

**ELEKTROMYOGRAPHIE DER  
EXTRINSISCHEN UND INTRINSISCHEN OHRMUSKULATUR  
DES MENSCHEN**

**Dissertation**

**zur Erlangung des akademischen Grades**

doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

von Hanna Rüschemschmidt  
geboren am 13.11.1992 in Münster

## **Gutachter**

1. Prof. Dr. Orlando Guntinas-Lichius, Jena
2. PD Dr. Carsten Klingner, Jena
3. Prof. Dr. Maria Grosheva, Köln

**Tag der öffentlichen Verteidigung:** 1. März 2022

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis .....	III
Zusammenfassung.....	IV
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Die Ohrmuschel.....	1
1.2 Die Ohrmuskulatur.....	2
1.3 Der Nervus facialis.....	3
1.4 Die Fazialisparese .....	4
1.5 Die Grundlagen der Elektromyographie.....	5
1.6 Stand der Forschung zur Funktion der intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskulatur .....	7
<b>2 Ziele der Arbeit.....</b>	<b>12</b>
<b>3 Methodik .....</b>	<b>14</b>
3.1 Anatomische Präparationen des äußeren Ohres.....	14
3.2 Testmessungen zur Erarbeitung des Versuchsprotokolls.....	15
3.3 Das Versuchsprotokoll.....	19
3.3.1 Das Ein-Kanal-EMG.....	19
3.3.1.1 Der Versuchsaufbau des Ein-Kanal-EMGs .....	19
3.3.1.2 Die Positionierung der Elektroden für das Ein-Kanal-EMG ...	20
3.3.1.3 Die Versuchsdurchführung der Ein-Kanal-EMGs .....	24
3.3.2 Das Mehr-Kanal-EMG.....	25
3.3.2.1 Der Versuchsaufbau des Mehr-Kanal-EMGs .....	25
3.3.2.2 Positionierung der Elektroden beim Mehrkanal-EMG .....	26
3.3.2.3 Versuchsdurchführung des Mehrkanal-EMGs .....	28
3.4 Probanden und Patienten .....	29
3.4.1 Das Normkollektiv von 12 Probanden.....	29
3.4.2 Das Patientenkollektiv von 7 Patienten.....	29
3.5 Auswertung.....	30
3.5.1 Auswertung der Präparation .....	30
3.5.2 Die Klassifikation der Amplitudenveränderung des EMGs.....	30
3.5.3 Auswertung der Ein-Kanal- und Mehr-Kanal-EMGs.....	31
3.5.4 Statistik .....	32
<b>4 Ergebnisse.....</b>	<b>34</b>
4.1 Ergebnisse der Präparationen .....	34

4.2	Ergebnisse der Nadel-EMGs .....	37
4.2.1	Ergebnisse der Nadel-EMGs der extrinsischen Ohrmuskulatur ....	39
4.2.2	Ergebnisse der Nadel-EMGs der intrinsischen Ohrmuskulatur der Vorderseite der Ohrmuschel .....	40
4.2.3	Ergebnisse der Nadel-EMGs der intrinsischen Ohrmuskulatur der Rückseite der Ohrmuschel.....	41
4.3	Ergebnisse der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Probanden.....	41
4.4	Ergebnisse der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Patienten .....	47
4.5	Ergebnisse des Mehrkanal-EMGs .....	57
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>64</b>
5.1	Präparation der Ohrmuskulatur in Bezug zur Literaturrecherche .....	64
5.2	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse des Nadel-EMGs mittels Oberflächen-EMG .....	66
5.3	Aussagekraft der Ergebnisse des Mehrkanal-EMGs .....	68
5.4	Aktivitätsmuster bei den Probanden .....	69
5.5	Unterschiede der Aktivitätsmuster der gesunden Seite und der Seite mit Parese bei Patienten mit Fazialisparese .....	71
5.6	Das Untersuchungsprotokoll.....	73
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>81</b>
8.1	Dokumente, Tabellen, Abbildungen.....	81
8.2	Danksagung .....	105
8.3	Ehrenwörtliche Erklärung.....	106

## **Abkürzungsverzeichnis**

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung
EMG	Elektromyographie
Gl.	Glandula
lat.	lateral
Lnn.	Nodi lymphatici
M.	Musculus
Mm.	Musculi
Ncl.	Nucleus
Nr.	Nummer
PAMR	Postauriculärer Reflex (postauricular muscle reflex)
R.	Ramus
Rr.	Rami
Tab.	Tabelle
Pl.	Plexus
V.	Vena
Vv.	Venae

## Zusammenfassung

Die Ohrmuskulatur gehört zu den weniger erforschten Muskelgruppen des menschlichen Körpers. Ihre Anatomie wird nur in wenigen Atlanten detailliert abgebildet. Einige Studien beschäftigten sich bereits mit der Aktivität der extrinsischen Ohrmuskulatur und deren Ableitbarkeit mittels Elektromyographie (EMG). Es liegen aktuell jedoch keine Daten zur Elektromyographie aller intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln vor. Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein Versuchsprotokoll zu erarbeiten, mit dem es möglich ist, alle intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln per EMG abzuleiten. Es sollen Daten an gesunden Probanden und für einen klinischen Ausblick an Patienten mit einseitiger, peripherer, chronischer Fazialisparese mit Synkinesien erhoben werden, um Informationen über die Aktivität der Ohrmuskeln zu erhalten.

In dieser Arbeit wurden anatomische Präparationen an zwei Ohren von menschlichen Körperspendern vorgenommen und fotografisch dokumentiert. Die Ergebnisse dieser Präparationen wurden mit den Abbildungen aus anatomischen Atlanten verglichen. Basierend auf diesen Erkenntnissen konnten geeignete Einstichstellen für Feinnadelelektroden bzw. Klebepunkte für Oberflächenelektroden ermittelt werden. Im Folgenden wurden Nadel-EMGs aller Ohrmuskeln (Auflistung weiter unten) an beiden Ohren eines Probanden durchgeführt und Oberflächen-EMGs aller Ohrmuskeln beider Ohren an zwölf gesunden Probanden und an sieben Patienten durchgeführt. Zudem wurde an einem Probanden ein Mehr-Kanal-Oberflächen-EMG vom M. auricularis posterior, M. auricularis superior, M. tragus, M. risorius und zur Kontrolle an M. temporalis und M. masseter angefertigt. Die Amplitudenzunahme in den EMGs wurden mit einem subjektiven Bewertungsscore analysiert.

Die Ergebnisse der anatomischen Präparationen deckten sich mit den Abbildungen in anatomischen Atlanten. Es konnten an beiden Ohren folgende Muskeln dargestellt werden: M. auricularis superior, M. auricularis posterior, M. tragus, M. antitragicus, M. helicis major, M. transversus auriculae. Der M. auricularis anterior und der M. obliquus auriculae konnten jeweils nur an einem Ohr präpariert werden. Der M. helicis minor war an beiden Ohren nicht aufzufinden.

Der Vergleich des Nadel-EMGs und des Oberflächen-EMGs desselben Probanden zeigte, dass die Ergebnisse des Nadel-EMGs durch ein Oberflächen-EMG reproduzierbar waren.

Durch die Oberflächen-EMGs der Probanden ließen sich für alle Muskeln mimische Bewegungen definieren, bei denen die jeweilige Ohrmuskulatur aktiv wurde. So zeigten sich bei allen Ohrmuskeln der Probanden größere Potentialzunahmen des EMG-Signals ausschließlich beim Lächeln. Beim Mundspitzen waren größere Potenzialzunahmen an allen Muskeln feststellbar. Beim Naserümpfen waren größere Potenzialzunahmen dagegen an allen Muskeln selten zu dokumentieren. Beim Hochziehen der Stirn zeigten sich vor allem an der extrinsischen Ohrmuskulatur, dem M. helicis major und dem M. obliquus auriculae eine größere EMG-Aktivierung. Der M. helicis major war der einzige Muskel, bei dem größere Potenzialzunahmen des EMG-Signals beim Zusammenziehen der Augenbrauen messbar waren. Bei lateralen Augenbewegungen in ipsilateraler und kontralateraler Auslenkung konnten größere Potentialzunahmen des EMG-Signals am M. transversus auriculae und M. obliquus auriculae festgestellt werden.

Der Vergleich der Ergebnisse der paretischen Seite und der gesunden Seite der Patienten mit chronischer Fazialisparese zeigte, dass an der paretischen Seite bei allen mimischen Bewegungen aller Patienten deutlich häufiger größere Potenzialzunahmen des EMG-Signals gemessen werden konnten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die vorliegende Arbeit gezeigt wurde, dass die anatomische Präparation von zwei Ohren die Abbildungen in der Literatur bestätigen können. Zudem sind Oberflächen-EMGs der intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskulatur möglich. Mimische Bewegungen, bei denen die Ohrmuskulatur aktiv ist, können identifiziert werden. Des Weiteren lassen sich erste Unterschiede zwischen den EMGs der gesunden Seite und der paretischen Seite bei Patienten mit chronischer Fazialisparese und Synkinesien feststellen.

# 1 Einleitung

## 1.1 Die Ohrmuschel

Die menschliche Ohrmuschel besteht hauptsächlich aus elastischem Knorpel, Perichondrium und Haut und ist durch Bindegewebe am Periost des Os temporale im Bereich des Processus mastoideus befestigt. Das äußere Ohr hat eine Breite von circa 50 bis 60% der Höhe und ist ungefähr 6,5 bis 7,5 cm dorsal des lateralen Orbitarandes positioniert. Die Ohrmuschel protudiert circa 1,5 bis 2,0 cm vom Kopf und setzt sich aus fünf anatomischen Hauptelementen zusammen: der Concha, der Helix, der Antihelix, dem Tragus und dem Lobulus. Zusätzlich können untergeordnete Strukturen wie zum Beispiel der Antitragus, die intertragiale Einbuchtung oder das Darwinsche Tuberculum vorliegen (Tolleth 1978). Die Concha auriculae führt über das Cavum conchae zum äußeren Gehörgang, dessen Eingang durch den Tragus überlappt wird. Der Lobulus auriculae (das Ohr läppchen) bezeichnet den weichen Teil der unteren Ohrmuschel, welcher nicht knorpelig ist (Lippert 2013). In Abbildung (Abb.) 1 ist das knorpelige, äußere Ohr dargestellt.

