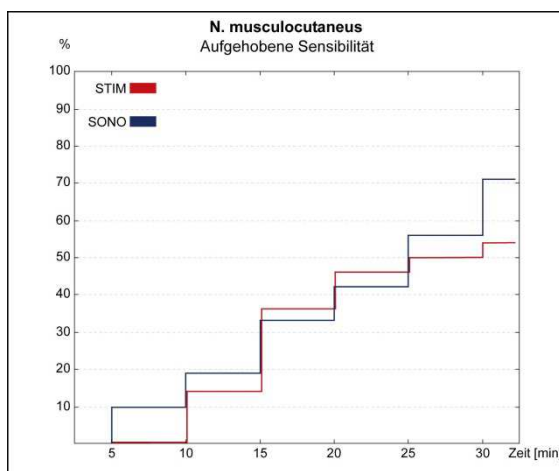
### 3.3.4.4. Nervus musculocutaneus



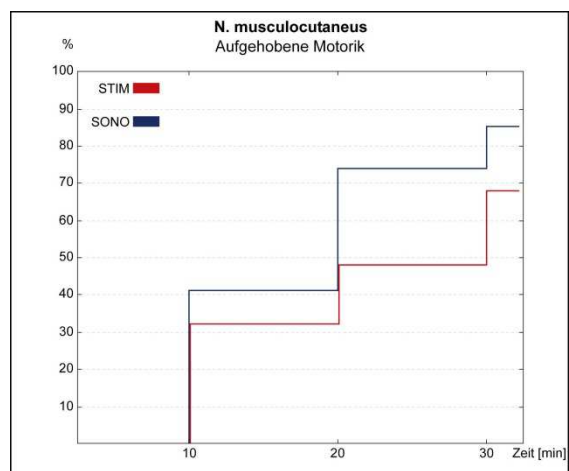
**Abb. 23:** Patientenanteil mit einer Analgesie im MUC-Gebiet



**Abb. 24:** Patientenanteil mit einer Parese im MUC-Gebiet

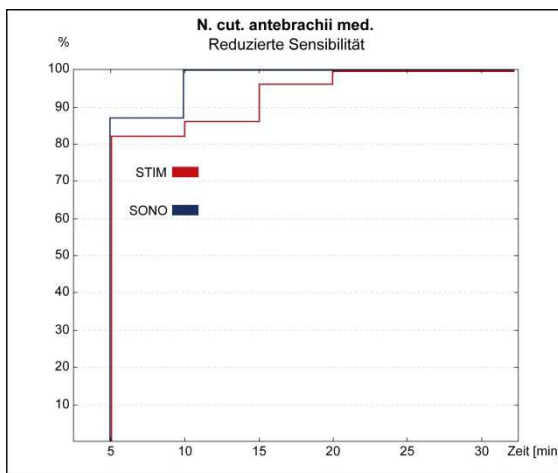


**Abb. 25:** Patientenanteil mit einer Anästhesie im MUC-Gebiet

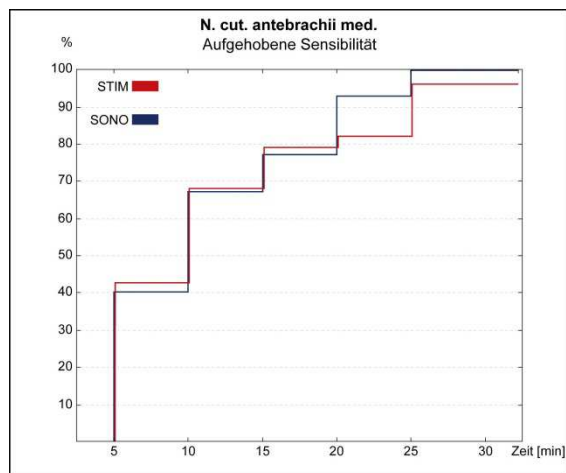


**Abb. 26:** Patientenanteil mit einer Paralyse im MUC-Gebiet

### 3.3.4.5. Nervus cutaneus antebrachii medialis



**Abb. 27:** Patientenanteil mit einer Analgesie im CAM-Gebiet



**Abb. 28:** Patientenanteil mit einer Anästhesie im CAM-Gebiet

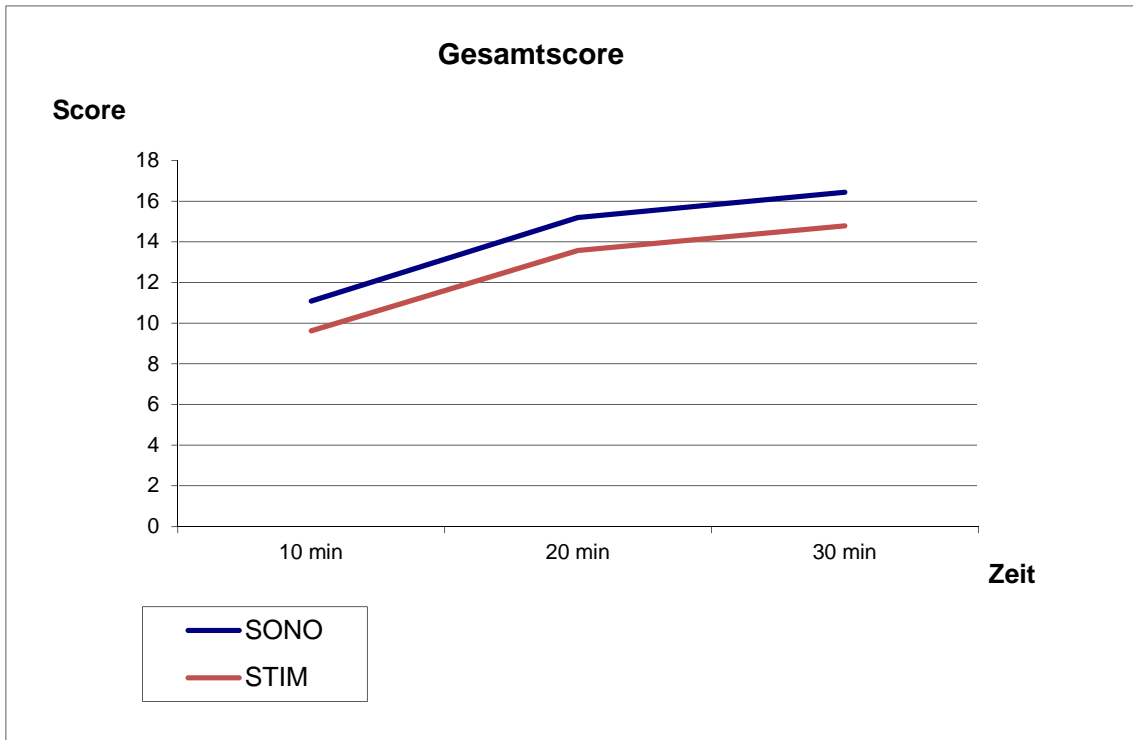
### 3.4.5. Blockadequalität (Score)

#### 3.4.5.1. Gesamtscore

Es ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Gesamtscores.

**Tabelle 13:** Gesamtscore (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, (Median)),  
Maximalwert = 18 Punkte

	SONO	STIM	p-Wert	Test
<b>10 min</b>	11,00 $\pm$ 4,14 (12)	9,28 $\pm$ 4,06 (9)	0,36	MWU-Test
<b>20 min</b>	14,92 $\pm$ 2,98 (16)	13,33 $\pm$ 4,31 (14,5)	0,16	
<b>30 min</b>	16,50 $\pm$ 2,43 (18)	14,86 $\pm$ 3,45 (17)	0,23	



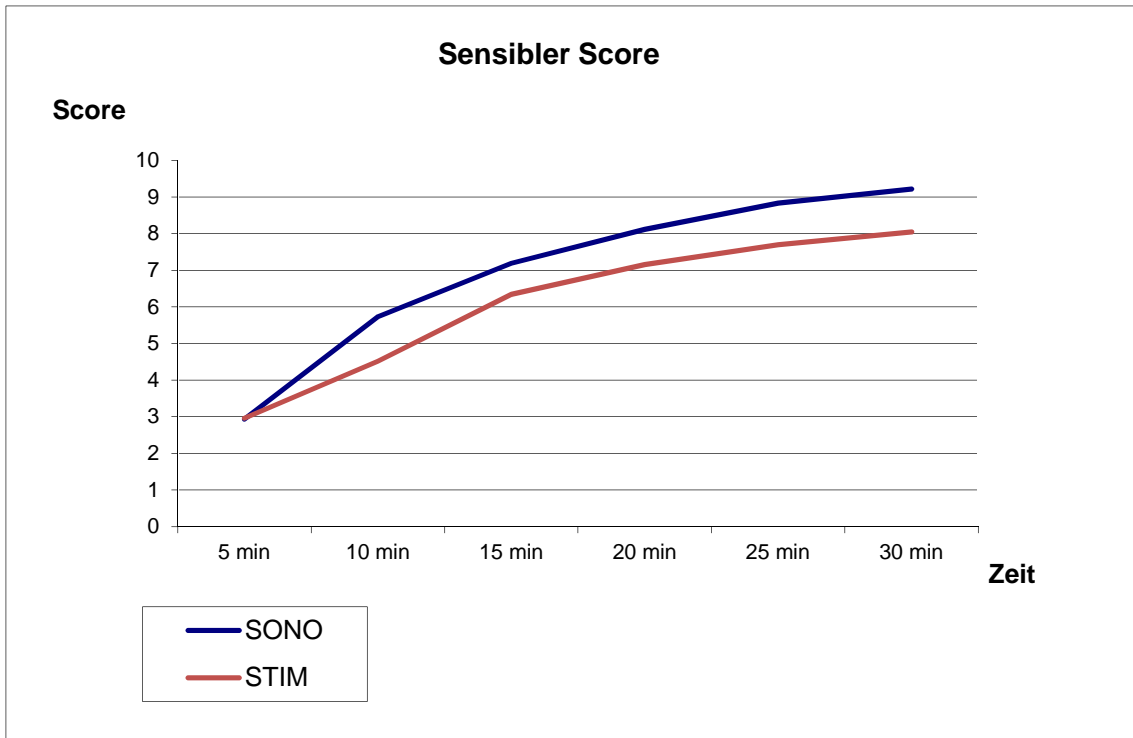
**Abb. 29:** Gesamtscore (Mittelwerte)

### 3.4.5.2. Sensibler Score

Auch der sensible Score beider Gruppen wies keine Unterschiede auf, obgleich die durchschnittlichen Werte der SONO-Gruppe höher lagen als die der STIM-Gruppe.

**Tabelle 14:** Sensibler Score (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, (Median)),  
Maximalwert = 10 Punkte

	SONO	STIM	p-Wert	Test
<b>5 min</b>	2,93 $\pm$ 1,75 (3)	2,96 $\pm$ 2,14 (2,5)	0,88	MWU-Test
<b>10 min</b>	5,73 $\pm$ 1,85 (5,5)	4,52 $\pm$ 2,66 (5)	0,11	
<b>15 min</b>	7,19 $\pm$ 1,77 (7,5)	6,35 $\pm$ 2,73 (6,5)	0,42	
<b>20 min</b>	8,12 $\pm$ 1,66 (8,5)	7,16 $\pm$ 2,85 (9)	0,38	
<b>25 min</b>	8,83 $\pm$ 1,20 (9)	7,70 $\pm$ 2,51 (9)	0,22	
<b>30 min</b>	9,22 $\pm$ 1,24 (10)	8,05 $\pm$ 2,33 (9)	0,07	



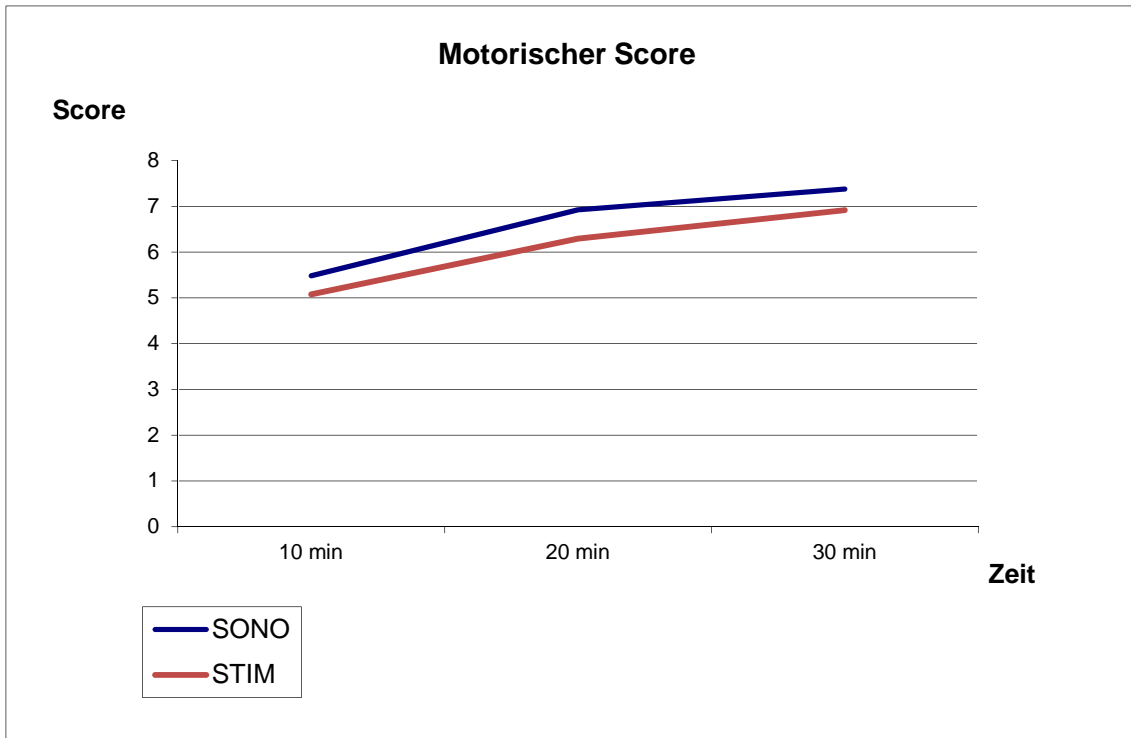
**Abb. 30:** Sensibler Score (Mittelwerte)

### 3.4.5.3. Motorischer Score

Ähnliches gilt für den motorischen Score: Auch hier waren zwischen den Gruppen keine Unterschiede festzustellen.

**Tabelle 15:** Motorischer Score (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, (Median)),  
Maximalwert = 8 Punkte

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>	<b>p-Wert</b>	<b>Test</b>
<b>10 min</b>	5,48 $\pm$ 2,42 (6)	5,08 $\pm$ 1,94 (5)	0,33	MWU-Test
<b>20 min</b>	6,92 $\pm$ 1,44 (7,5)	6,29 $\pm$ 1,83 (7)	0,22	
<b>30 min</b>	7,38 $\pm$ 1,21 (8)	6,91 $\pm$ 1,62 (8)	0,36	



**Abb. 31:** Motorischer Score (Mittelwerte)

### 3.4. Patientenzufriedenheit

In der SONO-Gruppe schickten 27 von 30 Patienten den Fragebogen zurück (90%), in der STIM-Gruppe 23 von 28 Patienten (82%).

#### 3.4.1. Parästhesien bei Anlage der Nervenblockade

Insgesamt traten pro Gruppe bei je sechs Nerven Parästhesien auf, das entspricht 21% in der SONO- und 22% in der STIM-Gruppe, wobei der MED in beiden Gruppen am häufigsten von iatrogen ausgelösten Parästhesien betroffen war.