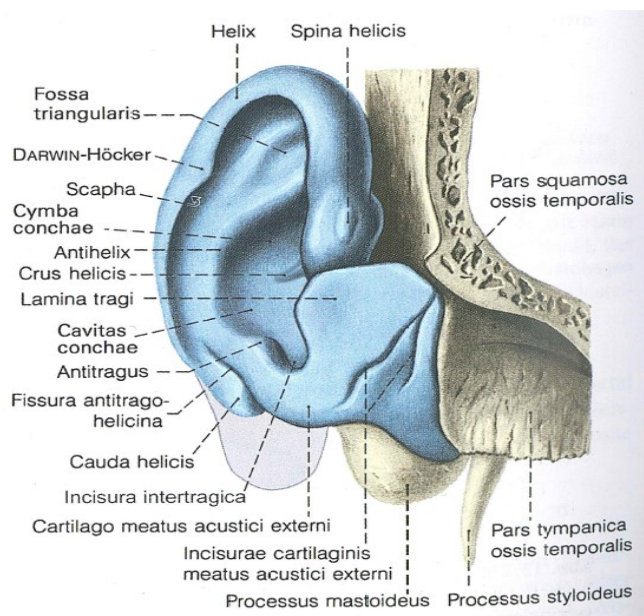


Abbildung 1: Illustration des knorpeligen Ohrs (Benninghoff und Drenckhahn 2003)



Die sensible Innervation des äußeren Ohres erfolgt über drei Nervenäste: den Nervus (N.) auricularis magnus, den Ramus (R.) auricularis nervi vagi sowie den N. auriculotemporalis (Peuker und Filler 2002).

Die Ohrmuschel wird durch die Arteriae (Aa.) auricularis anteriores und durch den R. auricularis der Arteria (A.) auricularis posterior mit Blut versorgt. Der Blutabfluss erfolgt durch die gleichnamigen Venen und die Venae (Vv.) temporalis superficialis. Die Nodi lymphatici (Lnn.) retroauricularis und die Lnn. parotidei realisieren den Lymphabfluss der Ohrmuschel (Graumann und Sasse 2005).

## **1.2 Die Ohrmuskulatur**

Die Muskulatur der äußeren Ohren setzt sich insgesamt aus neun Muskeln zusammen. Auf der Vorderseite der Ohrmuschel befinden sich vier intrinsische Muskeln: Musculus (M.) helicis major, M. helicis minor, M. tragicus, M. antitragicus; auf der Rückseite zwei: M. obliquus auriculae und M. transversus auriculae. Die drei extrinsischen Muskeln ziehen vom äußeren Ohr zum Schädel: M. auricularis anterior, M. auricularis superior und M. auricularis posterior (Paulsen und Waschke 2011).

Der M. tragicus entspringt dem Cartilago auriculae und setzt an der Lamina tragi an. Den Ursprung des M. antitragicus bildet die Fissura antitragicohelicana der Antihelix und der Ansatz wird durch die Lamina antitragici formiert. Der M. helicis major entspringt am Cartilago auriculae und setzt an der Spina helicis an. Der Ursprung des M. helicis minor liegt ebenfalls auf dem Cartilago auriculae und der Ansatz liegt auf der Crus helicis. Der M. obliquus auricularis entspringt an der Eminentia fossa triangularis und setzt an der Eminentia concha an. Der Ursprung des M. transversus auricularis befindet sich an der Eminentia fossa scapha und als Ansatz dient ebenfalls der Eminentia concha.

Der M. auricularis anterior entspringt der Fascia temporalis der Galea aponeuratica. Er setzt an der Spina helicis der Ohrmuschel an. Der Ursprung des M. auricularis superior liegt ebenfalls an der Galea aponeurotica. Der Ansatz befindet sich an der dorsalen Fläche der Ohrmuschel im Bereich der Eminentia scaphae und der Eminentia fossa triangularis. Der M. auricularis posterior hat seinen Ursprung am Processus mastoideus an der Linea nuchae superior. Der

Ansatz befindet sich an der Eminentia concha der Ohrmuschel (Zilles und Tillmann 2011). Die Ohrmuskeln der Ohrvorderseite sind in Abb. 2 dargestellt. Die Muskulatur, die sich auf der Rückseite des Ohres befindet, ist in Abb. 3 zu sehen.

Die Funktion der drei extrinsischen Ohrmuskeln besteht im Bewegen der Ohrmuschel in Richtung des jeweiligen Faserverlaufs des Muskels. Die Funktion der intrinsischen Ohrmuskulatur ist wenig erforscht, jedoch wird davon ausgegangen, dass sie im Wesentlichen aus der Formgebung der Ohrmuschel und Verengung des Meatus acusticus externus besteht (Moneta 2017).

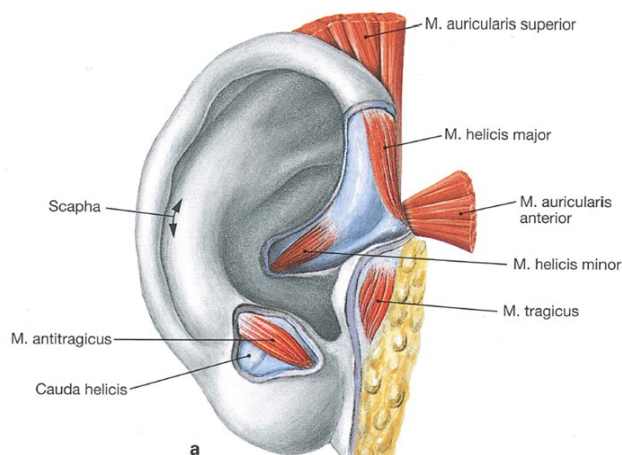


Abbildung 2: Ventrale Ansicht Ohrmuskulatur (Paulsen und Waschke 2010)

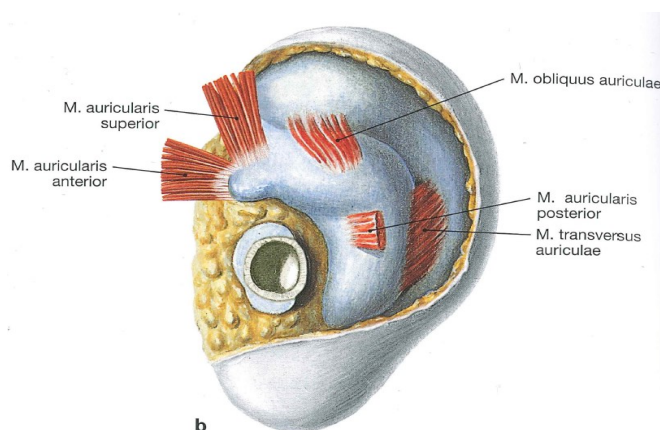


Abbildung 3: Dorsale Ansicht Ohrmuskulatur (Paulsen und Waschke 2010)

### 1.3 Der Nervus facialis

Der Nervus facialis ist der siebte der zwölf Hirnnerven und seine Hauptfunktion besteht in der Innervation der mimischen Muskulatur. Außerdem dient er der

Versorgung der vorderen 2/3 der Zunge mit viszeroafferenten Schmeckfasern und der Innervation der Glandula (Gl.) lacrimalis, Gl. submentalis und Gl. sublingualis mit viszeroeffferenten parasymphatischen Fasern. Die Versorgung der mimischen Muskulatur mit speziell viszeroeffferenten Fasern erfolgt durch den Nucleus (Ncl.) nervi facialis. Dieser befindet sich seitlich im Pons. Diese Fasern ziehen um den Ncl. nervi aducentis und bilden dort das innere Facialisknie. Angelagert an den N. facialis sind somatoafferente Fasern des N. trigeminus, welche Teile der Ohrmuschel sensibel versorgen. Die Fasern ziehen durch den Porus acusticus internus in das Felsenbein. Dort geht der N. stapedius zur Innervation des M. stapedius ab. Nach dem Austritt aus dem Foramen stylomastoideum gehen der R. digastricus, R. stylohyoidius und der N. auricularis posterior ab. Der N. auricularis posterior versorgt die Ohrmuschel mit speziell viszeroeffferenten Fasern. Außerdem bildet sich der Plexus (Pl.) intraparotideus (Rr. temporales, Rr. zygomatici, Rr. buccales, R. marginalis mandibulae, R. colli). Dieser versorgt die übrige mimische Muskulatur. Der M. auricularis anterior und der vordere Teil des M. auricularis superior werden durch die R. temporales speziell viszeroeffferent versorgt (Aumüller 2010). Der Verlauf und die abgehenden Nervenäste des N. facialis sind in Abb. 4 schematisch dargestellt.

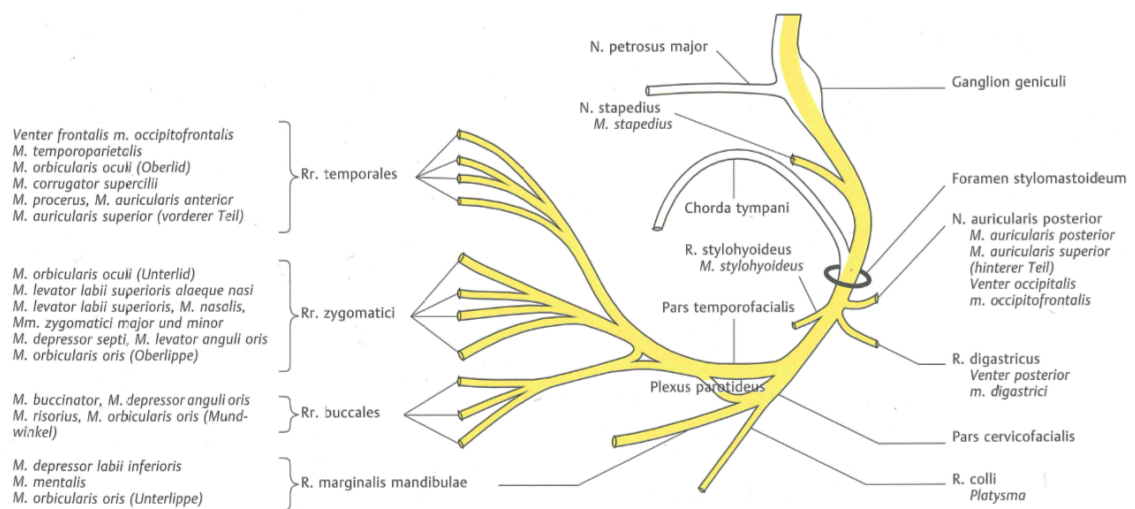


Abbildung 4: Schematische Darstellung des N. facialis mit Zielmuskeln (Tilman 1997)

## 1.4 Die Fazialisparese

Die Fazialisparese führt zu einer Lähmung der mimischen Muskulatur und beeinträchtigt Betroffene ästhetisch und funktionell. Erkrankte leiden unter einer Asymmetrie des Gesichtes, reduzierter emotionaler Ausdrucksfähigkeit,

insuffizientem Lidschluss und/oder Schwierigkeiten bei der Nahrungsaufnahme (Dobel et al. 2013).

Es erfolgt eine Unterteilung der Fazialisparesen nach Läsionsort. So liegt eine zentrale, supranukleäre Parese bei einer Schädigung kortikobulbärer Fasern oder bei einer Läsion eines Areals im Motorkortex vor. Symptomatisch äußert sich dies in einer Lähmung der unteren Gesichtshälfte. Die Stirn kann bei der zentralen Schädigung noch bewegt werden und der Lidschluss ist möglich, da die Stirnmuskulatur bihemisphärisch im Motorkortex repräsentiert wird (Poeck und Hacke 2006).

Bei einer peripheren Fazialisparese befindet sich die Läsion weiter distal der Zusammenführung der Fasern beider Hemisphären. Klinisch liegt eine vollständige Lähmung einer Gesichtshälfte vor. Zudem kann es bei einer Schädigung des N. facialis während seines Verlaufes im Felsenbein zur Beeinträchtigung des Schmecksinnes und einer Verminderung der Tränen- und Nasensekretion kommen (Trepel 2008).

Bei einer chronischen Fazialisparese kann eine spontane Regeneration ausbleiben, da das Ausmaß der Schädigung zu groß ist. Alternativ kann es zur sogenannten Defektheilung kommen. Dabei kommt es zu einer spontanen Regeneration mit unzureichender funktioneller Wiederherstellung (Finkensieper et al. 2012).

Bei der Defektheilung können Synkinesien eintreten. Diese manifestieren sich als unbeabsichtigte Bewegungen in einem Bereich des Gesichtes als Resultat einer beabsichtigten mimischen Bewegung in einem anderen Bereich (Crumley 1979). Betroffene sind durch die Synkinesien und die Einschränkung der Bewegung der mimischen Muskulatur psychosozial, kommunikativ und emotional eingeschränkt (Volk et al. 2021).

## **1.5 Die Grundlagen der Elektromyographie**

Unter Elektromyographie (EMG) versteht man die Untersuchung der Muskelaktivität durch Ableitung des vom Muskel ausgehenden, sich verändernden elektrischen Potenzials (Basmajian und De Luca 1985). Mittels eines Nadel-EMGs können die elektrischen Signale einer individuellen

Muskelfaser oder einer motorischen Einheit aufgezeichnet werden. Dabei wird eine Nadel in den zu untersuchenden Muskel inseriert, das Signal aufgezeichnet und verarbeitet. Dadurch können die elektrischen Signale während der Ruhephase und während einer Kontraktion untersucht werden (Rubin 2019). Aufgrund der intramuskulären Position der Elektrode kann die elektrische Spannung nah an den aktiven Muskelfasern gemessen werden (Adrian und Bronk 1928). In der Regel werden konzentrische Nadel-Elektroden verwendet, welche nach der Untersuchung des Patienten/Probanden verworfen werden (Bischoff et al. 2005). Sie bestehen aus einer Hohlneedle, die im Inneren einen isolierten Draht besitzt und haben eine abgeschrägte Spitze mit einer ovalen Messfläche von  $125\ \mu\text{m} \times 580\ \mu\text{m}$  (Merletti und Farina 2009). Bei dieser Art der Elektrode wird das Potenzial am inneren Draht der Nadel mit Referenz zum Schaft gemessen. So kann ein halbsphärischer Aufnahmebereich mit einem Radius von ca. 0,5 bis 1,5 mm abgedeckt werden (Merletti und Farina 2009). Der Einstich erfolgt bei flachen Muskeln in spitzem Winkel, etwas quer zum Muskelverlauf (Stöhr und Pfister 2014). Intramuskuläre EMGs sind in der Regel Mittel der Wahl bei physiologischen Untersuchungen der motorischen Einheit. Im klinischen Alltag finden sie eher seltener Verwendung. Jedoch greift man bei der Diagnostik von Myopathien bei Erkrankungen der Alpha( $\alpha$ )-Motoneuronen oder der neuromuskulären Synapse zu Nadel-EMGs (Merletti und Farina 2009).

Beim Oberflächen-EMG wird das Summenaktionspotenzial an der Hautoberfläche mittels einer geeigneten Elektrode erfasst. Dabei ist es wichtig die Haut durch Reinigung, Peeling und wenn möglich einer Rasur vorzubereiten. Die dabei verwendeten Oberflächenelektroden bestehen in der Regel aus Silber-Silberchlorid und messen die elektrischen Potenzialveränderungen auf der Haut über dem Muskel (Merletti et al. 2009). Die einfachste Form des Oberflächen-EMGs ist die monopolare Ableitung mit einer Elektrode auf der Haut über dem abzuleitenden Muskel und einer Referenzelektrode. Diese befindet sich üblicherweise an einer weit entfernten Hautstelle, die Knochen bedeckt. Bei der bipolaren Ableitungsform befinden sich beide Elektroden auf dem abzuleitenden Muskel. Durch eine Ableitung mittels Oberflächenelektroden ist wohlmöglich eine präzisere Aussage über die tatsächliche Muskelaktivität zu treffen, da mehr motorische Einheiten durch eine Elektrode abgeleitet werden als bei einem invasiven Messverfahren. Die Messtiefe der verwendeten Elektroden liegt

effektiv bei 1-2 cm. (Merletti et al. 2009). Die Messung wird durch die Dicke der Haut und der subkutanen Fettschicht beeinflusst (Nordander et al. 2003).

Sowohl Feinnadel-EMGs als auch Oberflächen-EMGs der mimischen Muskulatur werden zur Diagnostik bei Fazialispareesen eingesetzt. So werden bei Patienten mit einer Schädigung des N. facialis Nadel-EMGs im Zeitraum von 2-3 Wochen bis 3 Monate nach initialem Auftreten der Parese angefertigt, um das Ausmaß der Nervenschädigung zu bestimmen und Regenerationsverläufe zu dokumentieren. Mit Hilfe von Oberflächen-EMGs können im weiteren Verlauf Informationen zur Muskelfunktion über einen längeren Zeitraum aufgezeichnet werden. Zudem werden inter-muskuläre Koordination und komplexere Bewegungsabläufe der mimischen Muskulatur evaluiert. Das Oberflächen-EMG wird zur Behandlungs- oder Operationsplanung eingesetzt (Guntinas-Lichius et al. 2020).

## **1.6 Stand der Forschung zur Funktion der intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskulatur**

Der postauriculäre Reflex (PAMR) wurde bereits 1963 beschrieben. So konnte bei wachen Probanden durch Klick-Geräusche eine Veränderung des elektrischen Potenzials des M. auricularis posterior ausgelöst werden (Kiang et al. 1963). Bei weiterführenden Untersuchungen trugen die Probanden eine Schlinge aus Kunststoff um den Kopf, an der Gewichte zur Druckapplikation auf Stirn oder Hinterkopf befestigt werden konnten. Das Ausmaß des PAMR wurde durch Druck im Bereich der Stirn reduziert. Eine Verstärkung der Reflexantwort konnte durch Druck auf den Hinterkopf herbeigeführt werden. Bei Injektion des Acetylcholinantagonisten Curare in den M. auricularis posterior blieb die Reflexantwort aus (Bickfort et al. 1964). Der somomotorische Reflexbogen besteht aus der Cochlea, dem N. cochlearis und dem Ncl. nervi cochlearis als Afferenz einer Bahn im Hirnstamm und als Efferenz der Ncl. nervi facialis (dem motorischen Ursprungskern des N. facialis) mit dessen motorischen Fasern im N. facialis schließlich zum M. auricularis posterior. Bei Schädigungen des N. facialis distal des Foramen stylomastoideum kann trotzdem beidseits der PAMR ausgelöst werden. (Bochenek und Bochenek 1976).

Der PAMR wird durch akustische Reize ausgelöst und ist durch visuelle Reize modulierbar. So zeigten Untersuchungen bei denen zusätzlich zu einem akustischen Reiz Bilder gezeigt wurden, dass bei positiv assoziierten Bildern der PAMR deutlich größer ausfiel als bei negativ assoziierten Bildern (Benning et al. 2004). In weiterführenden Studien ließ sich feststellen, dass der PAMR am größten war, wenn während der akustischen und visuellen Stimulation durch positiv assoziierte Bilder zusätzlich der Mund gespitzt wurde (Johnson et al. 2012).