**Tabelle 16:** Durch den Anästhesisten dokumentierte Parästhesien (Anzahl)

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>MED</b>	3/28	5/27
<b>ULN</b>	2/28	1/27
<b>RAD</b>	0/28	0/27
<b>MUC</b>	1/28	0/27
<b>Gesamt</b>	6/28	6/27

Auch bei den Parästhesien, die von den Patienten selbst angegeben wurden, findet sich der MED in beiden Gruppen am häufigsten aufgeführt.

**Tabelle 17:** Durch Patienten nach 24 h dokumentierte Parästhesien (Anzahl)

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>Einstichstelle</b>	2/24	2/22
<b>CBM</b>	0/24	2/22
<b>MED</b>	5/24	13/22
<b>ULN</b>	3/24	9/22
<b>RAD</b>	4/24	7/22
<b>MUC</b>	2/24	2/22
<b>AX</b>	0/24	1/22

### 3.4.2. Schmerzen durch die Blutsperre

In der SONO-Gruppe wurde bei 25 von 30 Patienten eine Blutsperre (BS) angelegt, in der STIM-Gruppe in 26 von 28 Fällen. Sowohl während als auch nach der Operation gab die Mehrheit der Patienten aus beiden Gruppen an, keine Schmerzen durch die angelegte Blutsperre empfunden zu haben (Während OP: SONO-Gruppe 96%, STIM-Gruppe 92%; postoperativ: SONO-Gruppe 86%, STIM 100%).



**Tabelle 18:** Tourniquettoleranz während der Operation dokumentiert (Anzahl)

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>BS gut toleriert</b>	24/25	24/26
<b>BS als unangenehm empfunden</b>	1/25	2/26
<b>wegen BS Fentanyl erhalten</b>	0	0

**Tabelle 19:** Tourniquettoleranz im Fragebogen dokumentiert (Anzahl)

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>Schmerzen durch BS</b>	3/22	0/22
<b>keine Schmerzen durch BS</b>	19/22	22/22

### 3.4.3. Blockdauer

Die Patienten gaben an, dass die Blockaden beider Verfahren im Mittel 4h41min ± 1h57min anhielten.

### 3.4.4. Gesamtzufriedenheit

Auf die Frage, ob die Patienten die Kraftlosigkeit des Arms nach der Operation als unangenehm empfunden hätten, antworteten 16 von 49 mit „ja“ (33%), 29 von 49 mit „nein“ (59%) und 4 von 49 mit „weiß nicht“ (8%).

Aus beiden Gruppen empfanden 7 von 48 Patienten die Blockadedauer als „zu lang“ (15%), und 40 von 48 nicht als „zu lang“ (83%); ein Patient (2%) war diesbezüglich unentschlossen.

Auf die Frage, ob die Patienten im Falle der Notwendigkeit nochmals das gleiche Plexusverfahren wählen würden, antworteten sie wie folgt:

**Tabelle 20:** Globale Patientenzufriedenheit (Anzahl, (Prozent))

	<b>SONO</b>	<b>STIM</b>
<b>ja</b>	24/26 (92%)	21/23 (91%)
<b>nein</b>	2/26 (8%)	2/23 (9%)

## **4. Diskussion**

Die Verwendung von Ultraschall kann die Erfolgsrate, die Anschlagszeit und die Blockadequalität von Plexus-/Einzelnervenanästhesien im Vergleich zur Nervenstimulation verbessern (129). Ultraschall erlaubt die direkte Visualisierung der Nerven und die genaue Platzierung und Kontrolle der Ausbreitung des Lokalanästhetikums. Die Hypothese der Untersuchung war, dass sich durch Zuhilfenahme von Ultraschall die Anschlagszeit sowie die Zeit bis zur OP-Freigabe verkürzen lassen.

Es wurde eine randomisierte, untersucherverblindete, kontrollierte Studie durchgeführt. Ziel war es, für den axillären Zugang eine ultraschallgesteuerte, perineurale 4-fach-Injektionstechnik mit einer klinisch etablierten 3-fach-Injektionstechnik unter Nervenstimulation zu vergleichen. Sia (130) zeigte, dass unter Nervenstimulation die 4-fach-Injektionstechnik keinen Vorteil gegenüber der 3-fach-Injektionstechnik besitzt.

### **4.1. Diskussion der Ergebnisse im Vergleich zu anderen Studien**

#### **4.1.1. Durchführungszeit**

Die Durchführungszeiten von  $6,68 \pm 1,72$  min (SONO) und  $8,05 \pm 2,58$  min (STIM) sind kurz und die Differenz von ca. 1,5 min hat klinisch keine Relevanz. Andere Autoren beschreiben ähnliche Durchführungszeiten zwischen 4,5 min und 13,2 min für eine ultraschallgesteuerte 4-fach-Injektionstechnik (45,131-135). Auch für nervenstimulationsgesteuerte 3- und 4-fach-Injektionstechniken finden sich Zeiten zwischen 5 min und 11 min (43,130,136-139). Die Angaben in der Literatur sind jedoch sehr heterogen, u.a. bedingt durch die verschiedenen Definitionen der Durchführungszeit und den unterschiedlichen Ausbildungsstand des den Block durchführenden Anästhesisten (Arzt in

Weiterbildung (140) oder Facharzt mit Expertise in Regionalanästhesie). Aus diesem Grund ist eine Bewertung der Durchführungszeiten nicht qualifiziert zu diskutieren. Grundsätzlich sind die Zeiten in beiden Gruppen für die Methode adäquat.

Ultraschallgesteuerte oder nervenstimulationsgestützte clavikulanahe Verfahren wie supra- und infraclavikuläre Blöcke weisen ähnliche Durchführungszeiten auf und bieten in dieser Hinsicht keinen eindeutigen Vorteil (76,134,141-147).

Viele Studien (43,129,148,149) zeigen in Analogie zu den eigenen Ergebnissen einen geringen Zeitvorteil für ultraschallgesteuerte Verfahren. Dieser beträgt in der Regel nur einige Minuten. Daraus ergeben sich möglicherweise Vorteile für den Patientenkomfort, da die Punktion immer eine gewisse Belastung darstellt. Ein Nutzen unter dem Aspekt des Prozessmanagements lässt sich damit jedoch nicht generieren. Meist wird die Regionalanästhesie mit genügend Vorlaufzeit z.B. im Aufwachraum durchgeführt.

#### **4.1.2. Blockadeeffektivität**

##### **4.1.2.1. Anschlagszeit und Zeit bis zur OP-Freigabe**

In der vorliegenden Studie wurde Anschlagszeit und Anästhesiezeit als Zeitspanne zwischen Ende der Blockadeprozedur (= Aufkleben des Pflasters) und Reduzierung (Analgesie) bzw. Verlust (Anästhesie) von Sensorik und Motorik im jeweiligen Innervationsgebiet definiert. Klinisch relevant ist die benötigte Zeit (= gesamt-sensible Anästhesiezeit) bis zur Anästhesie aller Innervationsgebiete. Diese wird durch den zuletzt ausfallenden Nerv bestimmt. Analog zu dieser Definition bestimmen sich gesamt-motorische Anästhesiezeit, gesamt-sensible Anschlagszeit sowie gesamt-motorische Anschlagszeit.

Die sensible Anschlagszeit für die einzelnen Nerven in beiden Gruppen betrug im Median 10 min (Mittelwerte von  $9 \pm 4$  min bis  $13 \pm 9$  min). Ausnahmen stellten der MED in der STIM-Gruppe (Median 5 min, Mittelwert  $7 \pm 4$  min) und der CAM (Median 5 min, Mittelwerte: SONO  $6 \pm 2$  min/ STIM  $7 \pm 4$  min) in

beiden Gruppen dar. Die gesamt-sensible Anschlagszeit (Median SONO/ STIM 15 min, Mittelwerte SONO  $15 \pm 6$  min/ STIM  $17 \pm 7$  min) war in der SONO-Gruppe tendenziell kürzer. Die motorische Anschlagszeit der Einzelnerven betrug in beiden Gruppen 10 min (Median, Mittelwerte von  $11 \pm 3$  min bis  $13 \pm 5$  min). In der Literatur finden sich keine Angaben zu dieser Definition der Anschlagszeit. Im Vergleich zu Anästhesiezeiten anderer Studien (Tabelle 21) erscheinen die gemessenen Anschlagszeiten realistisch.

Die sensiblen Anästhesiezeiten für die einzelnen Nerven betragen in beiden Gruppen jeweils 15 min (Median, Mittelwerte  $15 \pm 8$  min bis  $18 \pm 9$  min). Eine Ausnahme bildete der CAM in beiden Gruppen mit 10 min (Median, Mittelwerte: SONO  $11 \pm 6$  min/ STIM  $11 \pm 7$  min). Die motorischen Anästhesiezeiten fielen für beide Gruppen ähnlich aus (Median 10 min, Mittelwerte von  $13 \pm 6$  min bis  $17 \pm 8$  min, Ausnahme: MED der STIM-Gruppe: Median 20 min, Mittelwert  $17 \pm 8$  min). Die gesamt-motorische Anästhesiezeit betrug in beiden Gruppen im Median 20 min (Mittelwerte: SONO  $19 \pm 8$  min/ STIM  $21 \pm 8$  min). Etwas länger war die gesamt-sensible Anästhesiezeit in der SONO-Gruppe mit 25 min (Median, Mittelwert  $23 \pm 7$  min) im Vergleich zur STIM-Gruppe (Median 20 min, Mittelwert  $21 \pm 5$  min).

Die Definition der gesamt-sensiblen Anästhesiezeit dieser Studie entspricht der oft genannten „onset time“ in der Literatur, wobei die einzelnen Berechnungen sehr variabel definiert sind. Die Berechnung der gesamt-sensiblen Anästhesiezeit ist in der vorliegenden Studie mit Einsetzen der Anästhesie am letzten von fünf sensiblen Nerven (MED, MUC, RAD, ULN, CAM) streng objektiv gehalten. Andere Autoren berechnen die „onset time“ pragmatischer bzw. unübersichtlicher: Tran (133) definiert sie beispielsweise bei Eintreten eines Scores (aus Sensorik und Motorik) von  $\geq 14$  Punkten (von max. 16 Punkten) mit  $\geq 7$  (von 8) Punkten aus der Kategorie Sensibilität. Tran bewertet mit 0 = normal, 1 = Analgesie/Parese und 2 = Anästhesie/Paralyse vier Nerven (MUC, MED, RAD und ULN). Koscielniak-Nielsen (38) definiert die „latency time“ nach dem Kriterium, dass alle sieben untersuchten Nerven (AX, MUC, RAD, MED, ULN, CAM, CBM) mindestens eine Analgesie aufweisen. Wenn ein Nerv nach 30 min keine Analgesie zeigte, wurde dieser nachgeblockt und

weiter bis zu 60 min untersucht. Die Stoppuhr wurde dann erst nach Erreichen der Analgesie dieses Nervs angehalten und die so gemessene Zeitspanne zur Berechnung der Durchschnittszeit („latency time“) herangezogen. Weiterhin testet jene Studie nur alle 10 min, was die Durchschnittszeiten ungenauer werden lässt (im Gegensatz zur Vorliegenden: Sensibilität alle 5 min und Motorik alle 10 min). Tran (133,134) führt Sensorik- und Motoriktests in 5-min-Intervallen durch. Diese Berechnungen mögen klinisch interessant und praktikabel sein, jedoch machen sie die „onset time“ kürzer, als sie in Wirklichkeit ist – ein objektiver Vergleich zwischen verschiedenen Studien wird dadurch erschwert. (Im Gegenzug dazu stehen bei der Definitionswahl von Tran et al. Sowie Koscielniak-Nielsen et al. mehr Werte zur Durchschnittsberechnung zur Verfügung, da eine Analgesie/ Anästhesie in allen Nervenarealen generell nicht bei jedem Patienten nach 30 min vorkommt.)

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht zu den Anästhesiezeiten („onset time“) aus einigen Studien im Vergleich zu unseren Ergebnissen:

**Tabelle 21:** Studienübersicht Anschlagszeit/Anästhesiezeit

AX = axillärer Block, SCB = supraclavikulärer Block, ICB = infraclavikulärer Block, SONO = mit Ultraschall, STIM = mit Nervenstimulation, TA = transarteriell, (PV) = perivaskuläre Injektion, (PN) = perineurale Injektion, 3x = 3-fach-Injektion, 4x = 4-fach-Injektion, LA = Lokalanästhetikum, Ringwall = LA-Depot für CAM, CBM und Nn. Intercostobrachiales, Plexus = LA-Depot für MUC, MED, RAD, ULN, vs. = versus, (s) = signifikant, (ns) = nicht signifikant

49

Studie	Technik	Onset time	Lokalanästhetikum	Anästhesisten	Testung
eigene Ergebnisse	AX SONO 4x (PN) vs. AX STIM 3x	<b><u>Anästhesie (Einzelnerve): (ns)</u></b> alle Nerven aus allen Gruppen 15 min (Median), außer CAM 10 min <b><u>Anästhesie (gesamter Arm): (ns)</u></b> SONO: 23 ± 7 min STIM: 21 ± 5 min <b><u>Paralyse (gesamter Arm): (ns)</u></b> SONO: 19 ± 8 min STIM: 21 ± 8 min	Mepivacain 1,5% Plexus: 40 ml Mepivacain 0,5% Ringwall: 5 ml	5 Fachärzte	<b><u>Sensibel:</u></b> alle 5 min, spitz-stumpf-Diskrimination <b><u>Motorisch:</u></b> alle 10 min
Casati 2007 (150)	AX SONO 4x (PN) vs. AX STIM 4x	<b><u>Anästhesie (gesamter Arm): (s)</u></b> SONO: 14 ± 6 min STIM: 18 ± 6 min <b><u>Paralyse (gesamter Arm): (ns)</u></b> SONO: 24 ± 8 min STIM: 25 ± 8 min <b><u>“ready for surgery” (Anästhesie in 4 von 5 Nerven, Paralyse in 3 von 4 Nerven): (ns)</u></b> SONO: 26 ± 8 min STIM: 28 ± 9 min	Ropivacain 0,75% Plexus: 20 ml, 5 ml / Nerv	A. C: und G. D: (Experten)	<b><u>Sensibel:</u></b> alle 5 min, spitz-stumpf-Diskrimination

Studie	Technik	Onset time	Lokalanästhetikum	Anästhesisten	Testung
<b>Koscielniak-Nielsen 1998 (38)</b>	AX TA vs. AX STIM 4x	<b><u>Anästhesie oder Analgesie (gesamter Arm): (s)</u></b> TA: 25 ± 8 min STIM: 17 ± 7 min	Mepivacain 1% mit 5 µg/ml Adrenalin Plexus: 45 ml	Z.J. K.-N. (Experte)	<b><u>Sensibel:</u></b> alle 10 min, mit einer Plastikklemme
<b>Bertini 2009 (151)</b>	AX STIM 4x: 20 ml vs. 30 ml vs. 40 ml	<b><u>Anästhesie (Einzelnerve): (ns)</u></b> alle Nerven in allen Gruppen 10 min (Median, Range 5-10min) <b><u>Paralyse (Einzelnerve): (ns)</u></b> alle Nerven in allen Gruppen 10 min (Median)	Mepivacain 20ml: 2%iges 30 ml: 1,5%iges 40 ml: 1%iges Gesamt 400 mg 5/7,5/10 ml pro Nerv	L. B., S.M., O.M. (Experten)	<b><u>Sensibel:</u></b> alle 5 min, spitz-stumpf- Diskrimination
<b>Schoenmakers 2012 (152)</b>	AX SONO 4x (PN) + NSTIM 40ml vs. 15 ml	<b><u>Anästhesie (gesamter Arm): (ns)</u></b> 40 ml: 22 ± 6 min 15 ml: 21 ± 5 min <b><u>Paralyse (gesamter Arm): (ns)</u></b> 40 ml: 23 ± 7 min 15 ml: 22 ± 8 min	Mepivacain 1,5% 15 ml: 3-4ml/Nerv 40 ml: 10 ml/Nerv	k.A.	<b><u>Sensibel:</u></b> alle 5 min, spitz-stumpf- Diskrimination
<b>Sia 2001 (130)</b>	AX STIM 4x vs. 3x	<b><u>Anästhesie (Einzelnerve):</u></b> ULN 4x: 12 ± 6 min ULN 3x: 16 ± 8 min (s) alle anderen Nerven in beiden Gruppen 20 min (Median, 10-30 min) <b><u>Anästhesie (gesamter Arm): (ns)</u></b> 4x: 15 ± 6 min 3x: 16 ± 7 min	Lidocain 2% und Bupivacain 0,5% in einer 1:1 Mischung Plexus: 40 ml	Sia, S. (Experte)	<b><u>Sensibel:</u></b> alle 10 min, spitz-stumpf- Diskrimination