Beim Menschen konnte in einer elektromyographischen Studie eine deutliche Aktivierung der drei extrinsischen Ohrmuskeln nachgewiesen werden. So agiert die extrinsische Muskulatur als Gruppe. Berzin und Fortinguerra beobachteten, dass die drei extrinsischen Ohrmuskeln zeitgleich kontrahieren. Der Zug des M. auricularis posterior ist größer als der Zug des M. auricularis anterior. Da die Kraft, die nach anterior gerichtet ist, kleiner ist als die Kraft, die nach posterior gerichtet ist, entsteht eine Bewegung der Ohrmuschel nach kraniodorsal. Die höchste elektrische Aktivität konnte beim natürlichen Lächeln und Gähnen beobachtet werden. Mundöffnung ohne Rückziehen der Comissura labiarum und Verschieben der Galea aponeurotica führte ebenfalls zu elektrischer Aktivität der extrinsischen Muskulatur, jedoch mit geringerer Intensität und nur bei 50% der Probanden. Eine ausschließlich willkürliche Ansteuerung der aurikulären Muskulatur ohne zeitgleiche Aktivierung der mimischen Muskulatur ließ sich bei keinem Probanden ableiten (Berzin und Fortinguerra 1993).

Der Oculo-auricular-Reflex beschreibt eine durch horizontale Augenbewegungen ausgelöste Kontraktion des M. retraoauricularis (M. transversus auriculae) (Heuser 1976). Diese Muskelkontraktion wurde durch Heuser per Nadel-EMG des M. transversus auriculae nachgewiesen; visuell kann möglicherweise eine Verdrehung der Ohrmuschel in sich zu beobachten sein. Der Reflex wird durch eine Kontraktion des M. rectus externus der Augenmuskulatur ausgelöst. Bei Patienten mit peripherer, homolateraler Fazialisparese bleibt die Reflexantwort aus (Heuser 1976). Schmidt und Thoden beobachteten neben der Koaktivierung des M. transversus auriculae beim Seitwärtsblick gelegentlich eine EMG-Aktivität des M. Transversus auriculae beim Kauen, Husten und Schlucken (Schmidt und Thoden 1978).

Im Jahr 2016 konnte an einer Gruppe von zehn gesunden Probanden und zwei Probanden mit Lähmung aller vier Gliedmaßen nachgewiesen werden, dass die Aktivierung des M. auricularis posterior lernbar ist. Initial konnten nur fünf Probanden eine willkürliche Kontraktion des M. auricularis posterior durchführen. Die Probanden übten die willkürliche Ansteuerung mithilfe eines softwarebasierten Trainings. Zunächst wurde die Kontraktionsstärke der Mm. auriculares posteriores durch Balken auf einem Computerbildschirm angezeigt, die je nach Kontraktion ihre Größe veränderten. Dann konnten die Probanden mithilfe von Computerspielen, bei denen die Steuerung durch die Mm. auriculares posteriores erfolgte (Tetris, Autorennen, Hindernislauf), die Steuerung weiter präzisieren. Das Training erfolgte für vier Tage und dauerte eine Stunde täglich. Am fünften Tag konnten alle Probanden willkürliche Kontraktionen mit dem M. auricularis posterior durchführen. Die Probanden waren in der Lage mittels dieser Willkürkontraktionen einen elektrischen Rollstuhl durch einen Hindernissparcour zu manövrieren (Schmalfuss et al. 2016). Eine darauffolgende Studie zeigte, dass es den Probanden mithilfe der bei der bewussten Aktivierung der extrinsischen Ohrmuskulatur entstehenden elektrischen Signale möglich war, eine Handprothese präziser zu steuern. Die Probanden konnten unter Zuhilfenahme der Ohrsteuerung eine Handdrehung, und -öffnung beziehungsweise -schließung vollziehen. Eine Rotation der Prothese ist ohne die Signale der Ohrmuskulatur nicht simultan mit der Öffnung/Schließung der Prothese möglich (Schmalfuss et al. 2018).

Meincke et al. konnten durch transkranielle magnetische Stimulation die Lokalisation der kortikalen Repräsentation des M. auricularis superior bestimmen. Diese befindet sich im präzentralen Gyrus. Die Beteiligung des primären Motorkortex an der Aktivierung des M. auricularis posterior ist ein weiteres Indiz für die intentionelle und gezielte Aktivierung des M. auricularis posterior (Meincke et al. 2018).

Die Funktion und Aktivität der intrinsischen Ohrmuskulatur ist deutlich weniger erforscht als die der extrinsischen Ohrmuskulatur. Systematische EMG-Untersuchungen an der intrinsischen Muskulatur gibt es bislang nicht. Studien zeigen, dass die intrinsische Muskulatur an der Ausformung der korrekten Form des Ohrknorpels beteiligt ist. Präparationen an Ohren von zehn Föten zeigten, dass das Vorhandensein des M. transversus auriculae und des M. obliquus



auriculae in direktem Zusammenhang mit der korrekten Faltung der Antihelix stehen (Zerin et al. 1982). In Abb. 5 werden die Erkenntnisse der Präparationen grafisch dargestellt.

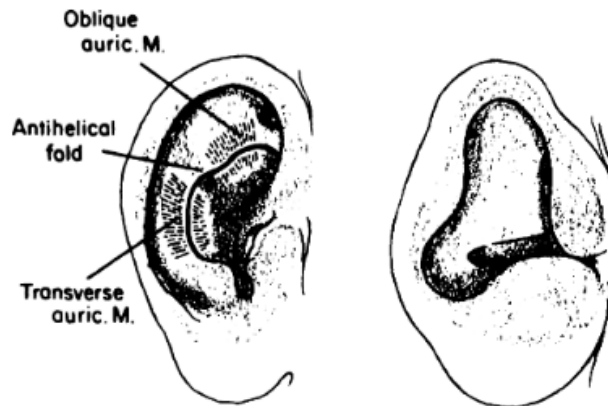


Abbildung 5: Skizze eines normalen Ohres mit M. obliquus auriculae und M. transversus auriculae und eines Ohres ohne die Muskulatur von dorsal. Die gestrichelten Areale sollen den knorpeligen Anteil der Ohrmuschel kennzeichnen (Zerin et al. 1982)

Im Jahr 1987 wurde durch japanische Forscher eine Fallstudie veröffentlicht, bei der ein 5-jähriges Mädchen den M. tragicus und den M. antitragicus beim Blinzeln co-aktivierte. So veränderte sich die Form des Tragus von konkav zu konvex und die des Antitragicus von ptotisch zu erhaben, was zu einer Verengung des externen Gehörgangs führte. (Matzuo et al. 1987). Diese Fallstudie beschreibt das Phänomen der unwillkürlichen Aktivierung der Ohrmuskulatur bei einer willkürlichen Aktivierung der mimischen Muskulatur und bestätigt die Vermutung der Funktion des M. antitragicus und des M. tragicus (vgl. Moneta 2017).

Bisher wurden lediglich Studien zur Elektromyographie am M. auricularis superior, M. auricularis superior und M. auricularis posterior (Berzin und Fortinguerra 1993), sowie am M. transversus auriculae veröffentlicht (Heuser 1976, Schmidt und Thoden 1978). Der PAMR und dessen Modulation ist gut erforscht (Kiang et al. 1963, Bickfort et al. 1964, Bochenek und Bochenek 1976, Benning et al. 2004, Johnson et al. 2012). Jedoch gibt es keine Studie, die EMG-Messungen aller intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln an gesunden Probanden beschreibt.

Von Patienten mit Fazialisparese liegen Fallbeispiele vor, die nahe legen, dass der Verlust der Fähigkeit mit den Ohren zu wackeln ein Indiz für eine Beteiligung der Ohrmuskeln bei einer Fazialisparese sein kann (Cho und Kim 2009) und dass

sich oculo-auriculäre Synkinesien postparetisch entwickeln können (Hobson und Borys 2020).

Laut Serra ist der PAMR oftmals die erste detektierbare EMG-Aktivität nach einer Fazialisparese (Serra et al. 1986). Der PAMR kann bereits zwei Tage nach Onset der Parese zum Staging des Defektes genutzt werden (Parmigiani und Buratti 1998). Nach peripherer Fazialisparese können Veränderungen der Latenzzeit und Zunahmen der Häufigkeit des PAMR im zeitlichen Verlauf beobachtet werden. In den ersten sechs Monaten nach Onset der Parese konnte bei 38,5% der Probanden mit peripherer Fazialisparese ein PAMR mittels EMG-Messungen festgestellt werden. In der Vergleichsgruppe lag die periphere Fazialisparese mehr als sechs Monate zurück. Hier wurde bei 60.9% der Patienten mit chronischer Fazialisparese ein PAMR aufgezeichnet (Gündüz et al. 2013).

Überlegungen von Liugan et al suggerieren, dass mithilfe von bilateralen Aufzeichnung des PAMR der Ort einer Hirnstammläsion bei intrakranieller Fazialisparese detektiert werden könnte (Liugan et al. 2018).

Von Patienten mit Fazialisparese liegen aktuell keine Studien zu EMG-Messungen aller Ohrmuskeln vor.

## **2 Ziele der Arbeit**

Die Ohrmuskulatur ist Teil der mimischen Muskulatur, wird in der Literatur jedoch nur wenig beschrieben. Ihre Form und Innervation durch den N. facialis ist bekannt, jedoch liegen zum aktuellen Zeitpunkt lediglich für einige Muskeln Informationen über ihre Funktion und Aktivitätsmuster vor.

Anliegen des ersten Teils der Arbeit war es, einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu geben. Anschließend sollten basierend auf der Literaturrecherche und den Ergebnissen von anatomischen Präparationen ein gut durchführbares und effizientes Versuchsprotokoll entwickelt werden, mit welchem EMGs aller Ohrmuskeln durchgeführt werden können. Die Auswertung der generierten Daten sollte lediglich unter qualitativen Gesichtspunkten erfolgen, da in der vorliegenden Arbeit zunächst überprüft werden sollte, ob und wie EMGs aller intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln durchzuführen sind. Im Verlauf der Erhebung wurden EMGs an gesunden Probanden und an Patienten mit einseitiger, chronischer Fazialisparese durchgeführt, um Aktivitätsmuster aller Ohrmuskeln zu beschreiben. Die EMGs der gesunden und der paretischen Seite bei Patienten mit Fazialisparese wurden verglichen, um eventuelle Unterschiede zwischen den Aktivitäten der paretischen und gesunden Seite zu detektieren.

Die durch die vorliegende Arbeit gewonnenen Informationen sollten die Grundlage für weiterführende Arbeiten mit quantitativer Auswertung der EMG-Muster der Ohrmuskulatur erlauben. Aktuell werden bereits Implantate, mit denen durch Kontraktion der externen Ohrmuskeln die Steuerung von Handbewegungen möglich sind, hergestellt.

Aktuell wird basierend auf den hier vorliegenden Messungen und Untersuchungen eine Methode des Biofeedback Trainings für Patienten mit chronischer Fazialisparese erarbeitet. Dabei wird untersucht, inwiefern die durch Oberflächen-EMG messbare Aktivität der Ohrmuskulatur zur Evaluation des Trainingsverlaufes der Patienten genutzt werden kann (Hoche, noch nicht veröffentlichte Dissertation).

Folgende Hypothesen werden in dieser Arbeit untersucht:

Die anatomische Literatur kann durch anatomische Präparationen von Ohrmuskeln bestätigt werden.

Oberflächen-EMGs sind an allen intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln durchführbar.

Aktivitätsmuster aller intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln können anhand von Oberflächen-EMGs bestimmt werden.

Unterschiede zwischen den EMGs der gesunden und paretischen Seite bei Patienten mit chronischer Fazialisparese können anhand von Oberflächen-EMGs detektiert und ausgewertet werden.

### **3 Methodik**

Bei der hier vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine experimentelle, invasive Arbeit. Die Studie wurde mit dem Ethikvotum Reg.-Nr.: 2018-1103-BO vor der Ethikkommission des Universitätsklinikums Jena genehmigt. Teile der Untersuchungen wurden im Rahmen eines Kooperationsvertrags der HNO-Klinik des Universitätsklinikums Jena mit der Firma MED-EL (Innsbruck, Österreich) finanziert.

#### **3.1 Anatomische Präparationen des äußeren Ohres**

Die anatomischen Präparationen erfolgten an zwei Hemifaces von Körperspendern, die durch die Rechtsmedizin des Uniklinikums Hamburg-Eppendorf zur Verfügung gestellt wurden. Die spezielle Fixationsmethode ist im Patentiervorgang (Mitarbeiterpatentnummer 10177, Herr Thomas Lindenau, Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf), und kann daher hier nicht genannt werden. Diese Fixation soll einer möglichst natürlichen Gewebeerhaltung dienen.

Zunächst wurden die Cutis und Subcutis prä-, supra- und postaurikulär abpräpariert. Dabei wurde mithilfe einer bauchigen Klinge und einer anatomischen Pinzette ein Hautschnitt circa 2 cm ventral des dorsalen Tragusrandes angelegt. Das Skalpell wurde parallel zu den zu präparierenden Strukturen geführt und der entstandene Hautzipfel konnte so kleinschrittig abgelöst und die intrinsische sowie extrinsische Ohrmuskulatur dargestellt werden. Das Ablösen der Kopfschwarte erfolgte im Verlauf von ventral nach dorsal um die knorpelige Ohrmuschel herum im Verlauf eines Halbkreises. Auf die Darstellung von Blutgefäßen wurde keine Rücksicht genommen, da diese für die Positionierung der Elektroden im weiteren Verlauf keine größere Bedeutung hatten. Die Mm. auriculares gehören zur mimischen Muskulatur und waren somit nicht von einer Faszie bedeckt. So konnten nach Abtragung des subkutanen Fettgewebes die drei extrinsischen Ohrmuskeln dargestellt werden

Anschließend wurde das Ohr in seine physiologische Position zurückgeführt und die Präparation der ventralen Seite der Ohrmuschel vorgenommen. Ausgehend vom ventralen Tragusansatz wurde die Cutis vom Knorpel abpräpariert und der

knorpelige Tragus dargestellt. Zur weiteren Präparation des M. tragicus erfolgte eine Schlitzung des Knorpels am dorsalen Hinterrand des Tragus, sodass der Knorpel aufgeklappt werden konnte. Die Freilegung der Ohrmuschel und der darauf befindlichen Muskeln musste besonders vorsichtig und in kleinen Schritten erfolgen, da die Haut derb mit dem Perichondrium verbunden ist und die darzustellenden Strukturen sehr klein sind. So erfolgte eine Darstellung der Mm. helices major et minor an der Crus helices. Dem Verlauf der Helix folgend wurde die Haut bis zum Ohrläppchen abgelöst und der M. antitragicus frei präpariert. Auch hier wurde der knorpelige Antitragicus an der kranialen Kante geschlitzt, um den Muskelverlauf darzustellen. Das aus Fett und Haut bestehende Ohrläppchen wurde von der knorpeligen Ohrmuschel abgelöst.

Dann erfolgte ein Wechsel auf die dorsale Seite der Ohrmuschel. Zur Erleichterung der Präparation wurde die Ohrmuschel vorsichtig nach ventral umgeschlagen. Auf der Ohrrückseite befinden sich der M. transversus auriculae und der M. obliquus auriculae, welche durch Abtragung der Cartilagine darzustellen waren. Dabei folgte man bei der Präparation dem Verlauf der Antihelix, welche sich auf der Rückseite der Ohrmuschel abzeichnet.

### **3.2 Testmessungen zur Erarbeitung des Versuchsprotokolls**

Die Testmessungen für die Feinnadel-EMGs erfolgten an gesunden Probanden und Patienten des Fazialis-Nerv-Zentrum der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena. Die Testmessungen an Patienten fanden unter Aufsicht von PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk im Rahmen der EMG-Sprechstunde statt. Es wurden Feinnadel-EMGs der Mm. auriculares posteriores bei vier Patienten durchgeführt. Oberflächen-EMGs einiger extrinsischen und intrinsischen Muskeln konnten bei 7 Probanden durchgeführt werden.

Zu Beginn der Studie wurde zunächst evaluiert welche Informationen über Aktivität und Ableitbarkeit der intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskulatur vorlagen. Es wurden anatomische Fachbücher und Atlanten gesichtet, außerdem erfolgte eine Online-Recherche mithilfe von Wissenschaftsplattformen (PubMed, Web of Science). Dabei wurden folgende Suchwörter eingegeben: auricular muscle(s), PAMR, anatomy ear, post auricular muscle, intrinsic auricular muscles,

extrinsic auricular muscles. Die Ergebnisse der Literaturrecherche finden sich in der Einleitung unter: 1.1 Die Ohrmuschel, 1.2 Die Ohrmuskulatur und 1.6 Der aktuelle Stand der Forschung zur Funktion der intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskulatur. Zum besseren Verständnis für die dreidimensionale Anatomie der Ohrmuschel und der sich darauf befindenden Muskulatur wurden verschiedene Atlanten herangezogen (Benninghoff und Drenckhahn 2004, Lippert 2013, Paulsen und Waschke 2011, Pernkopf und Pichler 1937, Rauber und Kopsch 1941). Basierend auf der Literaturrecherche und der Präparation von zwei menschlichen Ohren konnten geeignete Klebepunkte und Einstichorte für Klebe- und Nadelelektroden identifiziert werden (siehe Ergebnisteil 4.1 Ergebnisse der Präparation). Im Anschluss wurde die Position, in der sich der Proband während der EMG-Messung befinden soll, mit dem Ziel einer möglichst entspannten und ruhigen Lagerung, festgelegt. Es erfolgten einige Testmessungen zunächst im Sitzen auf einem Untersuchungsstuhl. Die Probanden waren im Sitzen jedoch nicht entspannt genug, die Messungen wurden durch Kopfbewegungen beeinträchtigt. Daher entschied man sich für die liegende Position, bei der die Probanden ihren Kopf auf einer Nackenrolle ablegen konnten. In Abb. 6 ist eine Probandin bei der Testmessung des M. auricularis anterior und des M. auricularis posterior dargestellt. Die Kabel der Elektroden wurden mit einem Fixierpflaster (Hansaplast sensitiv Fixierpflaster, 1,25 cm breit, Firma Beiersdorf AG, Hamburg, Deutschland) abgeklebt, um Zug an den Elektroden zu verhindern. Zusätzlich wurde parallel der M. temporalis abgeleitet, um die Potenzialveränderungen beider Muskeln zu vergleichen und um auszuschließen, dass die Potenzialveränderungen der umliegenden Kaumuskulatur und mimischen Muskulatur die Ableitung der Ohrmuskulatur beeinträchtigen. Mithilfe von ersten Testmessungen wurden Oberflächenelektroden ausgewählt, welche eine gute Oberflächenhaftung bei möglichst geringer Größe der gelgetränkten Kontaktfläche vorweisen sollten und leicht zu beschaffen waren.



Abbildung 6: Testmessung des M. auricularis anterior, M. auricularis posterior und M. temporalis

Für die Ableitung der Oberflächen-EMGs wurden Elektroden von Ambu Neuroline 720 Neurology Surface Electrodes 72015-K/10 (Firma Ambu, Ballerup, Dänemark Abbildung 7) ausgewählt. Die bereits durch den Hersteller gelgetränkte, zirkuläre Kontaktfläche dieser Elektroden hat einen Durchmesser von 11 mm. Die Klebefläche hat die Abmessung 29 mm x 21 mm bei ovaler Formgestaltung.



Abbildung 7: Oberflächenelektrode Ambu Neuroline 720

Außerdem wurde die Neuroline Concentric Nadel (50x0,45 mm) (Firma Ambu, Ballerup, Dänemark) verwendet (Abb. 8), die einen sehr dünnen Durchmesser aufweist, wodurch sich der Einstichschmerz reduzieren lässt. Diese



Nadelelektrode wird von den behandelnden Ärzten des Fazialis-Nerv-Zentrums des Uniklinikums Jena ebenfalls für EMG-Messungen der mimischen Muskulatur in der klinischen Routine verwendet.