Studie	Technik	Onset time	Lokalanästhetikum	Anästhesisten	Testung
<b>Tran 2009 (134)</b>	AX SONO 4x (PV) vs. SCB SONO 1x vs. ICB SONO 1x	<b>Score <math>\geq</math> 14 von 16: (ns)</b> SCB: 18,2 $\pm$ 8 min ICB: 18,5 $\pm$ 5,8 min AX: 17,8 $\pm$ 6,9 min	Lidocain 1,5% mit 5 $\mu$ g/ml Adrenalin Plexus: 35 ml	Residents, staff, attendings unter Aufsicht	<b>Sensibel:</b> alle 5 min, kalt-warm- Diskrimination
<b>Tran 2012 (133)</b>	AX SONO (PV) 2x vs. 3x vs. 4x	<b>Score <math>\geq</math> 14 von 16: (ns)</b> 2x: 18,6 $\pm$ 6 min 3x: 19,5 $\pm$ 7,4 min 4x: 18,9 $\pm$ 5 min	Lidocain 1,5% mit 5 $\mu$ g/ml Adrenalin Plexus: 35 ml	Residents, staff, attendings unter Aufsicht	<b>Sensibel:</b> Alle 5 min, kalt-warm- Diskrimination
<b>Bernucci 2012 (132)</b>	AX SONO 4x PN vs. PV	<b>Score <math>\geq</math> 14 von 16: (s)</b> PV: 18,9 $\pm$ 7 min PN: 13,8 $\pm$ 7 min	Lidocain 1,5% mit 5 $\mu$ g/ml Adrenalin Plexus: 32 ml (PN 8 ml/ Nerv)	Residents, staff, attendings unter Aufsicht	<b>Sensibel:</b> alle 5 min, kalt-warm- Diskrimination



Die bloßen Zahlen sind schwer zu vergleichen, da die „onset time“ von ihrer Definition abhängt und zudem vom verwendeten LA sowie der Präzision seiner Platzierung beeinflusst wird. Neben den oben erläuterten Unterschieden in der Definition weist Rousson (153) darauf hin, dass die Wahl des Start-Punktes für die Analgesie- oder Anästhesiezeit speziell beim Vergleich von SONO-Methoden mit STIM-Methoden von Bedeutung sein kann, nämlich bei Beginn der LA-Injektion oder beim Herausziehen der Plexuskanüle. Studien, die den Startpunkt der „onset time“ auf das Herausziehen der Nadel setzten, favorisieren damit die SONO-Methode, da die LA-Injektion in der Regel hier kurz nach Insertion der Kanüle beginnt und sogleich seine Wirkung entfalten kann, während bei der STIM-Methode zuerst längere Zeit nach den Nerven gesucht wird und die Zeit zwischen Injektion und Herausziehen der Kanüle verglichen mit der SONO-Methode kürzer ist. Die Wahl des Lokalanästhetikums beeinflusst die Anschlagszeit: Die mittellangwirksamen Lokalanästhetika Lidocain und Mepivacain haben in der Regel schnellere Anschlagszeiten als die lang wirksamen Ropivacain und Bupivacain (154-156). Allerdings konnten Casati (157,158) und Fanelli (159) zeigen, dass bei Nervenblockaden Ropivacain und Mepivacain in Bezug auf die Anschlagszeit gleichwertig sind. Neben der Definition der Anschlagszeit und dem verwendeten LA spielt auch die exakte Platzierung des Lokalanästhetikums eine Rolle. Bernucci (132) fand einen Vorteil von 5 min bei der perineuralen Platzierung im Vergleich mit der perivaskulären Variante (beides 4-fach-Injektionstechniken). Die exakte Platzierung hängt natürlich in erster Linie von der Methode (sonographisch, nervenstimulationsgesteuert oder transarteriell), aber auch von der Erfahrung und dem Ausbildungsstand des jeweiligen Anästhesisten ab. So kann theoretisch ebenso die Steilheit der Lernkurve einer Methode die durchschnittliche Anschlagszeit beeinflussen. Die Arbeitsgruppen um O'Donnell (131,160) und Marhofer (161) konnten zeigen, dass sich durch die erhöhte Präzision der LA-Platzierung durch Ultraschall das LA-Volumen auf ca. 1ml pro Nerv reduzieren lässt.

Schoenmakers et al. (152) finden bei gleichem LA und gleicher Methode (SONO 4x PN) fast identische Zeiten (40 ml:  $22 \pm 6$  min und 15 ml:  $21 \pm 6$  min)

zu den eigenen Daten. Die einzige Studie, die ebenfalls eine ultraschallgesteuerte und eine nervenstimulationsgesteuerte Multiinjektionstechnik bezüglich der „onset time“ vergleicht, stammt von Casati et al. (150). Die Arbeitsgruppe findet einen (klinisch fraglich bedeutsamen) Unterschied in der „sensory onset time“ (SONO:  $14 \pm 6$  min vs. STIM:  $18 \pm 6$  min) von 4 min, aber keinen in der „motor onset time“ und in der Zeit bis zur OP-Freigabe. In zwei aktuellen systematischen Reviews kommen die Autoren zu der Aussage, dass Ultraschall die „onset time“ verkürzen kann (129,162). Abrahams (129) findet eine im Schnitt 29% kürzere „onset time“ für ultraschallgesteuerte Methoden. Beide Reviews weisen jedoch auf die moderate Qualität der analysierten Studien hin. Studien mit größeren Patientenzahlen sind notwendig, um dieses Ergebnis zu festigen. Zusätzlich spielt es eine Rolle, ob man die effektivsten SONO- und STIM-Techniken miteinander vergleicht (Multiinjektionstechniken).

Verglichen mit den vorangehenden Studien von Schwemmer et al. (45,46) konnte hiesige Studie keinen Zeitvorteil in der Anschlags- oder Anästhesiezeit nachweisen. Die Studie von 2006 (46) stellt eine retrospektive Auswertung dar; der hier gefundene Zeitvorteil für die SONO-Gruppe in der Zeitspanne Anästhesiebeginn bis Patientenfreigabe bzw. bis Operationsbeginn könnte durch andere Faktoren als die Anschlagszeit beeinflusst worden sein (z.B. Durchführungszeit, Wartezeit auf den Operateur, Kontrolle der Akte/ Laborwerte oder schwierige Anlage eines i.v.-Zugangs). In der Studie von 2005 (45) entspricht die „onset time“ der in dieser Studie verwendeten Definition der sensiblen Anschlagszeit und fällt mit 5 min im Median für die vier Hauptnerven um 5 min kürzer aus als die hiesige. Es finden sich aber weder Angaben zum Testintervall der Sensorik, noch zu den durchführenden Anästhesisten.

Der Grund für das Ausbleiben eines Unterschieds zwischen den hier untersuchten Versuchsgruppen liegt vermutlich in erster Linie in der geringen Patientenzahl, die zur Berechnung der gesamt-sensiblen Anschlags- und Anästhesiezeit zur Verfügung stand (Tabelle 22).

**Tabelle 22:** Drop-out-Analyse

<b>Methode</b>	<b>Patienten, die der Berechnung dienten</b>	<b>Kriterium nach 30 min nicht erreicht</b>	<b>fehlende Daten</b>
SONO Analgesie	22	4	5
STIM Analgesie	15	8	7
SONO Anästhesie	15	8	5
STIM Anästhesie	9	12	7

Die zweite Ursache ist möglicherweise bei der Injektionstechnik zu suchen. Intraneurale, extrafaszikuläre Injektionen (bzw. ins Epineurium) haben sehr kurze Anschlagszeiten (163-166) und führen nach jetzigem Kenntnisstand nur selten zu neurologischen Schäden (167). Da sich hierzu in den Studien keine Angaben finden, ist nicht auszuschließen, dass in Studien, die kürzere Anschlagszeiten (131) für die Ultraschall-Gruppe finden, der Anteil an „intranuralen“ Injektionen in der Ultraschallgruppe erhöht war oder sogar das gewünschte Injektionsziel darstellte. Ziel der vorliegenden Studie war es, einen bewussten Nadel-Nerv-Kontakt zu vermeiden. Zum einen, um die Gefahr von Nervenschäden zu minimieren, zum anderen, um die Plexusanlage so komfortabel wie möglich zu gestalten (Parästhesien, Schmerzen etc. durch intraneurale Injektionen).

#### **4.1.2.2. Blockadequalität**

Nach 30 min sprach in beiden Gruppen ein Großteil der Nerven an (75 – 100%). Die Nn. cutaneus antebrachii medialis (SONO: 100% / STIM: 96%) und ulnaris (SONO: 96% / STIM: 88 %) sind nach 30 min am häufigsten anästhesiert. Der CAM wird mit einem „Ringwall“ bzw. höheren LA-Volumina zuverlässig geblockt (130,136,152). Der ULN ist ungeachtet der Technik

ebenso oft komplett betäubt (43,130,134,136,152). Sia (130) zeigte, dass auch ohne direkte Adressierung des ULN dieser zuverlässig geblockt wird. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der STIM-Gruppe. In der SONO-Gruppe sind die Nn. medianus und radialis gleich häufig anästhesiert (88%), in der STIM-Gruppe der MED (82%) häufiger als der RAD (72%). Der RAD ist tendenziell etwas seltener anästhesiert und gilt als Problemnerv der axillären Blockade (43,133,134). In der Studie von Chan (43) akzeptierte man eine proximale Radialisantwort, was zu einem schlechteren Blockadeergebnis des RAD bei der Nervenstimulationsmethode geführt haben könnte. Üblicherweise wird bei allen Nervenstimulationstechniken zur Qualitätsverbesserung der Blockaden gefordert, dass die motorische Reaktion an der Hand sichtbar ist (distale Reizantwort). Sia (168) konnte zeigen, dass eine proximale Radialisantwort als Endpunkt die Effizienz der Plexusblockade erniedrigt und die Anschlagzeit verlängert. Weil der RAD hinter der A. axillaris liegt, ist er oft durch Artefakte im Ultraschallbild schlecht erkennbar und somit der am schwierigsten zu findende Nerv (169). Er kann jedoch zuverlässig mit einem LA-Depot an der 5-Uhr-Position (bezogen auf die A. axillaris) mit zirkumferenter Ausbreitung betäubt werden (135,169). Die Sicherstellung der zirkumferenten Ausbreitung kann nur sonographisch erfolgen, nicht durch Nervenstimulation.

In beiden Gruppen schnitt der MUC (SONO: 71% / STIM: 54%) am schlechtesten ab. In der STIM-Gruppe ist dies durch die „blinde“ Injektion in den M. coracobrachialis zu erklären. Remerand (170) untersuchte mit Ultraschall und Nervenstimulation die Lageverteilung des MUC und fand in 22% eine Lage außerhalb des M. coracobrachialis; ähnlich Christophe (2). Andere Studien finden 90% und mehr erfolgreiche ultraschallgestützte MUC-Blockaden (133,134,152), auch mit der Nervenstimulationstechnik können Erfolgsraten > 90% erreicht werden (130,136). Obgleich nach 30 min kein signifikanter Unterschied in den Einzelnerven zwischen STIM- und SONO-Gruppe besteht, sind in der Letzteren alle Einzelnerven zu einem größeren Anteil blockiert. (Die Nervendiagramme veranschaulichen, dass bereits nach 15 min mehr als 50% der Einzelnerven betäubt sind, es jedoch sinnvoll ist, den Plexusblock

mindestens 30 min wirken zu lassen, um bei > 90% der Nerven eine Analgesie zu erreichen.)

In vielen Studien wird zugunsten der klinischen Blockadequalität auf eine differenzierte Bewertung der Einzelnerven verzichtet. Manche Autoren benutzen einen Score, der die Qualität der Plexusanästhesie für jedes Individuum beschreibt (133-136). Leider gibt es auch hier viele Varianten der Zusammensetzung und damit in der maximalen Punktzahl. Allen gemeinsam ist die Punktezuordnung: 0 Punkte für normale Sensibilität bzw. Motorik, 1 Punkt für reduzierte/ beeinträchtigte Sensorik/ Motorik und 2 Punkte für Anästhesie oder Parese. Die Arbeitsgruppe um Tran (132-134) bewertet so die Nn. ulnaris, medianus, radialis und musculocutaneus jeweils in Sensorik und Motorik, was zu einer maximalen Punktzahl von 16 Punkten führt. Auch wenn der CAM bei den meisten Plexus brachialis Blockaden sehr zuverlässig anästhesiert wird, ist sein Innervationsgebiet nicht unerheblich für Operationen am Unterarm. Deshalb bezieht der Score dieser Studie den CAM mit ein (daraus ergeben sich maximal 18 Punkte). Eine weitere Untersuchungsvariante beschreibt Koscielniak-Nielsen in seiner Studie (136): Er bewertet nur die Sensorik, dafür zusätzlich zu den Nn. ulnaris, medianus, radialis und musculocutaneus, die Nn. axillaris, cutaneus brachii medialis und antebrachii medialis (Maximalwert 14 Punkte). Die Nerven des oberen Arms sind möglicherweise relevant für die Toleranz der Blutsperrung. Die SONO-Gruppe erreichte im Gesamtscore und im Sensibilitätsscore einen Median von 18 und 10 Punkten (= Maximalwerte), die STIM-Gruppe 17 und 8 Punkte. Der Unterschied war nicht signifikant, belegt aber die ausgezeichnete Blockadequalität beider Verfahren.

Besser zu vergleichen sind die Erfolgsquoten und Supplementierungen. Einige Autoren legen den Blockadeerfolg durch die sensible und motorische Testung fest (133), andere werten die chirurgische Toleranz als Blockadeerfolg (135). Die Notwendigkeit von Nachblockaden einzelner Nerven wie auch die Konversion zu einer Allgemeinanästhesie werden von den meisten Autoren als Blockversager beurteilt. Die Supplementierung mit Opioiden (Fentanyl, Remifentanyl, Piritramid etc.) wird nicht als Versager gewertet. Die Erfolgsquoten für axilläre Plexusblockaden variieren extrem: 100% sind sowohl

für ultraschallgesteuerte Verfahren (45,73,150) als auch für nervenstimulationsgestützte Verfahren (137,150) beschrieben; je nach Methode betrifft dies aber auch Werte um 50% (136).