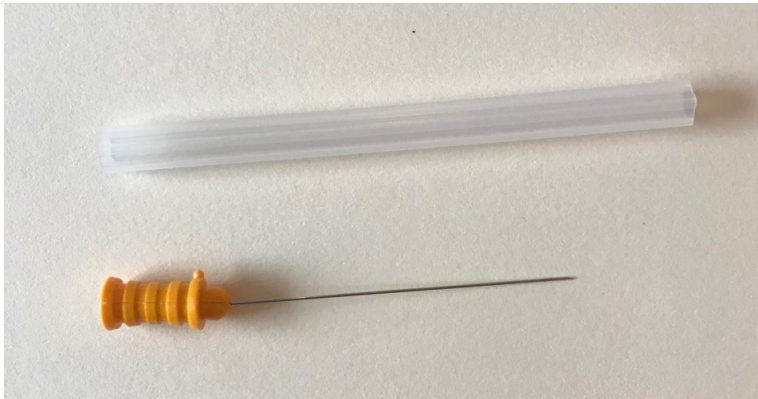


Abbildung 8: Feinnadelelektrode Ambu Neuroline Concentric 50 x 0,45 mm

Die Einstellungen des EMG-Gerätes Medelec Synergy T5 (Firma VIASYS Healthcare, Höchberg, Deutschland) wurden wie folgt festgelegt: Ein Hochpassfilter von 20 Hz und einen Tiefpassfilter von 5 kHz wurden definiert. Zur Darstellung der EMG-Veränderungen wurde ein Maßstab von 100 ms an der x-Achse und 100  $\mu$ V an der y-Achse des Monitors festgelegt. Auch hier orientierte man sich an den Einstellungen, die bei den Nadel-EMGs der mimischen Muskulatur bei der Diagnostik der Fazialisparese-Patienten des Universitätsklinikum Jena in der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde verwendet werden. Bei der Erarbeitung eines Untersuchungsprotokolls orientierte man sich anhand der mimischen Bewegungen im Rahmen der Diagnostik des N. facialis, dem aktuellen Stand der Forschung (vgl. Einleitung), sowie an den Ergebnissen der ersten Testmessungen. Alle folgenden Messungen sind anhand dieses Untersuchungsprotokolls abgelaufen, die Testmessungen sind nicht im Ergebnisteil aufgeführt. Bei der Durchführung der Nadel-EMGs wurden die Einstichstellen mithilfe eines Oberflächenanästhetikums in Form einer Creme (Produktname: EMLA, Wirkstoffe: 25 mg/m Lidocain / 25 mg/g Prilocain, Firma Aspen Germany GMBH, München, Deutschland) betäubt. Vor Ableitung entfernte man die Creme und die Haut wurde vor Inserierung der Nadelelektrode desinfiziert. Zur Ableitung verwendete man die Ambu Neuroline Concentric Nadel (50x0,45 mm).

Es wurden neben kleineren Testmessungen nur eine vollständige Messung aller Ohrmuskeln an einem Probanden durchgeführt. Da die Ableitung der intrinsischen Ohrmuskulatur mittels der Feinnadelelektrode für die Probanden sehr schmerzhaft war. Die Handhabung der Feinnadelelektrode war aufgrund der langen Versuchsdauer und der filigranen Natur der abzuleitenden Muskeln erschwert. Die Feinnadelelektrode musste während der Ableitung durch den Untersuchenden möglichst ruhig gehalten werden, um die Messungen nicht zu verfälschen und den Probanden nicht zu verletzen. Aufgrund dieser Faktoren wurde eine weitere Verwendung von Feinnadelelektroden ausgeschlossen.

### **3.3 Das Versuchsprotokoll**

#### **3.3.1 Das Ein-Kanal-EMG**

##### **3.3.1.1 Der Versuchsaufbau des Ein-Kanal-EMGs**

Die Untersuchungen zur Datensammlung wurden nach dem immer gleichen Protokoll durchgeführt. Die Datensammlung erfolgte im Zeitraum 01/2017-07/2018. Die Ableitungen fanden in der Abteilung für Audiometrie der Ambulanz der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde im Universitätsklinikum Jena statt. Im Vorfeld der Untersuchung wurden alle Probanden und Patienten zunächst ausführlich über die Untersuchung und die Verwendung der erhobenen Daten aufgeklärt und mussten im Anschluss ihre freiwillige Teilnahme schriftlich bestätigen (siehe Anhang). Der Versuchsaufbau ist in Abb. 9 fotografisch festgehalten. Der Proband lag während der Messung auf einer Untersuchungsliege, den Kopf auf einer Nackenrolle abgelegt, die Beine in einer für den Probanden bequemen Position. Der Untersucher saß rechts neben der Untersuchungsliege. Der Versuchsaufbau beim Ein-Kanal-Nadel-EMG und bei den Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs waren, bis auf die Verwendung von unterschiedlichen Elektroden, identisch.



Abbildung 9: Untersuchungsliege und EMG-Gerät in einem Untersuchungsraum der Abteilung für Audiometrie der Ambulanz in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena

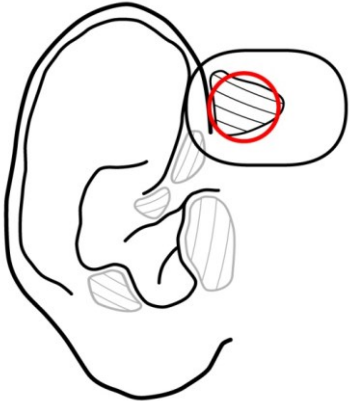
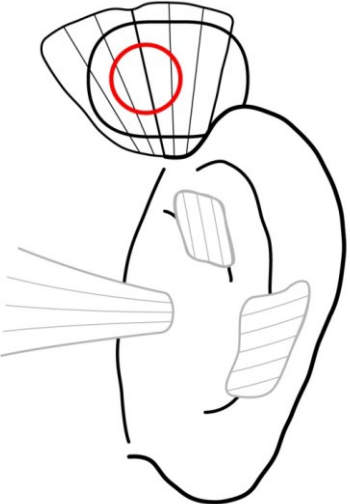
Für alle Ein-Kanal-EMGs wurde das EMG-Gerät Modelle Synergie T5 mit den Oberflächenelektroden Neuroline 720 Neurology Surface Electrodes 72015- K/10 der Firma Ambu verwendet.

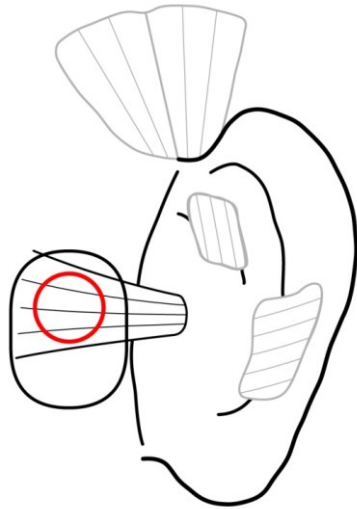
### **3.3.1.2 Die Positionierung der Elektroden für das Ein-Kanal-EMG**

Die Ohrmuschel, die umliegende Haut der Kopfschwarte und der Nacken wurden mit dem Haut-Desinfiziens Cutasept F (72 Vol% Propanol, Firma Paul Hartmann AG, Heidenheim an der Brenz, Deutschland) desinfiziert und entfettet, um die Anhaftung der Elektroden zu verbessern. Die Ohrmuskeln wurden nacheinander anhand des Untersuchungsprotokolls abgeleitet. Die genaue Positionierung der Elektroden kann der Tabelle (Tab.) 1 entnommen werden. Die Referenzelektrode wurde immer auf dem Processus spinosus des siebten Halswirbels positioniert.

Bei der Durchführung des Nadel-EMGs wurde die Haut vor dem Einstich der Nadelelektrode ebenfalls desinfiziert. Die Einstichstellen können der Abb. 26 im Anhang entnommen werden

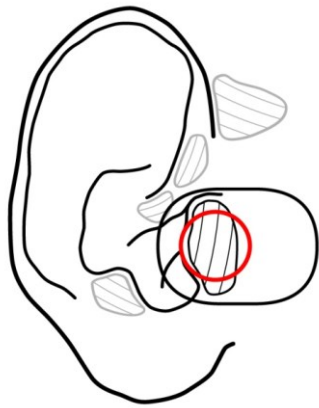
Tabelle 1: Positionierung der Elektroden für die Ein-Kanal-EMGs dargestellt für das rechte Ohr

<p><b>Grafische Darstellung der Elektrodenposition</b></p>	<p><b>Schriftliche Erklärung der Elektrodenposition</b></p>
	<p><b>M. auricularis anterior:</b> Die Klebestelle wurde durch Zug der Ohrmuschel nach dorsal festgelegt, sodass die Elektrode zwischen dem oberen Endpunkt der Helixkurvatur und der Verlängerung der Crus helicis auf die Gesichtshaut geklebt wurde.</p>
	<p><b>M. auricularis superior:</b> Durch Zug der Ohrmuschel in horizontaler Richtung konnte die Elektrodenposition aufgrund des sich unter der Haut abzeichnenden Muskelverlaufes festgelegt werden.</p>



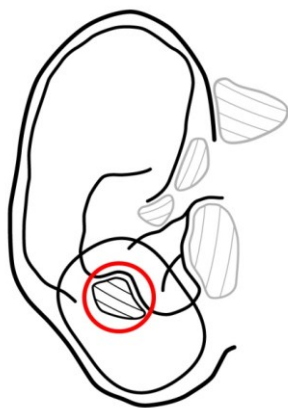
**M. auricularis posterior:**

Die Ohrmuschel wurde nach ventral geklappt, sodass eine Abzeichnung des Muskels unter der Haut erfolgte, welche als Klebestelle festgelegt wurde.



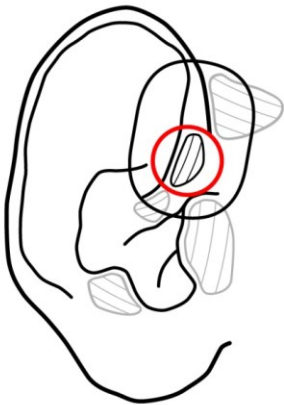
**M. tragicus:**

Die Elektrode wurde auf der Vorderseite des Tragus geklebt.



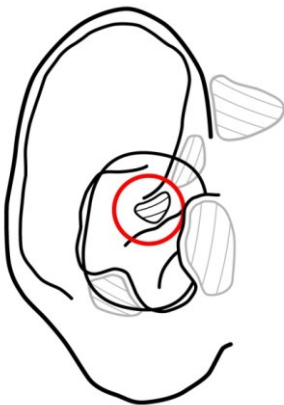
**M. antitragicus:**

Die Elektrode wurde auf der Vorderseite des Antitragicus befestigt.



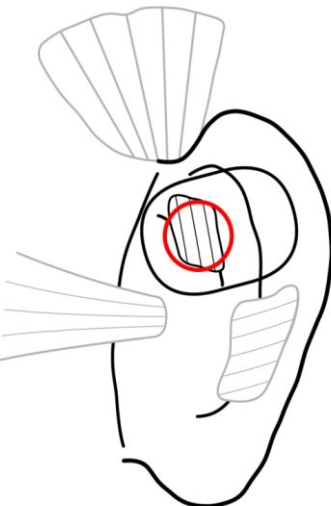
M. helicis major:

Die Elektrode wurde im Bereich des Crus helicis aufgeklebt, unterhalb der Incisura anterior auris.



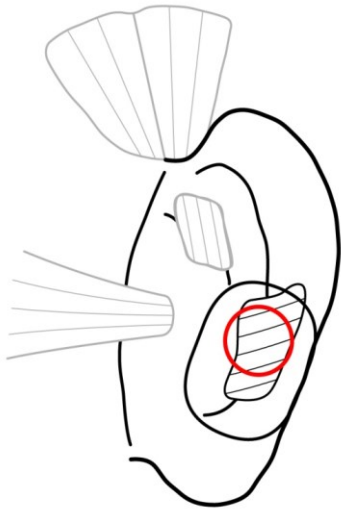
M. helicis minor:

Die Elektrode wurde kaudal des Crus helicis angebracht, circa in Höhe des Tragus.



M. obliquus auriculae:

Die Elektrode konnte auf der Rückseite der Ohrmuschel zwischen Eminentia fossa scapha und der Eminentia concha geklebt werden.



M. transversus auriculae:

Die Elektrode wurde auf der Rückseite der Ohrmuschel zwischen der Eminentia fossa triangularis und der Eminentia concha positioniert.

### 3.3.1.3 Die Versuchsdurchführung der Ein-Kanal-EMGs

Begonnen wurde stets auf der linken Seite. Zunächst erfolgte die Ableitung der extrinsischen Muskulatur beginnend mit dem M. auriculares anterior, danach der M. auriculares superior und zuletzt der M. auriculares posterior. Darauf folgte die Ableitung der intrinsischen Muskulatur an der Vorderseite der Ohrmuschel. Zuerst wurde der M. tragus, als zweites der M. antitragicus, dann der M. helicis major und zuletzt der M. helicis minor abgeleitet. Anschließend wechselte man auf die Rückseite der Ohrmuschel, um zuerst den M. transversus auriculae und dann den M. obliquus auriculae abzuleiten.

Der Proband wurde aufgefordert sich zwischen den Bewegungen zu entspannen, um die Baseline des EMGs möglichst ruhig zu halten. Der Untersuchende gab Bewegungsart und Bewegungsdauer verbal vor, sodass jede Bewegung drei Mal für drei Sekunden durchgeführt wurde. Auf jede Anspannungsphase folgte eine kurze Entspannungsphase, welche auch durch ein verbales Feedback des Untersuchenden eingeleitet und beendet wurde.

Folgende Bewegungen der mimischen Muskulatur wurden durch die Probanden durchgeführt:

- Lächeln
- Mund spitzen
- Nase rümpfen
- Stirn hochziehen

- Augenbrauen zusammenziehen
- ipsilaterale horizontale Augenbewegungen
- kontralaterale horizontale Augenbewegungen
- Ohrenwackeln

Die Zielbewegungen wurden vom Untersucher demonstriert und zusammen mit dem zu Untersuchenden geübt. Im Anhang befindet sich die fotografische Darstellung der Zielbewegungen (Anhang, Abb. 25). Während der gesamten Untersuchung erhielt der Proband verbales Feedback durch den Untersuchenden, der die Ausführung der geforderten Bewegungen kontrollierte, sowie die ruhige Lagerung des Kopfes überwachte.

### **3.3.2 Das Mehr-Kanal-EMG**

#### **3.3.2.1 Der Versuchsaufbau des Mehr-Kanal-EMGs**

Im Rahmen eines Mehr-Kanal-EMGs wurden im Motoriklabor (Funktionsbereich Motorik der Klinik für Hand-, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Jena) drei Ohrmuskeln, zwei Kaumuskeln und ein mimischer Muskel parallel abgeleitet. Dabei handelte es sich um folgende Muskeln:

- |      |                      |  |
|------|----------------------|--|
| I.   | Mimische Muskulatur: | M. risorius  |
| II.  | Kaumuskulatur:       | M. temporalis, M. masseter   |
| III. | Ohrmuskulatur:       | M. auricularis superior,<br>M. auricularis posterior,<br>M. tragicus |

Die Selektion der oben genannten Muskeln erfolgte, da die Positionierung von jeweils zwei Elektroden pro Muskel parallel gut möglich war. Es sollten Ohrmuskeln, Kaumuskeln und ein Muskel der mimischen Muskulatur simultan abgeleitet werden, um Aktivitätsmuster und Potenzialveränderungen vergleichen zu können.

Für die bipolaren Ableitungen wurden das EMG-Gerät Tower of Measurement (Fima DeMeTec, Langgöns, Deutschland) und Verstärker der Firma Biovision (Wehrheim, Deutschland) mit der Abtastrate 4096/s und der Amplitudenauflösung 0,596 nV/bit verwendet.



Der Proband saß während der Ableitung in ruhiger und entspannter Position auf einem Stuhl, die Füße standen still auf dem Boden, die Hände waren in den Schoß gelegt. Der Versuchsaufbau ist der Abb. 10 zu entnehmen.

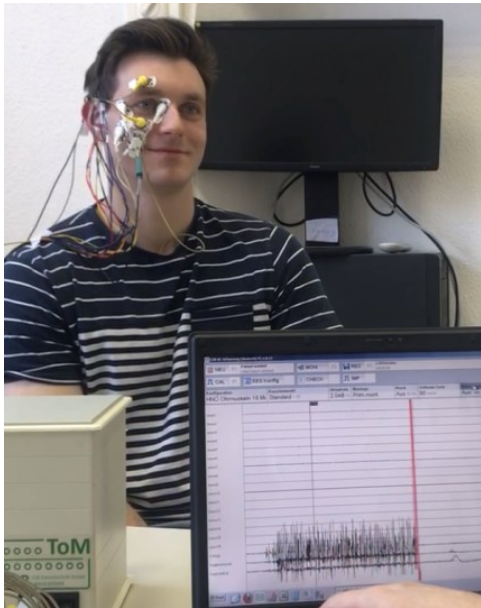


Abbildung 10: Versuchsaufbau des Mehrkanal-EMGs

### 3.3.2.2 Positionierung der Elektroden beim Mehrkanal-EMG

Die Reinigung und Vorbereitung der Haut erfolgte durch ein Peeling mittels einer abrasiven Paste (Elektrodencreme Epicont, Firma GE Healthcare, Chicago, USA). Da beide Elektroden bei diesem Versuch auf dem abzuleitenden Muskel positioniert wurden, wählte man eine andere Elektrode aus, die sich besser beschneiden ließ und mit einem Druckknopf versehen war. Die Kendall ECG Elektroden H93SG (Firma Covidien, Dublin, Irland) mit den Maßen von 42 mm x 24 mm erfüllten diese Kriterien. Dem Probanden wurde nach dem Kleben der Elektroden ein Haarnetz aufgesetzt. Dieses diente zur Fixierung der Kabel, sodass kein Zug auf die Elektroden ausgeübt wurde. Die genaue Position der Elektroden ist Tab. 2 und Abb.11 zu entnehmen.

Tabelle 2: Positionierung der Elektroden für das Mehrkanal-EMG

Muskel	Elektrodenposition
M. risorius	Elektrode 1 wurde im Bereich der Nasolabialfalte geklebt. Elektrode 2 circa 4 cm oberhalb Elektrode 1.

M. temporalis	Der Proband biss die Zähne zusammen, sodass sich der abzuleitende Muskel abzeichnete. Elektrode 1 wurde circa 2 cm oberhalb von Elektrode 2 auf den sich abzeichnenden Muskel in einen nicht behaarten Bereich geklebt. Beide Elektroden wurden so geschnitten, dass die Klebefläche nur noch 1 cm breit war.
M. masseter	Der Proband biss zusammen, sodass sich der abzuleitende Muskel abzeichnete. Elektrode 1 klebte man 2 cm oberhalb des Unterrandes des Unterkiefers. Elektrode 2 wurde 1 cm oberhalb Elektrode 1 positioniert. Beide Elektroden wurden so geschnitten, dass die Klebefläche nur noch 1 cm breit war
M. auricularis superior	Durch Zug der Ohrmuschel in horizontaler Richtung konnte die Elektrodenposition festgelegt werden, da der Muskelverlauf unter der Haut erkennbar wurde. Elektrode 1 wurde direkt oberhalb des Ansatzes der Ohrmuschel auf dem Schädel befestigt. Elektrode 2 0,5 cm oberhalb von Elektrode 1. Beide Elektroden wurden so geschnitten, dass die Klebefläche nur noch 1 cm breit war.
M. auricularis posterior	Die Ohrmuschel wurde nach ventral geklappt, sodass eine Abzeichnung des Muskels unter der Haut erfolgte. Elektrode 1 wurde direkt hinter den Ansatz der Ohrmuschel und Elektrode 2 0,5 cm hinter Elektrode 1 geklebt. Beide Elektroden wurden so geschnitten, dass die Klebefläche nur noch 1 cm breit war.
M. tragicus	Elektrode 1 wurde auf die Vorderseite des Tragus geklebt. Elektrode 2 konnte auf der Rückseite des Tragus befestigt werden. Die Elektroden wurden so geschnitten, dass die Klebefläche nur noch 1 cm breit und 2,5 cm lang war.