Tabelle 23 gibt eine Übersicht über mögliche Erfolgsraten:

**Tabelle 23:** Erfolgsraten

AX = axillärer Block, SCB = supraclavikulärer Block, ICB = infraclavikulärer Block, SONO = mit Ultraschall, STIM = mit Nervenstimulation, TA = transarteriell, (PV) = perivaskuläre Injektion, (PN) = perineurale Injektion, 3x = 3-fach-Injektion, 4x = 4-fach-Injektion, LA = Lokalanästhetikum, vs. = versus

<b>Studie</b>	<b>Methode</b>	<b>Erfolgsrate/Supplementierung</b>
<b><u>eigene Daten</u></b> Performer: Fachärzte	AX STIM 3x n = 28 vs. AX SONO 4x (PN) n = 30	STIM: 89% SONO: 90% <u>Supplementierung (Fentanyl):</u> SONO: 5/30 STIM: 7/28
<b><u>Casati 2007</u></b> (150) Performer: 1. und 2. Autor; Experten	AX STIM 4x n = 29 vs. AX SONO 4x (PN) n = 30	SONO: 100% STIM: 100% <u>Supplementierung (Fentanyl):</u> SONO: 1/30 STIM: 2/29
<b><u>Chan 2007</u></b> (43) Performer: Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht	AX SONO 3x (PN), n = 64 vs. AX STIM 3x, n = 62 vs. AX SONO + STIM 3x n = 62	SONO: 95% STIM: 85,5% SONO + STIM: 92%
<b><u>Sia 2001</u></b> (130) Performer: 1. Autor; Experte	AX STIM 4x n = 40 vs. AX STIM 3x n = 40	4x: 92% 3x: 90% Fentanyl (0,05 mg) bei Schmerzen durch Tourniquet: 4x: 3/40 3x: 4/40
<b><u>Koscielniak-Nielsen 1999</u></b> (136) Performer: 1. Autor, Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht	AX STIM 4x n = 52 vs. AX TA/Parästhesie 1x n = 52	STIM: 87% TA: 54%

<b>Studie</b>	<b>Methode</b>	<b>Erfolgsrate/Supplementierung</b>
<b><u>Schoenmakers 2012</u></b> (152) Performer: k.A.	AX SONO + STIM 4x 40 ml; n = 15 vs. AX SONO + STIM 4x 15 ml; n = 15	15ml: 87% 40ml: 100% <u>Supplementierung</u> <u>(Ultiva/Propofol):</u> 15 ml: 2/15 40ml: 1/15
<b><u>Imasogie 2010</u></b> (135) Performer: Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht	AX SONO 4x (PN) n = 58 vs. AX SONO 2x (PN) n = 56	4x: 87,9% 2x: 89, 3%
<b><u>Tran 2012</u></b> (133) Performer: Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht	AX SONO 2x (PV) n = 40 vs. AX SONO 3x (PV) n = 40 vs. AX SONO 4x (PV) n = 40	2x: 97,5% 3x: 90% 4x: 97,5%
<b><u>Tran 2009</u></b> (134) Performer: Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht	SCB SONO 1x, n = 40 vs. ICB SONO 1x, n = 40 vs. AX SONO 4x (PV), n = 40	SCB: 95% ICB: 95% AX: 97,5%
<b><u>O'Donnell 2010</u></b> (131) Performer: 1. Autor, Experte	AX SONO 4x (PN) 1ml pro Nerv n = 17	SONO 1ml/Nerv: 100% <u>Supplementierung (Opioide):</u> SONO 1ml/Nerv: 0/17
<b><u>Marhofer 2010</u></b> (161) Performer: 2 der Autoren, Experten	AX SONO 4x (PN) 1ml/ Nerv, n = 10 vs. AX SONO 4x (PN) 3,8 ml/Nerv; n = 10	1ml / Nerv: 80% 3,8 ml / Nerv: 100%
<b><u>Bertini 2009</u></b> (151) Performer: 3 Autoren; Experten	AX STIM 4x 20 ml Mepivacain 2%, n = 54 vs. 30 ml Mepivacain 1,5%, n = 50 vs. 40 ml Mepivacain 1%, n = 49	20 ml: 94% 30 ml: 94% 40 ml: 98%

<b>Studie</b>	<b>Methode</b>	<b>Erfolgsrate/Supplementierung</b>
<b><u>Bernucci 2012</u></b> (132) Performer: Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht	AX SONO 4x (PN) n = 25 vs. AX SONO 4x (PV) n = 25	PN: 92% PV: 96%
<b><u>Perris 2003</u></b> (171) Performer: vorwiegend 1. und 2. Autor <b><u>retrospektiv</u></b>	AX STIM 3-4x	1990: 89,7% 1998: 98,4% letzte 5a: 100%
<b><u>Lo 2008</u></b> (172) Performer: Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht <b><u>retrospektiv</u></b>	AX SONO, n = 535 vs. AX STIM, n = 56 vs. AX TA, n = 71 vs. AX TRAD, n = 127	SONO: 91,6% STIM: 78,6% TA: 84,5% TRAD: 81,9%
<b><u>Sites 2006</u></b> (73) Performer: Ärzte in Weiterbildung unter Aufsicht	AX SONO1-4x (PV) n = 28 vs. AX TA 2x n = 28	SONO: 82,1% TA: 53,6%
<b><u>Koscielniak-Nielsen 1997</u></b> (40) Performer: 1. Autor; Experte	AX STIM 1x n = 40 vs. AX STIM 3-2x n = 40	1x: 43% 3-4x: 90% <u>Supplementierung (Alfentanil):</u> 1x: 5/40 3-4x: 8/40

Zwei Studien vergleichen ebenfalls eine axilläre nervenstimulationsgesteuerte Multiinjektionstechnik mit einer sonographiegesteuerten (43,150). Casati et al. erreichen in beiden Gruppen eine 100%ige Erfolgsrate. Chan et al finden einen signifikanten Vorteil für die SONO-Gruppe (SONO: 95%) gegenüber der Stimulations-Gruppe (STIM: 85,5%), nicht aber für die SONO+STIM-Gruppe (92%).

Studien, bei denen die Blöcke von erfahrenen, in der Technik gut versierten Anästhesisten oder von Assistenzärzten unter Aufsicht von Experten durchgeführt wurden, sind mit hohen Erfolgsraten ausgestattet. Sie finden aber nur selten einen signifikanten Unterschied zwischen den Verfahren (133,150). Dies zeigt, dass in geübten Händen nervenstimulationsgesteuerte axilläre



Plexusblockaden gleichwertig sind mit ultraschallgesteuerten bezüglich des Blockadeerfolgs. Auf diesem hohen Niveau gelingt eine messbare Blockadeverbesserung kaum. Bei einigen Studien, die signifikante Unterschiede hervorbringen, ist auffällig, dass die Kontrollgruppe im Vergleich mit anderen publizierten Erfolgsraten für diese Technik (20,22) relativ schlecht abschneiden (43,73,136). Ursächlich hierfür ist eine unbewusste Bevorzugung des SONO-Verfahrens zu diskutieren. Der ausbleibende Unterschied zwischen der SONO-Gruppe (90%) und der STIM-Gruppe (89%) in der Erfolgsrate lässt vermuten, dass die Unterschiede feiner sind als angenommen. Größere Patientenzahlen in neuen Untersuchungen sind zur endgültigen Klärung notwendig. Diese Ergebnisse zeigen aber auch, dass das Verfahren der Ultraschallkontrolle dem der Nervenstimulation gleichwertig ist.

#### **4.1.3. Komplikationen (Gefäßpunktionen, Parästhesien)**

In beiden Gruppen kam es zu ungewollten Gefäßpunktionen (SONO und STIM: je 2 venöse Punktionen, keine arterielle Punktion in der SONO-Gruppe, 1 in der STIM-Gruppe). Es kam in keinem der Fälle zu einer i.v.-Applikation von LA. Das zeigt, dass die Anwendung von Ultraschall das Auftreten von akzidentellen Gefäßpunktionen nicht gänzlich verhindern kann. Dies bestätigen auch Fallberichte über Gefäßpunktionen während ultraschallgesteuerten Regionalanästhesieverfahren (117,173). Mögliche Ursachen dafür sind beispielsweise Venen, die durch den Schallkopf komprimiert werden und damit im Ultraschall nicht mehr sichtbar sind. So können auch Aspirationsversuche negativ bleiben. Wenn die Nadelspitze beim Verschieben nicht ständig visualisiert wird, besteht die Gefahr, Gefäße oder Nerven zu verletzen. Durch die Anwendung von Ultraschall und die daraus resultierende Möglichkeit der Visualisierung der Injektion lassen sich diese Risiken minimieren. Eine fehlende Darstellung des Injektates kann sofort identifiziert und die Injektion abgebrochen werden, um i.v.-Injektionen von größeren Mengen LA (174) mit

konsekutivem Krampfanfall oder aber intraneurale Injektionen zu verhindern (113,119).

In beiden Untersuchungsgruppen traten während der Plexusanlage Parästhesien auf (SONO 6/27, STIM 6/26), die durch die Anästhesisten dokumentiert wurden. Diese korrelierten nicht mit den Parästhesien, welche die Patienten im Fragebogen angegeben hatten. Hier wurden mehr in der STIM-Gruppe (36), als in der SONO-Gruppe (16) gezählt. Der MED war in beiden Gruppen (SONO 5/24, STIM 13/22) der am häufigsten betroffene Nerv. In der STIM-Gruppe könnte dies auf die mit 96% sehr häufige Stimulation zurückzuführen sein. In der SONO-Gruppe wurde der MED ebenso häufig (93%) genannt. Der Grund liegt hier möglicherweise in der oberflächlichen Lage des Nervs. Parästhesien können verschiedene Ursachen haben wie Gewebzug oder -kompression oder Nadel-Nerv-Kontakt (175). Ob das Auftreten von Parästhesien ein erhöhtes Risiko für Nervenschäden darstellt, ist unklar. Selander (52) fand eine erhöhte Inzidenz von Nervenschäden nach axillären Blöcken (wenn absichtlich nach Parästhesien gesucht wurde) im Vergleich zu einer perivaskulären Loss-of-Resistance Technik (2,8% gegenüber 0,8%, nicht signifikant). Auroy (176) findet in seiner Untersuchung bei allen Patienten mit Nervenschäden Parästhesien während des Nadelvorschubs, vor allem aber Schmerzen bzw. Parästhesien während der Injektion. Die Parästhesien stimmen mit dem Innervationsgebiet des geschädigten Nervs überein. Hingegen vermerken Winchell und Wolfe (177) nur 0,36% Nervenschäden bei 98% Patienten mit Parästhesien. Cheney (178) berichtet, dass nur 31% der Patienten mit dauerhaften Parästhesien zuvor bei der Injektion oder der Punktion Parästhesien oder Schmerzen empfanden. Er untersuchte die abgeschlossenen Klagen von Patienten (ASA closed claims). Perlas (97) stellte ultraschallkontrolliert einen Nadel-Nerv-Kontakt her und berichtet, dass nur 38% der Patienten eine Parästhesie verspürten. Trotz direkter Berührung erfolgte hier nur bei 75% eine motorische Antwort bei einer Stimulationsstromstärke bis 0,5 mA. Parästhesien besitzen daher nur einen geringen Vorhersagewert für Nervenschäden. Allerdings sind sie für die Patienten unangenehm und müssen, da sie den Nadel-Nerv-Kontakt

beschreiben, ernst genommen werden. Eine mögliche Reduktion durch sonographiegestützte Plexusblockaden könnte den Patientenkomfort erhöhen. Den Angaben der Patienten zu Parästhesien im Fragebogen wurde nicht nachgegangen, ebenso wie das Auftreten von Nervenschäden und Blutungskomplikationen (Hämatome, Dissektionen) nicht nachuntersucht wurde. In den routinemäßigen postoperativen Visiten durch Anästhesisten sowie in den chirurgischen Verlaufsuntersuchungen wurden keine Komplikationen vermeldet. Dieses Versäumnis schränkt allerdings die Aussagekraft der Daten zu Komplikationen ein:

Bis jetzt gibt es keine verlässlichen Beweise dafür, dass ultraschallgesteuerte Nervenblockaden sicherer bzw. komplikationsärmer sind als nervenstimulationsgesteuerte Verfahren (129). Die Anwendung von Ultraschall leistet jedoch aktuell einen entscheidenden Beitrag im Bereich der Prüfung etablierter Nervenblockadeverfahren sowie hinsichtlich der Frage, welche Faktoren Nervenschäden bedingen und welche nicht (179).

#### **4.1.4. Patientenzufriedenheit (Gesamtzufriedenheit, VAS, Schmerzen, Parästhesien, Tourniquettoleranz)**

Im Zuge einer mehr und mehr patientenzentrierten Medizin aber auch vor dem Hintergrund der stetig wachsenden Bedeutung von Marketing und Ökonomie im Gesundheitswesen kommt der Patientenzufriedenheit ein immer höherer Stellenwert zu. Schmerzarme oder -freie Verfahren sollten die Patientenakzeptanz und -zufriedenheit erhöhen. Nach der Anlage der Plexusanästhesie wurden die Patienten mit einer VAS (10 cm) befragt und es ergaben sich für beide Gruppen niedrige Werte (SONO  $2,24 \pm 2,09$  cm vs STIM  $1,59 \pm 2,02$  cm). In der Schmerztherapie entsprechen Werte  $\leq 3$  cm keinem bis leichtem Schmerz. Bloc et al. konnte für die ultraschallgesteuerte out-of-plane Technik (VAS 20 (10-40)) einen Vorteil in der Schmerzintensität gegenüber der Stimulationstechnik (VAS 35 (10-80)) bei der axillären Plexusanästhesie nachweisen (180). Bei der ultraschallgesteuerten in-plane-Technik (VAS 25 (10-

80)) war die Schmerzreduktion nicht mehr signifikant. Casati et al. fanden ebenso einen geringeren VAS-Wert für die ultraschallgesteuerte Technik (Median 1 cm Spannweite 0-8 cm) im Vergleich zur Nervenstimulation (Median 3 cm Spannweite 0-8 cm) (150). In der Literatur findet man unterschiedliche Angaben zur Schmerzintensität während der Plexusanlage: Tran et al. (134) verglichen den ultraschallgesteuerten supraclavikulären ( $2,2 \pm 2,3$  cm), infraclavikulären ( $2,4 \pm 2,3$  cm) und axillären ( $2,2 \pm 1,5$  cm) Zugang und fanden dabei Werte um 2 cm. Bernucci (132) verglich eine ultraschallgesteuerte perivaskuläre ( $2,9 \pm 2,8$  cm) mit einer perineuralen ( $2,9 \pm 2,1$  cm) axillären 4-fach-Injektions-Technik und fand VAS-Werte um 3 cm. Tran (133) fand für ultraschallgesteuerte, axilläre 2-fach- ( $2,2 \pm 2,5$  cm), 3-fach- ( $1,7 \pm 2,4$  cm) und 4-fach-Injektionstechniken ( $1,5 \pm 2,1$  cm) Werte zwischen 1,5 und 2,2 cm. Niedrige Werte für 3- und 4-fach-Stimulationstechniken findet Sia (130) mit  $8 \pm 2$  mm und  $13 \pm 2$  mm und Koscielniak-Nielsen (136) mit 0,65 cm (Spannweite 0-4,5 cm). Hohe Werte für eine 4-fach-Stimulationstechnik mit drei verschiedenen LA-Volumina berichtet Serradell (137) mit Mittelwerten von 5,7 bis 7,2 cm. Interessanterweise würden zwischen 100% und 94,7% dieser Patienten einer erneuten axillären Plexusanästhesie zustimmen. Alle Patienten (100%) in den Ultraschall-Gruppen waren bei Bloc et al. und Casati et al. zufrieden oder sehr zufrieden mit der Plexusanästhesie und wären erneut dazu bereit. In der Nervenstimulationsgruppe bei Bloc war nur 1 Patient (2,5%) unzufrieden, der Rest ebenfalls zufrieden oder sehr zufrieden (180), bei Casati 93%. Ähnliches zeigen unsere Ergebnisse: 92% der Patienten in der SONO-Gruppe und 91% in der STIM-Gruppe würden im Falle der Notwendigkeit nochmals dem durchgeführten Verfahren zustimmen. Die zwei Patienten aus der SONO-Gruppe, die sich gegen eine erneute Plexusanästhesie entscheiden würden, erlitten einen Blockversager und benötigten eine Allgemeinanästhesie. Der dritte Blockversager aus dieser Gruppe konnte mit einem Rescueblock supplementiert werden und der Patient würde sich wieder für einen axillären Block entscheiden. Der erste Patient aus der Stimulationsgruppe, der eine erneute Plexusanästhesie verweigern würde, hatte einen hohen VAS-Wert (6,5 cm), der zweite einen VAS-Wert von 3,5 cm und Schmerzen durch die

Blutsperre. Zwei Blockversager aus der Stimulationsgruppe konnten mit einem Rescueblock supplementiert werden und die Patienten würden einem erneuten axillären Block zustimmen. Der Patient mit dem dritten Versager in der STIM-Gruppe, der eine Allgemeinanästhesie brauchte, hatte keinen Fragebogen zurückgeschickt. Es besteht die Möglichkeit, dass die Patientenzufriedenheit in der STIM-Gruppe zu gut dargestellt ist, da hier weniger Patienten den Fragebogen zurückgegeben hatten (SONO 27/30 und STIM 23/28), da unzufriedene Patienten seltener Fragebögen zur Zufriedenheit beantworten (181).

Patientenzufriedenheit wird durch viele Faktoren beeinflusst (z.B. Alter, Geschlecht, Information der Patienten, Erwartungshaltung, Komfort des Verfahrens...). Diese Studie war nicht darauf ausgelegt, detaillierte Informationen dazu hervorzubringen. Es konnte aber gezeigt werden, dass sich die blockbedingte Schmerzintensität beider Verfahren gering ausnimmt und die globale Patientenzufriedenheit grundsätzlich gut zu bewerten ist.

#### **4.2. Fehlerdiskussion**

In der vorliegenden Studie bestand keine Verblindung bzgl. des Blockadeerfolgs für die durchführenden Anästhesisten. Die Hypothese favorisierte die ultraschallgestützte Technik. Eine unbewusste schlechtere Performance in der STIM-Gruppe könnte die Ultraschall-Technik besser erscheinen lassen als sie tatsächlich ist. Dies ist jedoch unwahrscheinlich, da die Hypothese nicht bestätigt werden konnten und die Ergebnisse der STIM-Gruppe mit denen internationaler Studien vergleichbar sind.

Eine weitere Fehlerquelle könnte die Testintervallgröße von 5 min (Sensorik) bzw. 10 min (Motorik) sein. Ein kleineres Intervall von z.B. 3 min erlaubte eine feinere Abstufung der Ergebnisse und dadurch eine genauere Abbildung der Realität.

Ebenso haben wir keine wissenschaftliche Evaluation der Testmethode (spitzstumpf-Diskrimination) gegenüber anderen Testmethoden vorgenommen, wie

Kalt-warm-Unterscheidung oder „Kneifen mit einer Plastikklammer“. Ebenso ist nicht sicher, ob eine aufgehobene spitz-stumpf-Diskrimination gleichbedeutend mit der Schmerzfreiheit während der Operation ist. Zwei Blockversager aus der SONO-Gruppe hatten eine Anästhesie in allen fünf Nervenarealen und benötigten dennoch eine Allgemeinanästhesie und einen Nachblock. Ein Patient aus der STIM-Gruppe gab bei der Testung in allen Innervationsgebieten eine normale Sensibilität an, lediglich der MED wurde nachgeblockt und die Operation (Bündelnagelung MHK III Köpfchen) konnte problemlos durchgeführt werden.

Der Datenverlust während der Studie schmälert die Aussagekraft vieler Werte und statistischer Tests. Aufgrund der guten Ergebnisse aus der vorausgehenden Studie (45) wurde die durch Nichterreichen eines kompletten Plexus bedingte Dropout-Rate unterschätzt. Auch Nicht-Dokumentation aus operativ-organisatorischen Gründen und nicht zurückgeschickte Fragebögen tragen zu einer geringeren Validität bei.

Beides ist nicht einfach zu lösen. Der reibungslose Ablauf im OP hat nach der Patientensicherheit oberste Priorität.

Die Beantwortung einiger Fragen (z.B. nach der Schmerzintensität mittels VAS zum Ankreuzen) ließ den Verdacht aufkommen, dass einige Patienten die Frage nicht korrekt verstanden hatten. In welchem Ausmaß dieses Problem die Daten beeinflusst, konnte im Nachhinein nicht mehr festgestellt werden.

### **4.3. Konklusion**

Motivation für diese Untersuchung war, Ultraschall und Nervenstimulation bei der axillären Plexusanästhesie (Multiinjektionstechnik) zu vergleichen und einen Vorteil für den Ultraschall zu beweisen. Außer in der Durchführungszeit – und auch hier war lediglich ein kleiner Vorteil zu verzeichnen – weisen beide Verfahren in den Disziplinen Anschlagszeit, Blockadequalität, Blockadeerfolg und Patientenakzeptanz keine Unterschiede auf.

Bei gleicher Eignung und unter Berücksichtigung der theoretischen Potentiale des Ultraschalls, wie Visualisierung der Nadelspitze, dadurch Schonung der Nachbarstrukturen, exakte Positionierung des Lokalanästhetikums, Kontrolle seiner Ausbreitung sowie die mögliche Anwendung bei Amputationen, Frakturen und Kindern, erscheint es sinnvoll, dieser Technik den Vorzug zu geben.

Der erfolgreiche Gebrauch von Ultraschall in der Regionalanästhesie erfordert ausreichende Übung und Erfahrung (182,183). Da es sich im Gegensatz zur Nervenstimulation (50 Jahre) um eine relativ junge Technik (20 Jahre) handelt, ist die kollektive Erfahrung noch unzureichend. Die nächsten Jahre werden zeigen, ob sich das Potential der ultraschallgesteuerten Regionalanästhesie weiter entfalten kann.

## 5. Zusammenfassung

Ultraschall ist im Vergleich zur Nervenstimulation ein relativ junges Hilfsmittel zur Durchführung axillärer Plexusanästhesien und es existieren erst wenige Studien, die diese Methoden bei Multiinjektionstechniken vergleichen. Die vorliegende Studie unterzieht dabei eine ultraschallgesteuerte 4-fach-Injektionstechnik (perineural, out-of-plane) dem Vergleich mit einer nervenstimulationsgesteuerten 3-fach-Injektionstechnik. Dazu wurden 60 Patienten, die sich einer Operation an Hand, Unterarm oder Ellenbogen unterziehen mussten und sich für eine axilläre Plexusanästhesie entschieden, in 2 Gruppen (SONO und STIM) randomisiert. Die Anlage der Plexusanästhesie erfolgte durch einen von fünf in beiden Methoden versierten Fachärzten – in beiden Gruppen mit ca. 40 ml Mepivacain 1,5% und 5 ml Mepivacain 0,5%. Die Zeit für die Durchführung der Plexusanästhesie wurde gestoppt. Danach testete ein verblindeter Untersucher alle 5 min die Sensibilität in den Innervationsgebieten der Nn. medianus, radialis, musculocutaneus, ulnaris und cutaneus antebrachii medialis mittels spitz-stumpf-Diskrimination. Die Motorik wurde alle 10 min für die Nn. medianus, radialis, musculocutaneus und ulnaris mit Bewegungen gegen die Schwerkraft untersucht. Es wurden die durchschnittlichen Anschlags- und Anästhesiezeiten für die Einzelnerve sowie für den gesamten Plexus ermittelt. Aus den Bewertungspunkten der Testung wurde (für jeden Patienten) der sensible (Maximalpunktzahl 10) und der Gesamtscore (Maximalpunktzahl 18) errechnet. Nach der Plexusanlage bewerteten die Patienten die Schmerzhaftigkeit der Prozedur mit einer Visuellen Analog Scala (VAS).

Die Anlage der Plexusanästhesie war in der SONO-Gruppe signifikant kürzer. Die Anschlags- und Anästhesiezeiten der Einzelnerve wie auch des gesamten Plexus unterschieden sich nicht zwischen den Gruppen. Der sensible und der Gesamtscore 30 min nach Plexusanlage waren tendenziell in der SONO-Gruppe höher, jedoch nicht signifikant. Keine Unterschiede ergaben sich bei Erfolgsquote, Patientenzufriedenheit und VAS-Bewertung.



Die Hypothese, dass unter Ultraschallkontrolle die Anschlags- und Anästhesiezeit im Vergleich zur Nervenstimulation kürzer ist, konnte nicht bestätigt werden. Bezüglich des Blockadeerfolgs, der Blockadequalität (Score) und der Patientenzufriedenheit sind die Verfahren gleichwertig – die Unterschiede zwischen den Verfahren sind feiner als ursprünglich erwartet. Ultraschallgesteuerte Techniken bieten allerdings theoretisch die Möglichkeit, Komplikationen wie Gefäßpunktionen, Nervenpunktionen/ intraneurale Injektionen zu erkennen und zu vermeiden. Daher sollte ihnen bei gleicher Eignung der Vorzug gegeben werden.

## 6. Literatur

1. Thompson GE, Rorie DK. Functional anatomy of the brachial plexus sheaths. *Anesthesiology* 1983;59:117-22.
2. Christophe JL, Berthier F, Boillot A, Tatu L, Viennet A, Boichut N, Samain E. Assessment of topographic brachial plexus nerves variations at the axilla using ultrasonography. *Br J Anaesth* 2009;103:606-12.
3. Partridge BL, Katz J, Benirschke K. Functional anatomy of the brachial plexus sheath: implications for anesthesia. *Anesthesiology* 1987;66:743-7.
4. Choi D, Rodriguez-Niendenfuhr M, Vazquez T, Parkin I, Sanudo JR. Patterns of connections between the musculocutaneous and median nerves in the axilla and arm. *Clin Anat* 2002;15:11-7.
5. Retzl G, Kapral S, Greher M, Mauritz W. Ultrasonographic findings of the axillary part of the brachial plexus. *Anesth Analg* 2001;92:1271-5.
6. Schafhalter-Zoppoth I, Gray AT. The musculocutaneous nerve: ultrasound appearance for peripheral nerve block. *Reg Anesth Pain Med* 2005;30:385-90.
7. Orebaugh SL, Pennington S. Variant location of the musculocutaneous nerve during axillary nerve block. *J Clin Anesth* 2006;18:541-4.
8. Brain. *Aids to the examination of the peripheral nervous system*. 4th ed.: Elsevier Saunders Ltd., 2000.
9. Hirschel G. Die Anästhesierung des Plexus brachialis bei Operationen an der oberen Extremität. *Münchener Medizinische Wochenschrift* 1911;58(29):1555-6.
10. Kulenkampff D. Die Anästhesierung des Plexus brachialis. *Zentralblatt für Chirurgie* 1911;38:1337-40.
11. Perthes G. Über die Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung. *Münchener Medizinische Wochenschrift* 1912;47:2545-51.
12. Burnham PJ. Simple regional nerve block for surgery of the hand and forearm. *J Am Med Assoc* 1959;169:941-3.

13. Burnham PJ. Regional block of the great nerves of the upper arm. *Anesthesiology* 1958;19:281-4.
14. Selander D. Axillary plexus block: paresthetic or perivascular. *Anesthesiology* 1987;66:726-8.
15. Youssef MS, Desgrand DA. Comparison of two methods of axillary brachial plexus anaesthesia. *Br J Anaesth* 1988;60:841-4.
16. De Jong RH. Axillary block of the brachial plexus. *Anesthesiology* 1961;22:215-25.
17. De Jong RH. (Modified Axillary Block with Block of the Lateral Antebrachial Cutaneous (Terminal Musculocutaneous) Nerve. *Anesthesiology* 1965;26:615-8.
18. Eriksson E. *Illustrated Handbook in Local Anaesthesia*. 2nd ed. Copenhagen: Schultz, 1979.
19. Winnie AP. Regional anesthesia. *Surg Clin North Am* 1975;55:861-92.
20. Cockings E, Moore PL, Lewis RC. Transarterial Brachial Plexus Blockade Using High Doses of 1,5 % Mepivacaine. *Reg Anesth* 1987;12:159-64.
21. Stan TC, Krantz MA, Solomon DL, Poulos JG, Chaouki K. The incidence of neurovascular complications following axillary brachial plexus block using a transarterial approach. A prospective study of 1,000 consecutive patients. *Reg Anesth* 1995;20:486-92.
22. Urban MK, Urquhart B. Evaluation of brachial plexus anesthesia for upper extremity surgery. *Reg Anesth* 1994;19:175-82.
23. Winnie AP. Does the transarterial technique of axillary block provide a higher success rate and a lower complication rate than a paresthesia technique? New evidence and old. *Reg Anesth* 1995;20:482-5.
24. Ansbro FP. A method of continuous brachial plexus block. *Am J Surg* 1946;71:716-22.
25. Selander D. Catheter technique in axillary plexus block. Presentation of a new method. *Acta Anaesthesiol Scand* 1977;21:324-9.

26. Vester-Andersen T, Eriksen C, Christiansen C. Perivascular axillary block III: blockade following 40 ml of 0.5%, 1% or 1.5% mepivacaine with adrenaline. *Acta Anaesthesiol Scand* 1984;28:95-8.
27. Vester-Andersen T, Husum B, Lindeburg T, Borrits L, Gothgen I. Perivascular axillary block IV: blockade following 40, 50 or 60 ml of mepivacaine 1% with adrenaline. *Acta Anaesthesiol Scand* 1984;28:99-105.
28. Klaastad O, Smedby O, Thompson GE, Tillung T, Hol PK, Rotnes JS, Brodal P, Breivik H, Hetland KR, Fosse ET. Distribution of local anesthetic in axillary brachial plexus block: a clinical and magnetic resonance imaging study. *Anesthesiology* 2002;96:1315-24.
29. Clendenen SR, Riutort K, Ladlie BL, Robards C, Franco CD, Greengrass RA. Real-time three-dimensional ultrasound-assisted axillary plexus block defines soft tissue planes. *Anesth Analg* 2009;108:1347-50.
30. Schwemmer U, Markus CK, Brederlau J, Roewer N. [Ultrasound-guided peripheral nerve blockade]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2006;41:481-90.
31. Ay S, Akinci M, Sayin M, Bektas U, Tekdemir I, Elhan A. The axillary sheath and single-injection axillary block. *Clin Anat* 2007;20:57-63.
32. Meier G, Maurer H, Bauereis C. [Axillary brachial plexus block. Anatomical investigations to improve radial nerve block]. *Anaesthesist* 2003;52:535-9.
33. Vester-Andersen T, Broby-Johansen U, Bro-Rasmussen F. Perivascular axillary block VI: the distribution of gelatine solution injected into the axillary neurovascular sheath of cadavers. *Acta Anaesthesiol Scand* 1986;30:18-22.
34. Winnie AP, Radonjic R, Akkineni SR, Durrani Z. Factors influencing distribution of local anesthetic injected into the brachial plexus sheath. *Anesth Analg* 1979;58:225-34.
35. Yamamoto K, Tsubokawa T, Ohmura S, Kobayashi T. The effects of arm position on central spread of local anesthetics and on quality of the block with axillary brachial plexus block. *Reg Anesth Pain Med* 1999;24:36-42.

36. Coventry DM, Barker KF, Thomson M. Comparison of two neurostimulation techniques for axillary brachial plexus blockade. *Br J Anaesth* 2001;86:80-3.
37. Dupre LJ. [Brachial plexus block through humeral approach]. *Cah Anesthesiol* 1994;42:767-9.
38. Koscielniak-Nielsen ZJ, Hesselbjerg L, Fejlberg V. Comparison of transarterial and multiple nerve stimulation techniques for an initial axillary block by 45 mL of mepivacaine 1% with adrenaline. *Acta Anaesthesiol Scand* 1998;42:570-5.
39. Koscielniak-Nielsen ZJ, Nielsen PR, Nielsen SL, Gardi T, Hermann C. Comparison of transarterial and multiple nerve stimulation techniques for axillary block using a high dose of mepivacaine with adrenaline. *Acta Anaesthesiol Scand* 1999;43:398-404.
40. Koscielniak-Nielsen ZJ, Stens-Pedersen HL, Lippert FK. Readiness for surgery after axillary block: single or multiple injection techniques. *Eur J Anaesthesiol* 1997;14:164-71.
41. Sia S, Lepri A, Ponzecchi P. Axillary brachial plexus block using peripheral nerve stimulator: a comparison between double- and triple-injection techniques. *Reg Anesth Pain Med* 2001;26:499-503.
42. Chin KJ, Handoll HH. Single, double or multiple-injection techniques for axillary brachial plexus block for hand, wrist or forearm surgery in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2011:CD003842.
43. Chan VW, Perlas A, McCartney CJ, Brull R, Xu D, Abbas S. Ultrasound guidance improves success rate of axillary brachial plexus block. *Can J Anaesth* 2007;54:176-82.
44. Geiser T, Lang D, Neuburger M, Ott B, Augat P, Buttner J. [Perivascular brachial plexus block. Ultrasound versus nerve stimulator]. *Anaesthesist* 2011;60:617-24.
45. Schwemmer U, Markus CK, Greim CA, Brederlau J, Roewer N. Ultrasound-guided anaesthesia of the axillary brachial plexus: efficacy of multiple injection approach. *Ultraschall Med* 2005;26:114-9.

46. Schwemmer U, Schleppers A, Markus C, Kredel M, Kirschner S, Roewer N. [Operative management in axillary brachial plexus blocks: comparison of ultrasound and nerve stimulation]. *Anaesthesist* 2006;55:451-6.
47. Sites BD, Brull R. Ultrasound guidance in peripheral regional anesthesia: philosophy, evidence-based medicine, and techniques. *Curr Opin Anaesthesiol* 2006;19:630-9.
48. Moore DC. "No paresthesias-no anesthesia," the nerve stimulator or neither? *Reg Anesth* 1997;22:388-90.
49. Moore DC. *Regional Block*. 1st Edition ed. Springfield/ Illinois: Thomas, 1954.
50. Selander D. Peripheral nerve injury caused by injection needles. *Br J Anaesth* 1993;71:323-5.
51. Selander D, Dhuner KG, Lundborg G. Peripheral nerve injury due to injection needles used for regional anesthesia. An experimental study of the acute effects of needle point trauma. *Acta Anaesthesiol Scand* 1977;21:182-8.
52. Selander D, Edshage S, Wolff T. Paresthesiae or no paresthesiae? Nerve lesions after axillary blocks. *Acta Anaesthesiol Scand* 1979;23:27-33.
53. Hirasawa Y, Katsumi Y, Kusswetter W, Sprotte G. [Experimental studies on peripheral nerve injuries caused by injection needles]. *Reg Anaesth* 1990;13:11-5.
54. Pither CE, Ford DJ, Raj PP. Peripheral nerve stimulation with insulated and uninsulated needles: Efficacy and characteristics. *Regional Anesth* 1984;9:42-3.
55. Pither CE, Raj PP, Ford DJ. The use of peripheral nerve stimulators for regional anesthesia: A review of experimental characteristics, technique and clinical applications. *Regional Anesth* 1985;10:49-58.
56. Greenblatt GM, Denson JS. Needle nerve stimulator/locator: nerve blocks with a new instrument for locating nerves. *Anesth Analg* 1962;41:599-602.

57. Pearson RB. Nerve block in rehabilitation: a technic of needle localization. *Arch Phys Med Rehabil* 1955;36:631-3.
58. Ford DJ, Pither C, Raj PP. Comparison of insulated and uninsulated needles for locating peripheral nerves with a peripheral nerve stimulator. *Anesth Analg* 1984;63:925-8.
59. Hadzic A, Vloka J, Hadzic N, Thys DM, Santos AC. Nerve stimulators used for peripheral nerve blocks vary in their electrical characteristics. *Anesthesiology* 2003;98:969-74.
60. Kaiser H, Niesel HC, Hans V. [Fundamentals and requirements of peripheral electric nerve stimulation. A contribution to the improvement of safety standards in regional anesthesia]. *Reg Anaesth* 1990;13:143-7.
61. Kaiser H, Niesel HC, Hans V, Klimpel L. [The function of peripheral nerve stimulators in the implementation of nerve and plexus blocks]. *Reg Anaesth* 1990;13:172-8.
62. Kaiser H, Niesel HC, Klimpel L. [Influence of minimum current for peripheral nerve stimulation on the latency and success rate of sciatic blockade]. *Reg Anaesth* 1988;11:92-7.
63. Kaiser H, Niesel HC, Klimpel L, Bodenmueller M. Prilocaine in lumbosacral plexus block--general efficacy and comparison of nerve stimulation amplitude. *Acta Anaesthesiol Scand* 1992;36:692-7.
64. Neuburger M, Rotzinger M, Kaiser H. [Electric nerve stimulation in relation to impulse strength. A quantitative study of the distance of the electrode point to the nerve]. *Anaesthesist* 2001;50:181-6.
65. Choyce A, Chan VW, Middleton WJ, Knight PR, Peng P, McCartney CJ. What is the relationship between paresthesia and nerve stimulation for axillary brachial plexus block? *Reg Anesth Pain Med* 2001;26:100-4.
66. Koons RA. The use of the Block-Aid Monitor and plastic intravenous cannulas for nerve blocks. *Anesthesiology* 1969;31:290-1.
67. Montgomery SJ, Raj PP, Nettles D, Jenkins MT. The use of the nerve stimulator with standard unsheathed needles in nerve blockade. *Anesth Analg* 1973;52:827-31.

68. De Andres J, Sala-Blanch X. Peripheral nerve stimulation in the practice of brachial plexus anesthesia: a review. *Reg Anesth Pain Med* 2001;26:478-83.
69. Fanelli G, Casati A, Garancini P, Torri G. Nerve stimulator and multiple injection technique for upper and lower limb blockade: failure rate, patient acceptance, and neurologic complications. Study Group on Regional Anesthesia. *Anesth Analg* 1999;88:847-52.
70. Ford DJ, Pither CE, Raj PP. Electrical characteristics of peripheral nerve stimulators: Implications for nerve Localisation. *Regional Anesth* 1984;9:73-7.
71. Raj PP, Rosenblatt R, Montgomery SJ. Use of the Nerve Stimulator for Peripheral Blocks. *Reg Anaesth* 1980;5:14-21.
72. Beach ML, Sites BD, Gallagher JD. Use of a nerve stimulator does not improve the efficacy of ultrasound-guided supraclavicular nerve blocks. *J Clin Anesth* 2006;18:580-4.
73. Sites BD, Beach ML, Spence BC, Wiley CW, Shiffrin J, Hartman GS, Gallagher JD. Ultrasound guidance improves the success rate of a perivascular axillary plexus block. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006;50:678-84.
74. Kapral S, Krafft P, Eibenberger K, Fitzgerald R, Gosch M, Weinstabl C. Ultrasound-guided supraclavicular approach for regional anesthesia of the brachial plexus. *Anesth Analg* 1994;78:507-13.
75. Ootaki C, Hayashi H, Amano M. Ultrasound-guided infraclavicular brachial plexus block: an alternative technique to anatomical landmark-guided approaches. *Reg Anesth Pain Med* 2000;25:600-4.
76. Sandhu NS, Capan LM. Ultrasound-guided infraclavicular brachial plexus block. *Br J Anaesth* 2002;89:254-9.
77. Kefalianakis F, Spohner F. [Ultrasound-guided blockade of axillary plexus brachialis for hand surgery]. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2005;37:344-8.



78. Ting PL, Sivagnanaratnam V. Ultrasonographic study of the spread of local anaesthetic during axillary brachial plexus block. *Br J Anaesth* 1989;63:326-9.
79. la Grange P, Foster PA, Pretorius LK. Application of the Doppler ultrasound bloodflow detector in supraclavicular brachial plexus block. *Br J Anaesth* 1978;50:965-7.
80. Kapral S, Marhofer P. [Ultrasound in local anaesthesia. Part II: ultrasound-guided blockade of peripheral nerve channels]. *Anaesthesist* 2002;51:1006-14.
81. Kapral S, Marhofer P, Grau T. [Ultrasound in local anaesthesia. Part I: technical developments and background]. *Anaesthesist* 2002;51:931-7.
82. Marhofer P, Harrop-Griffiths W, Kettner SC, Kirchmair L. Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: part 1. *Br J Anaesth* 2010;104:538-46.
83. Marhofer P, Harrop-Griffiths W, Willschke H, Kirchmair L. Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: Part 2-recent developments in block techniques. *Br J Anaesth* 2010;104:673-83.
84. Schwemmer U, Markus CK, Greim CA, Brederlau J, Trautner H, Roewer N. Sonographic imaging of the sciatic nerve and its division in the popliteal fossa in children. *Paediatr Anaesth* 2004;14:1005-8.
85. Marhofer P, Schrogendorfer K, Wallner T, Koinig H, Mayer N, Kapral S. Ultrasonographic guidance reduces the amount of local anesthetic for 3-in-1 blocks. *Reg Anesth Pain Med* 1998;23:584-8.
86. Kapral S, Krafft P, Gosch M, Fleischmann D, Weinstabl C. Ultrasound imaging for stellate ganglion block: direct visualization of puncture site and local anesthetic spread. A pilot study. *Reg Anesth* 1995;20:323-8.
87. Marhofer P, Sitzwohl C, Greher M, Kapral S. Ultrasound guidance for infraclavicular brachial plexus anaesthesia in children. *Anaesthesia* 2004;59:642-6.
88. Johnson CR, Barr RC, Klein SM. A computer model of electrical stimulation of peripheral nerves in regional anesthesia. *Anesthesiology* 2007;106:323-30.

89. Schulz-Stubner S. [Brachial plexus. Anesthesia and analgesia]. *Anaesthesist* 2003;52:643-56; quiz 57.
90. Graf BM, Martin E. [Peripheral nerve block. An overview of new developments in an old technique]. *Anaesthesist* 2001;50:312-22.
91. Vloka JD, Hadzic A. The intensity of the current at which sciatic nerve stimulation is achieved is a more important factor in determining the quality of nerve block than the type of motor response obtained. *Anesthesiology* 1998;88:1408-11.
92. Marz P. [In electric nerve stimulation can the distance from the nerves be inferred from the intensity of muscle contraction? Possible parameters and sources of error]. *Reg Anaesth* 1990;13:179-85.
93. Hutten H. [Comparative evaluation of equipment: the problem of false evidence. Remarks on the paper by P. Marz: In electric nerve stimulation is it possible to judge the status of the nerve from the intensity of muscle contraction?]. *Anaesthesist* 1992;41:108-10.
94. Casati A, Fanelli G, Beccaria P, Magistris L, Albertin A, Torri G. The effects of single or multiple injections on the volume of 0.5% ropivacaine required for femoral nerve blockade. *Anesth Analg* 2001;93:183-6.
95. Neuburger M, Gultlinger O, Ass B, Buttner J, Kaiser H. [Influence of blockades with local anesthetics on the stimulation ability of a nerve by peripheral nerve stimulation. Results of a randomized study]. *Anaesthesist* 2005;54:575-7.
96. Robards C, Hadzic A, Somasundaram L, Iwata T, Gadsden J, Xu D, Sala-Blanch X. Intraneural injection with low-current stimulation during popliteal sciatic nerve block. *Anesth Analg* 2009;109:673-7.
97. Perlas A, Niazi A, McCartney C, Chan V, Xu D, Abbas S. The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound. *Reg Anesth Pain Med* 2006;31:445-50.
98. Sala Blanch X, Lopez AM, Carazo J, Hadzic A, Carrera A, Pomes J, Valls-Sole J. Intraneural injection during nerve stimulator-guided sciatic nerve block at the popliteal fossa. *Br J Anaesth* 2009;102:855-61.

99. Urmey WF, Stanton J. Inability to consistently elicit a motor response following sensory paresthesia during interscalene block administration. *Anesthesiology* 2002;96:552-4.
100. Bollini CA, Urmey WF, Vascello L, Cacheiro F. Relationship between evoked motor response and sensory paresthesia in interscalene brachial plexus block. *Reg Anesth Pain Med* 2003;28:384-8.
101. Mulroy MF, Mitchell B. Unsolicited paresthesias with nerve stimulator: case reports of four patients. *Anesth Analg* 2002;95:762-3, table of contents.
102. Dussik KT. Über die Möglichkeit, hochfrequente Mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwenden. *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie* 1942;174:153-68.
103. Fornage BD. Peripheral nerves of the extremities: imaging with US. *Radiology* 1988;167:179-82.
104. Demondion X, Herbinet P, Boutry N, Fontaine C, Francke JP, Cotten A. Sonographic mapping of the normal brachial plexus. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003;24:1303-9.
105. McCartney CJ, Xu D, Constantinescu C, Abbas S, Chan VW. Ultrasound examination of peripheral nerves in the forearm. *Reg Anesth Pain Med* 2007;32:434-9.
106. Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, Chiaramondia M, Rosenberg I. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology* 1995;197:291-6.
107. Kühnel W. *Taschenatlas der Zytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie*. 11th ed.: Thieme Verlag, 2002.
108. Maecken T, Zenz M, Grau T. Ultrasound characteristics of needles for regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med* 2007;32:440-7.
109. Schafhalter-Zoppoth I, McCulloch CE, Gray AT. Ultrasound visibility of needles used for regional nerve block: an in vitro study. *Reg Anesth Pain Med* 2004;29:480-8.

110. Deam RK, Kluger R, Barrington MJ, McCutcheon CA. Investigation of a new echogenic needle for use with ultrasound peripheral nerve blocks. *Anaesth Intensive Care* 2007;35:582-6.
111. Klein SM, Fronheiser MP, Reach J, Nielsen KC, Smith SW. Piezoelectric vibrating needle and catheter for enhancing ultrasound-guided peripheral nerve blocks. *Anesth Analg* 2007;105:1858-60, table of contents.
112. Swenson JD, Brown NA. Evaluation of a new fenestrated needle for ultrasound-guided fascia iliaca block. *J Clin Anesth* 2007;19:175-9.
113. Schafhalter-Zoppoth I, Zeitz ID, Gray AT. Inadvertent femoral nerve impalement and intraneural injection visualized by ultrasound. *Anesth Analg* 2004;99:627-8.
114. Hadzic A, Sala-Blanch X, Xu D. Ultrasound guidance may reduce but not eliminate complications of peripheral nerve blocks. *Anesthesiology* 2008;108:557-8.
115. Hebl JR. Ultrasound-guided regional anesthesia and the prevention of neurologic injury: fact or fiction? *Anesthesiology* 2008;108:186-8.
116. Robards C, Clendenen S, Greengrass R. Intravascular injection during ultrasound-guided axillary block: negative aspiration can be misleading. *Anesth Analg* 2008;107:1754-5.
117. Loubert C, Williams SR, Helie F, Arcand G. Complication during ultrasound-guided regional block: accidental intravascular injection of local anesthetic. *Anesthesiology* 2008;108:759-60.
118. Brull R, Chan VW, McCartney CJ, Perlas A, Xu D. Ultrasound detects intraneural injection. *Anesthesiology* 2007;106:1244; author reply 7.
119. Russon K, Blanco R. Accidental intraneural injection into the musculocutaneous nerve visualized with ultrasound. *Anesth Analg* 2007;105:1504-5, table of contents.
120. Barrington MJ, Snyder GL. Neurologic complications of regional anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 2011;24:554-60.
121. Kapral S, Greher M, Huber G, Willschke H, Kettner S, Kdolsky R, Marhofer P. Ultrasonographic guidance improves the success rate of

- interscalene brachial plexus blockade. *Reg Anesth Pain Med* 2008;33:253-8.
122. Perlas A, Brull R, Chan VW, McCartney CJ, Nuica A, Abbas S. Ultrasound guidance improves the success of sciatic nerve block at the popliteal fossa. *Reg Anesth Pain Med* 2008;33:259-65.
  123. Pfeiffer K, Weiss O, Krodel U, Hurtienne N, Kloss J, Heuser D. [Ultrasound-guided perivascular axillary brachial plexus block. A simple, effective and efficient procedure]. *Anaesthetist* 2008;57:670-6.
  124. Casati A, Baciarello M, Di Cianni S, Danelli G, De Marco G, Leone S, Rossi M, Fanelli G. Effects of ultrasound guidance on the minimum effective anaesthetic volume required to block the femoral nerve. *Br J Anaesth* 2007;98:823-7.
  125. Sainz Lopez J, Prat Vallribera A, Segui Pericas M, Sama Pujolar A, Calleja Abad M, Sabater Recolons J, Codina Grano D. [Ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block with small volumes of local anesthetic: technical description and analysis of results]. *Rev Esp Anesthesiol Reanim* 2006;53:400-7.
  126. Meier G, Büttner J. *Kompendium Regionalanästhesie*. 7th ed. Hamburg: Eurocaribe Verlag 2009.
  127. van Aken H, Wulf H. *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie*. 3rd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2010.
  128. Grau T. *Ultraschall in der Anästhesie und Intensivmedizin*. 2nd ed. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 2009.
  129. Abrahams MS, Aziz MF, Fu RF, Horn JL. Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br J Anaesth* 2009;102:408-17.
  130. Sia S, Bartoli M. Selective ulnar nerve localization is not essential for axillary brachial plexus block using a multiple nerve stimulation technique. *Reg Anesth Pain Med* 2001;26:12-6.
  131. O'Donnell B, Riordan J, Ahmad I, Iohom G. Brief reports: a clinical evaluation of block characteristics using one milliliter 2% lidocaine in

- ultrasound-guided axillary brachial plexus block. *Anesth Analg* 2010;111:808-10.
132. Bernucci F, Gonzalez AP, Finlayson RJ, Tran DQ. A Prospective, Randomized Comparison Between Perivascular and Perineural Ultrasound-Guided Axillary Brachial Plexus Block. *Reg Anesth Pain Med* 2012.
  133. Tran de QH, Pham K, Dugani S, Finlayson RJ. A prospective, randomized comparison between double-, triple-, and quadruple-injection ultrasound-guided axillary brachial plexus block. *Reg Anesth Pain Med* 2012;37:248-53.
  134. Tran de QH, Russo G, Munoz L, Zaouter C, Finlayson RJ. A prospective, randomized comparison between ultrasound-guided supraclavicular, infraclavicular, and axillary brachial plexus blocks. *Reg Anesth Pain Med* 2009;34:366-71.
  135. Imasogie N, Ganapathy S, Singh S, Armstrong K, Armstrong P. A prospective, randomized, double-blind comparison of ultrasound-guided axillary brachial plexus blocks using 2 versus 4 injections. *Anesth Analg* 2010;110:1222-6.
  136. Koscielniak-Nielsen ZJ, Rotboll Nielsen P, Sorensen T, Stenor M. Low dose axillary block by targeted injections of the terminal nerves. *Can J Anaesth* 1999;46:658-64.
  137. Serradell A, Herrero R, Villanueva JA, Santos JA, Moncho JM, Masdeu J. Comparison of three different volumes of mepivacaine in axillary plexus block using multiple nerve stimulation. *Br J Anaesth* 2003;91:519-24.
  138. Sia S, Lepri A, Campolo MC, Fiaschi R. Four-injection brachial plexus block using peripheral nerve stimulator: a comparison between axillary and humeral approaches. *Anesth Analg* 2002;95:1075-9, table of contents.
  139. Sia S, Lepri A, Marchi M. Axillary block by "selective" injections at the nerves involved in surgery using a peripheral nerve stimulator: a

- comparison with a "standard" triple-injection technique. *Reg Anesth Pain Med* 2010;35:22-7.
140. Luyet C, Schupfer G, Wipfli M, Greif R, Luginbuhl M, Eichenberger U. Different Learning Curves for Axillary Brachial Plexus Block: Ultrasound Guidance versus Nerve Stimulation. *Anesthesiol Res Pract* 2010;2010:309462.
  141. Aldrich JE. Basic physics of ultrasound imaging. *Crit Care Med* 2007;35:S131-7.
  142. Tran de QH, Dugani S, Correa JA, Dyachenko A, Alsenosy N, Finlayson RJ. Minimum effective volume of lidocaine for ultrasound-guided supraclavicular block. *Reg Anesth Pain Med* 2011;36:466-9.
  143. Tran de QH, Dugani S, Dyachenko A, Correa JA, Finlayson RJ. Minimum effective volume of lidocaine for ultrasound-guided infraclavicular block. *Reg Anesth Pain Med* 2011;36:190-4.
  144. Tran de QH, Munoz L, Zaouter C, Russo G, Finlayson RJ. A prospective, randomized comparison between single- and double-injection, ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block. *Reg Anesth Pain Med* 2009;34:420-4.
  145. Roy M, Nadeau MJ, Cote D, Levesque S, Dion N, Nicole PC, Turgeon AF. Comparison of a single- or double-injection technique for ultrasound-guided supraclavicular block: a prospective, randomized, blinded controlled study. *Reg Anesth Pain Med* 2012;37:55-9.
  146. Rettig HC, Gielen MJ, Boersma E, Klein J. A comparison of the vertical infraclavicular and axillary approaches for brachial plexus anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 2005;49:1501-8.
  147. Koscielniak-Nielsen ZJ, Rasmussen H, Hesselbjerg L, Gurkan Y, Belhage B. Clinical evaluation of the lateral sagittal infraclavicular block developed by MRI studies. *Reg Anesth Pain Med* 2005;30:329-34.
  148. Liu FC, Liou JT, Tsai YF, Li AH, Day YY, Hui YL, Lui PW. Efficacy of ultrasound-guided axillary brachial plexus block: a comparative study with nerve stimulator-guided method. *Chang Gung Med J* 2005;28:396-402.

149. Williams SR, Chouinard P, Arcand G, Harris P, Ruel M, Boudreault D, Girard F. Ultrasound guidance speeds execution and improves the quality of supraclavicular block. *Anesth Analg* 2003;97:1518-23.
150. Casati A, Danelli G, Baciarello M, Corradi M, Leone S, Di Cianni S, Fanelli G. A prospective, randomized comparison between ultrasound and nerve stimulation guidance for multiple injection axillary brachial plexus block. *Anesthesiology* 2007;106:992-6.
151. Bertini L, Palmisani S, Mancini S, Martini O, Ioculano R, Arcioni R. Does local anesthetic dilution influence the clinical effectiveness of multiple-injection axillary brachial plexus block?: a prospective, double-blind, randomized clinical trial in patients undergoing upper limb surgery. *Reg Anesth Pain Med* 2009;34:408-13.
152. Schoenmakers KP, Wegener JT, Stienstra R. Effect of local anesthetic volume (15 vs 40 mL) on the duration of ultrasound-guided single shot axillary brachial plexus block: a prospective randomized, observer-blinded trial. *Reg Anesth Pain Med* 2012;37:242-7.
153. Russon K, Pickworth T, Harrop-Griffiths W. Upper limb blocks. *Anaesthesia* 2010;65 Suppl 1:48-56.
154. Neal JM, Gerancher JC, Hebl JR, Ilfeld BM, McCartney CJ, Franco CD, Hogan QH. Upper extremity regional anesthesia: essentials of our current understanding, 2008. *Reg Anesth Pain Med* 2009;34:134-70.
155. Felfernig M, Marhofer P, Weintraud M, Huber G, Duma A, Nosa A, Kapral S. Use of ropivacaine and lidocaine for axillary plexus blockade. *Afr J Paediatr Surg* 2010;7:101-4.
156. Taboada M, Cortes J, Rodriguez J, Ulloa B, Alvarez J, Atanassoff PG. Lateral approach to the sciatic nerve in the popliteal fossa: a comparison between 1.5% mepivacaine and 0.75% ropivacaine. *Reg Anesth Pain Med* 2003;28:516-20.
157. Casati A, Fanelli G, Borghi B, Torri G. Ropivacaine or 2% mepivacaine for lower limb peripheral nerve blocks. Study Group on Orthopedic Anesthesia of the Italian Society of Anesthesia, Analgesia, and Intensive Care. *Anesthesiology* 1999;90:1047-52.



158. Casati A, Leoni A, Aldegheri G, Berti M, Torri G, Fanelli G. A double-blind study of axillary brachial plexus block by 0.75% ropivacaine or 2% mepivacaine. *Eur J Anaesthesiol* 1998;15:549-52.
159. Fanelli G, Casati A, Beccaria P, Aldegheri G, Berti M, Tarantino F, Torri G. A double-blind comparison of ropivacaine, bupivacaine, and mepivacaine during sciatic and femoral nerve blockade. *Anesth Analg* 1998;87:597-600.
160. O'Donnell BD, Iohom G. An estimation of the minimum effective anesthetic volume of 2% lidocaine in ultrasound-guided axillary brachial plexus block. *Anesthesiology* 2009;111:25-9.
161. Marhofer P, Eichenberger U, Stockli S, Huber G, Kapral S, Curatolo M, Kettner S. Ultrasonographic guided axillary plexus blocks with low volumes of local anaesthetics: a crossover volunteer study. *Anaesthesia* 2010;65:266-71.
162. Walker KJ, McGrattan K, Aas-Eng K, Smith AF. Ultrasound guidance for peripheral nerve blockade. *Cochrane Database Syst Rev* 2009:CD006459.
163. Ganesh A, Cucchiaro G. Evidence of nerve puncture during ultrasound-guided peripheral nerve blocks. *Anesthesiology* 2007;106:1246-7; author reply 7.
164. Baciarello M, Casati A, Fanelli G. Ultrasound-guided intraneural injections and neurologic injury. *Anesthesiology* 2007;106:1244-5; author reply 7.
165. Morfey D, Brull R. Ultrasound-guided supraclavicular block: What is intraneural? *Anesthesiology* 2010;112:250-1; author reply 1-2.
166. Koscielniak-Nielsen ZJ, Frederiksen BS, Rasmussen H, Hesselbjerg L. A comparison of ultrasound-guided supraclavicular and infraclavicular blocks for upper extremity surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009;53:620-6.
167. Bigeleisen PE. Nerve puncture and apparent intraneural injection during ultrasound-guided axillary block does not invariably result in neurologic injury. *Anesthesiology* 2006;105:779-83.

168. Sia S, Lepri A, Magherini M, Doni L, Di Marco P, Gritti G. A comparison of proximal and distal radial nerve motor responses in axillary block using triple stimulation. *Reg Anesth Pain Med* 2005;30:458-63.
169. Satapathy AR, Coventry DM. Axillary brachial plexus block. *Anesthesiol Res Pract* 2011;2011:173796.
170. Remerand F, Laulan J, Couvret C, Palud M, Baud A, Velut S, Laffon M, Fusciardi J. Is the musculocutaneous nerve really in the coracobrachialis muscle when performing an axillary block? An ultrasound study. *Anesth Analg* 2010;110:1729-34.
171. Perris TM, Watt JM. The road to success: a review of 1000 axillary brachial plexus blocks. *Anaesthesia* 2003;58:1220-4.
172. Lo N, Brull R, Perlas A, Chan VW, McCartney CJ, Sacco R, El-Beheiry H. Evolution of ultrasound guided axillary brachial plexus blockade: retrospective analysis of 662 blocks. *Can J Anaesth* 2008;55:408-13.
173. Zetlaoui PJ, Labbe JP, Benhamou D. Ultrasound guidance for axillary plexus block does not prevent intravascular injection. *Anesthesiology* 2008;108:761.
174. VadeBoncouer TR, Weinberg GL, Oswald S, Angelov F. Early detection of intravascular injection during ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block. *Reg Anesth Pain Med* 2008;33:278-9.
175. Neuburger M, Buttner J. [Complications of peripheral regional anesthesia] Komplikationen bei peripherer Regionalanästhesie. *Anaesthesist* 2011;60:1014-26.
176. Auroy Y, Narchi P, Messiah A, Litt L, Rouvier B, Samii K. Serious complications related to regional anesthesia: results of a prospective survey in France. *Anesthesiology* 1997;87:479-86.
177. Winchell SW, Wolfe R. The incidence of neuropathy following upper extremity nerve blocks. *Reg Anesth* 1985;10:12-5.
178. Cheney FW, Domino KB, Caplan RA, Posner KL. Nerve injury associated with anesthesia: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 1999;90:1062-9.

179. Gadsden J, Gratenstein K, Hadzic A. Intraneural injection and peripheral nerve injury. *Int Anesthesiol Clin* 2010;48:107-15.
180. Bloc S, Mercadal L, Garnier T, Komly B, Leclerc P, Morel B, Ecoffey C, Dhonneur G. Comfort of the patient during axillary blocks placement: a randomized comparison of the neurostimulation and the ultrasound guidance techniques. *Eur J Anaesthesiol* 2010;27:628-33.
181. Wu CL, Naqibuddin M, Fleisher LA. Measurement of patient satisfaction as an outcome of regional anesthesia and analgesia: a systematic review. *Reg Anesth Pain Med* 2001;26:196-208.
182. Sites BD, Spence BC, Gallagher JD, Wiley CW, Bertrand ML, Blike GT. Characterizing novice behavior associated with learning ultrasound-guided peripheral regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med* 2007;32:107-15.
183. Marhofer P, Chan VW. Ultrasound-guided regional anesthesia: current concepts and future trends. *Anesth Analg* 2007;104:1265-9, tables of contents.

## 7. Anhang

### Anlage 1 – Aufklärung und Patienteneinwilligung

#### Universitätsklinikum Würzburg

Klinikum der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität

#### Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie

Direktor: Prof. Dr. N. Roewer

#### Arbeitsgruppe Regionalanästhesie/Qualitätsmanagement

Oberarzt: Dr. U. Schwemmer



Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie - Josef-Schneider-Str. 2 - 97080 Würzburg

1 / 3

#### Aufklärungsbogen:

#### vergleichende Untersuchung der Plexusblockade mit Ultraschallbildgebung gegen Nervenstimulation und Loss of resistance-Technik

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

sie werden sich in den nächsten Tagen einer Operation unterziehen. Um den Eingriff schmerzfrei durchführen zu können, bedarf es einer Anästhesie.

Für den bei Ihnen geplanten Eingriff kommt neben Allgemeinanästhesie / Zentraler Nervenblockade auch eine Blockade der das Operationsgebiet versorgenden Nerven in Frage. Dazu wird ein örtliches Betäubungsmittel an die Nerven gespritzt und so die Schmerzleitung für die Dauer der Wirkung unterbrochen. Der Erfolg solch einer Blockade ist von der Genauigkeit des Auffindens der Nerven direkt abhängig. An unserer Klinik sind drei Verfahren für die axilläre Plexusanästhesie etabliert, die wir in unserer Untersuchung wissenschaftlich miteinander vergleichen wollen:

**Loss of resistance Methode:** Bei dieser Methode wird das Betäubungsmittel nach Tasten von definierten anatomischen Strukturen in die Gefäß-Nervenscheide in der Achselhöhle eingespritzt. Dabei verteilt sich das Medikament innerhalb des Zielgebietes und umspült die Nerven, die betäubt werden sollen. Dieses Verfahren ist an unserer Klinik seit langer Zeit etablierte Methode.

**Nervenstimulation:** Bei diesem Verfahren erfolgt die Identifikation der Nerven mittels Elektrostimulation. Die verwendeten Stromstärken sind so niedrig, dass eine schmerzhafte Erregung des Nervs nicht zu erwarten ist. Werden die Zielstrukturen über kleinste Stromimpulse erregt, kommt es zu Muskelzuckungen am Arm. So werden die notwendigen Zielnerven identifiziert und damit die Punktionskanüle in unmittelbare Nähe zum Nerv gebracht. Die Nervenstimulation ist bei der axillären Plexusanästhesie ebenfalls seit langen Jahren ein etabliertes und gut untersuchtes Verfahren.

**Ultraschallbildgebung:** An unserer Klinik hat sich in den letzten Jahren auch die Methode, Nerven mittels Ultraschall darzustellen und dann mit dem Betäubungsmittel zu umspülen klinisch etabliert. Ultraschall ist ein Verfahren, das keine Strahlenbelastung hat und ohne Belastung für den Patienten durchgeführt wird. Dabei wird die Punktionskanüle unter Sicht dem Nerv angenähert und das örtliche Betäubungsmittel injiziert. Neben der Sichtbarkeit der Nerven können auch in der Nähe liegende Strukturen wie z.B. Gefäße dargestellt werden und so die Gefahr unbeabsichtigter Verletzungen weiter reduziert werden.

Die ultraschallgestützte Methode stellt einen neuen und im Hinblick auf die Erhöhung von Sicherheit, Patientenkomfort und Blockadeerfolg sehr untersuchungswerten und zukunftsweisenden Zugangsweg für periphere Nervenblockaden dar. Alle drei Methoden haben eine hohe Erfolgsrate und sind für den Patienten sehr schonende Verfahren. Wir sind bei unserer Untersuchung bestrebt, Unterschiede herauszuarbeiten, die vor allem den Zeitaufwand und die Zeit bis zur vollen Wirkung betrifft. Erst wenn die Blockade vollständig ist, werden sie in den Operationssaal gebracht und dann operiert. Wenn sie es wünschen, erhalten sie zusätzliche Medikamente, um während der Operation zu schlafen. Sollte die Blockade nicht ausreichen, werden sie bedarfsgerecht Schmerzmittel oder auch eine Narkose zusätzlich

**Direktion:**  
Prof. Dr. N. Roewer  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 01 20

**Vorzimmer:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 01 21  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 04 44

**Sekretariat:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 01 22  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 29

**Anästhesiologische Intensivstation:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 03 59  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 31

**Anästhesie-Leitstelle:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 03 65  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 00 25

**Präklinische Notfallmedizin:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 01 24  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 03 54

**Schmerzambulanz:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 01 35  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 39

**Prämedikationsambulanz:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 2 45 29

**Maligne-Hyperthermie-Ambulanz:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 02 86  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 29

**Zentrale Notaufnahme:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 03 60

**Simulationsmedizin:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 03 58  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 29

**IT-Bereich:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 03 48  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 31

**Forschungslabor:**  
Tel.: (09 31) 2 01 - 3 00 31  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 29

Klinik und Poliklinik für  
Anästhesiologie  
Josef-Schneider-Str. 2  
97080 Würzburg

Tel.: (09 31) 2 01 - 3 01 22  
Fax: (09 31) 2 01 - 3 01 29  
sek.anaesth@klinik.uni-wuerzburg.de  
www.anaesthesie.uni-wuerzburg.de

Das Klinikum ist mit der Straßenbahn, Linie 1 und 5 (Richtung Grombühl), Haltestelle Luitpoldkrankenhaus, zu erreichen.

erhalten.

Um diese drei Verfahren zur Plexusanästhesie miteinander vergleichen zu können, benötigen wir Ihre Mithilfe. Durch Ihre Zustimmung, sich in eine der drei Gruppen zufällig einteilen zu lassen und Ihr Einverständnis, Qualität und Wirkdauer der Blockade untersuchen zu dürfen, helfen Sie mit, unsere wissenschaftlichen Fragestellungen zu bearbeiten.

Die Daten werden elektronisch gespeichert und verarbeitet. Dazu werden die Daten pseudonymisiert. Damit werden persönliche Daten anonymisiert gespeichert und nicht an Dritte weitergegeben. Es werden alle datenschutzrechtlichen und wissenschaftlichen Bestimmungen beachtet .

Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig. Sollten Sie – aus welchen Gründen auch immer – auch kurzfristig die Einwilligung widerrufen, so wird dies für Sie keine Nachteile haben.

Für ihre Mitarbeit danken wir Ihnen recht Herzlich.

## Einwilligungserklärung

Studie: „Vergleichende Untersuchung der Plexusblockade mit Ultraschallbildgebung gegen Nervenstimulation und Loss of resistance-Technik“

Patient:		Geb. Datum:	
----------	--	-------------	--

Ich bin durch Frau/Herrn \_\_\_\_\_

über Ziel, Wesen, Bedeutung und Tragweite der o. g. Studie ausführlich und verständlich aufgeklärt worden. Eine schriftliche Patienteninformation habe ich erhalten und gelesen.

Ich hatte Gelegenheit, so lange Fragen zu stellen, bis ich alle Punkte verstanden hatte und ausreichend Zeit, meine Entscheidung über die Teilnahme an der Studie zu treffen.

Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass die Teilnahme an der Untersuchung freiwillig ist und dass ich – aus welchen Gründen auch immer – auch kurzfristig die Einwilligung widerrufen kann, ohne dass für mich ein Nachteil entsteht.

Eine Kopie des Aufklärungsbogens und dieser Einverständniserklärung habe ich erhalten.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Daten anonymisiert gespeichert und verarbeitet werden. Die Daten werden nicht an Dritte weitergegeben.

\_\_\_\_\_  
Patientenname

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Patienten

\_\_\_\_\_  
Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Arztes

## Anlage 2 – Plexusanlage (Anästhesiebogen)

**Universitätsklinikum Würzburg**  
Klinikum der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität



**Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie**  
Direktor: Prof. Dr. N. Roewer

Patientendaten			
Initialien	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> W	Geburtsdatum	OP-Datum
Diagnose/ Eingriff		Lfd. Nummer intern	

ASA - Status	Zeiten	
<input type="radio"/> 1	Beginn (Quaddel)	
<input type="radio"/> 2		
<input type="radio"/> 3	Ende (Pflaster)	
<input type="radio"/> 4		
<input type="radio"/> 5	Dauer	

Punktionstechnik	Lokalanästhetikum	Menge	
<input type="radio"/> Ultraschall	<input type="radio"/> Mepivacain 1,5 %	RAD	ml
<input type="radio"/> Loss of resistance		MED	ml
<input type="radio"/> Nervenstimulation	<input type="radio"/> Anderes: _____	ULN	ml
		MUC	ml
	<input type="radio"/> Mepivacain 0,5 %	⇒ RING	ml
		SUMME	ml

Komplikationen	
<input type="radio"/> Vene punktiert	<input type="radio"/> Sonstiges: _____
<input type="radio"/> Arterie punktiert	_____
<input type="radio"/> Parästhesien	_____
wo: _____	

Anästhesist \_\_\_\_\_

Klinik und Poliklinik für  
Anästhesiologie  
Oberdürrbacher Str. 6  
97080 Würzburg

Tel.: (09 31) 2 01 – 3 00 12  
Fax: (09 31) 2 01 – 3 00 19  
sek.anaesth@klinik.uni-wuerzburg.de  
www.anaesth.uni-wuerzburg.de  
www.klinik.uni-wuerzburg.de

# Anlage 3 – Testung (Untersucherbogen)

**Universitätsklinikum Würzburg**  
Klinikum der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität



**Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie**  
Direktor: Prof. Dr. N. Roewer

### Patientendaten

Initialien	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> W	Geburtsdatum	OP-Datum	Protokollnummer
Diagnose/ Eingriff		Lfd. Nummer intern		

Zeitpunkt "0 min"  :  :

### Sensorik

Zeit	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	Total nach
N. medianus							
N. ulnaris							
N. musculocutaneus							
N. cut. antebrachii med.							
N. radialis							

0 = spitz/stumpf-Unterscheidung normal      1 = Berührung wird noch wahrgenommen      2 = Berührung wird Ø mehr wahrgenommen

### Motorik

Zeit	10 min	20 min	30 min	Total nach
N. radialis				
N. musculocutaneus				
N. medianus				
N. ulnaris				

0 = Kraft ist normal      1 = Kraft ist gemindert      2 = kraftlos

### OP-Zeiten

Op - Freigabe	:	:	:
Schnitt	:	:	:
Op - Ende	:	:	:

### Blutsperre

- gut toleriert
- unangenehm
- behandlungsbedürftiger Schmerz  
mit : \_\_\_\_\_

### Zusatzanästhesie wegen

- ITN
- LAMA
- Peripher:
- OP-Dauer/ Zeitverzug
- Blockadeversager
- Sonstiges: \_\_\_\_\_

### Chirurg Waren Sie zufrieden mit der Qualität der Anästhesie ?

- ja
- nein, weil:
- Sensorik
- Motorik
- Zeit
- Sonstiges: \_\_\_\_\_

Klinik und Poliklinik für  
Anästhesiologie  
Oberdürrbacher Str. 6  
97080 Würzburg

Tel.: (09 31) 2 01 – 3 00 12  
Fax: (09 31) 2 01 – 3 00 19  
sek.anaesth@klinik.uni-wuerzburg.de  
www.anaesthesie.uni-wuerzburg.de  
www.klinik.uni-wuerzburg.de



## Anlage 4 – Fragebogen

**Universitätsklinikum Würzburg**  
Klinikum der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität



**Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie**  
Direktor: Prof. Dr. N. Roewer

AG Regionalanästhesie/Qualitätsmanagement

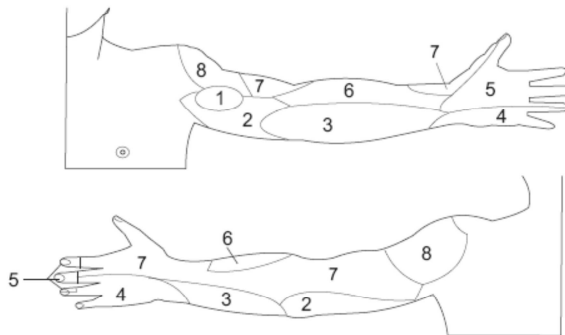
### Patientenfragebogen

1. Wann wurden Sie operiert? \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 200\_\_

2. Was wurde operiert? \_\_\_\_\_

3. Haben Sie ein „Elektrisieren“ oder Kribbeln bei der Anlage der Nervenblockade gespürt? (Sie können mehr als ein Kreuz machen.)

- nein
- Bereich 1
- Bereich 2
- Bereich 3
- Bereich 4
- Bereich 5
- Bereich 6
- Bereich 7
- Bereich 8



4. Hatten Sie Schmerzen bei der Durchführung der Nervenblockade? (Sie können mehr als ein Kreuz machen.)

- nein
- Bereich 1
- Bereich 2
- Bereich 3
- Bereich 4
- Bereich 5
- Bereich 6
- Bereich 7
- Bereich 8

5. Blieb eine Region des Arms nach Abklingen der Nervenblockade für längere Zeit besonders empfindlich oder gefühllos? (Sie können mehr als ein Kreuz machen.)

- nein
- Bereich 1
- Bereich 2
- Bereich 3
- Bereich 4
- Bereich 5
- Bereich 6
- Bereich 7
- Bereich 8

Klinik und Poliklinik für  
Anästhesiologie  
Oberdürrbacher Str. 6  
97080 Würzburg

Tel.: (09 31) 2 01 – 3 00 12  
Fax: (09 31) 2 01 – 3 00 19  
sek.anaesth@klinik.uni-wuerzburg.de  
www.anaesth.uni-wuerzburg.de  
www.klinik.uni-wuerzburg.de

Lfd. Nummer intern			
I	S		

6. Blieb eine Region des Arms nach Abklingen der Nervenblockade für längere Zeit kraftlos?  
Oder bei welcher Bewegung hatten Sie Schwierigkeiten?
- 

7. Wie stark waren die Schmerzen bei der Durchführung der Nervenblockade?  
Machen Sie bitte an der Stelle ein Kreuz auf der unten abgebildeten Linie, wo Sie die  
Schmerzen einordnen würden.

Keine Schmerzen \_\_\_\_\_ Unerträgliche Schmerzen

8. Hatten Sie Schmerzen durch die Blutsperrung?

- ja  
 nein

9. Bis wann hat die Nervenblockade angehalten? (Wann war die Kraft wieder normal bzw. das  
Gefühl wieder da?)

Datum \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 200 \_\_\_\_ Uhrzeit \_\_\_\_ : \_\_\_\_ Uhr

10. Empfanden Sie die Kraftlosigkeit des Arms nach der Operation als störend/ unangenehm?

- ja  
 nein  
 weiß nicht

11. Empfanden Sie die Dauer der Betäubung als zu lang?

- ja  
 nein  
 weiß nicht

12. Wann haben Sie das erste Mal nach der Operation Schmerzmittel eingenommen?

Datum \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 200 \_\_\_\_ Uhrzeit \_\_\_\_ : \_\_\_\_ Uhr

13. Warum haben Sie das Schmerzmittel eingenommen?

- prophylaktisch  
 wegen Schmerzen im operierten Arm  
 wegen sonstiger Schmerzen

14. Was und wie viel haben Sie eingenommen?

Medikament	_____	Menge	_____
	_____		_____

15. Hatten Sie schon eine Vollnarkose?

- ja
- nein

16. Wie haben Sie die Vollnarkose vertragen?

- gut
- schlecht, weil: \_\_\_\_\_
- weiß nicht

17. Würden Sie sich im Falle der Notwendigkeit wieder dieser Nervenblockade unterziehen?

- ja
- nein

18. Haben Sie anderweitige Anmerkungen zu der Nervenblockade?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich vor allem Herrn Professor Dr. Dr. h.c. N. Roewer für die freundliche Überlassung des Themas danken und für die Möglichkeit die Untersuchung an der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie durchzuführen. Ebenso danke ich meinem Betreuer, Herrn PD Dr. med. U. Schwemmer, für die geduldige, unkomplizierte und kompetente Art der Hilfestellung bei der Planung und Durchführung des Versuchs sowie für die schnelle Durchsicht des Manuskripts. Auch möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. C. Wunder bedanken, für die spontane Vertretung von Herrn Prof. Dr. Roewer in der mündlichen Prüfung.

Mein Dank gilt ferner allen Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und der Chirurgische Klinik II (Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische und Wiederherstellungschirurgie), die im praktischen Teil dieser Studie mitgewirkt haben und so zum Gelingen beigetragen haben.

Schließlich danke ich sehr herzlich allen Patienten, die sich bereit erklärt haben an dieser Studie teilzunehmen und damit diese Arbeit möglich gemacht haben.