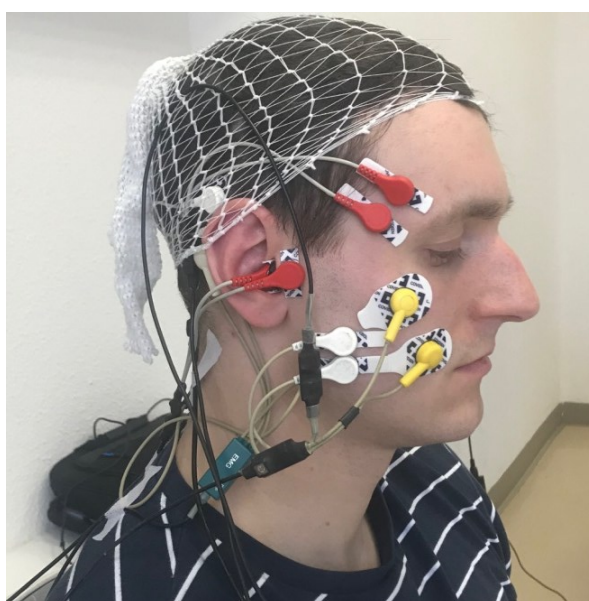


Abbildung 11: Positionierung der Elektroden.

### 3.3.2.3 Versuchsdurchführung des Mehrkanal-EMGs

Vor der Messung übte der Proband die von ihm zu verrichtenden Bewegungen mehrmals. Zusätzlich zu den Bewegungen der mimischen Muskulatur des Einzelkanal-EMGs, wurden hier folgende Bewegungen durchgeführt:

- Zähne zeigen
- Zusammenbeißen
- Kauen ipsilateral
- Kauen kontralateral

Die Bewegungsabfolge wurden dem Probanden verbal vorgegeben. Jede Bewegung wurde drei Mal durchgeführt. Eine Anspannungsphase dauerte circa drei Sekunden, darauf folgte eine Entspannungsphase von ebenfalls 3 Sekunden. Sowohl die Bewegung als auch das EMG wurden videografisch festgehalten und anschließend ausgewertet. In Abb.12 ist der Proband während der Versuchsdurchführung zu sehen, er führt die Bewegung „Lächeln“ durch. Rechts unten im Bild ist die Aufzeichnung des EMGs zu erkennen.



Abbildung 12: Durchführung des Mehrkanal-EMGs, Proband lächelt. Dieses Bild ist ein Screenshot der videografischen Dokumentation.

## 3.4 Probanden und Patienten

### 3.4.1 Das Normkollektiv von 12 Probanden

Das Normkollektiv von 12 Probanden setzte sich aus acht Frauen und vier Männern zusammen, welche in der Altersgruppe zwischen 18 und 29 Jahren angesiedelt waren. Die Probanden hatten keinerlei Beeinträchtigungen in Bezug auf die für die Untersuchung relevanten Muskeln, neuromuskuläre Erkrankungen und oberflächliche Operationen im Gesichtsbereich. Die Probanden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung gesund und hatten anamnestisch keine für die Untersuchung limitierenden Beeinträchtigungen. An diesem Normkollektiv wurden Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs des rechten und des linken Ohres durchgeführt. Bei einem dieser Probanden wurde ebenfalls ein Nadel-EMG und ein Mehrkanal-Oberflächen-EMG beider Ohren abgeleitet. Tab. 3 gibt einen Überblick über die biometrischen Merkmale aller 12 Probanden.

Tabelle 3: Biometrischen Merkmale der Probanden (Mittelwerte  $\pm$  SD)

<b>Geschlecht</b>	<b>Alter (Jahre)</b>	<b>Gewicht (kg)</b>	<b>Größe (m)</b>
Männlich (n = 4)	26,5 $\pm$ 1,4	81 $\pm$ 8,6	1,87 $\pm$ 0,1
Weiblich (n = 8)	25 $\pm$ 2,3	60,9 $\pm$ 8,2	1,69 $\pm$ 0,1

### 3.4.2 Das Patientenkollektiv von 7 Patienten

Das Patientenkollektiv von sieben Patienten setzte sich aus vier Frauen und drei Männern zusammen, welche in der Altersgruppe zwischen 18 und 60 Jahren lagen. Es handelte sich dabei um Patienten des Fazialis-Nerv-Zentrums der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena. Alle Teilnehmer wurden aufgrund einer einseitigen, peripheren, chronischen Fazialisparese betreut. Die Probanden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung, neben der chronischen Fazialisparese, gesund und hatten anamnestisch keine für die Untersuchung limitierende Beeinträchtigung. Bei allen Patienten waren Synkinesien zu beobachten. Diese wurden im Verlauf der Betreuung durch das Fazialis-Nerv-Zentrum durch EMGs belegt. An diesem Patientenkollektiv wurden Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs des rechten und des

linken Ohres durchgeführt. Tab. 4 gibt einen Überblick über die biometrischen Merkmale der Patienten.

Tabelle 4: Biometrischen Merkmale der Patienten (Mittelwerte  $\pm$  SD)

<b>Geschlecht</b>	<b>Alter (Jahre)</b>	<b>Gewicht (kg)</b>	<b>Größe (m)</b>	<b>Parese Rechts</b>	<b>Parese links</b>	<b>Parese- dauer (Monaten)</b>
Männlich (n=3)	41,3 $\pm$ 20,2	94 $\pm$ 31,4	1,81 $\pm$ 0,1	3	-	17,0 $\pm$ 1,0
Weiblich (n=4)	41 $\pm$ 18,5	61 $\pm$ 8,7	1,72 $\pm$ 0,1	2	2	35,3 $\pm$ 17,4

### **3.5 Auswertung**

#### **3.5.1 Auswertung der Präparation**

Die fotografische Dokumentation der präparierten Ohrmuskulatur wurde mit anatomischen Zeichnungen aus Anatomie-Atlanten (Benninghoff und Drenckhahn 2004, Lippert 2013, Paulsen und Waschke 2011, Pernkopf und Pichler 1937, Rauber und Kopsch 1941) verglichen und als Anhaltspunkt für die Positionierung der Feinnadelelektroden und Oberflächenelektroden genutzt. Es wurden basierend auf der fotografischen Dokumentation mittels des Programmes Adobe Illustrator (Version CS2, Firma Adobe Inc., San José, USA) Grafiken erstellt, die die Größe und Position der Ohrmuskulatur illustrieren und auf denen die genaue Positionierung der Oberflächen-Elektroden dargestellt werden konnte.

#### **3.5.2 Die Klassifikation der Amplitudenveränderung des EMGs**

Auf dem Monitor des EMG-Gerätes waren Amplitudenveränderungen des EMG-Signals zu sehen. Außerdem waren dazugehörige akustische Signale zu hören. Die Amplitudenveränderungen des EMG-Signals wurden simultan zur EMG-

Messung mittels folgender subjektiver Klassifikation bewertet (Abb. 13).

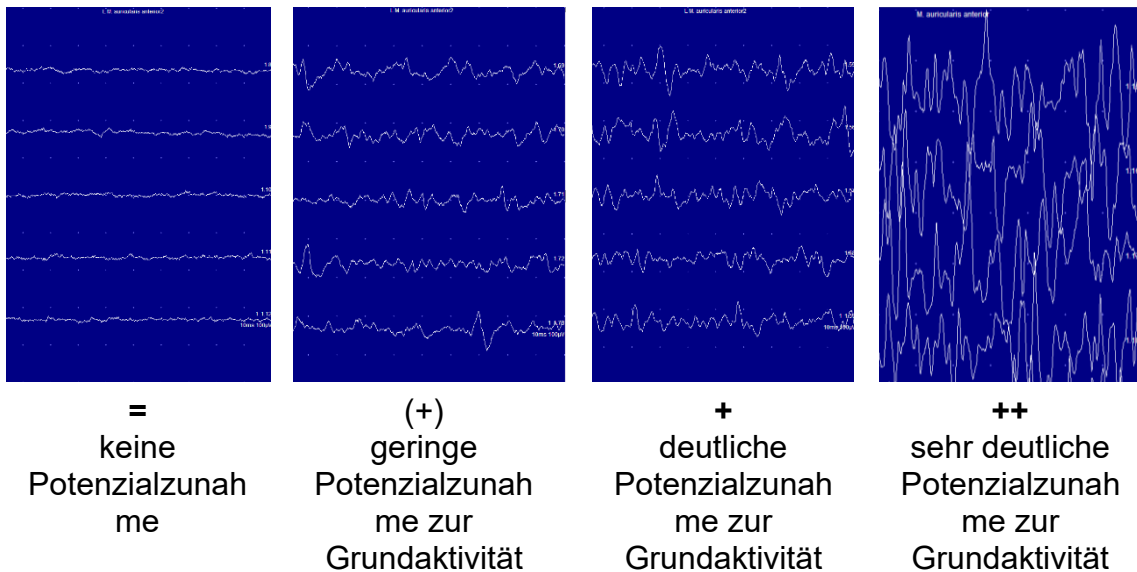


Abbildung 13: Subjektive Klassifikationen der Amplitudenveränderungen des EMG-Signals, im Bild sind vier Screenshots von EMG-Messungen mit dazugehöriger Klassifikation; X- Achse: Zeit (ms), Y-Achse: Spannung ( $\mu V$ ); Hochpassfilter von 20 Hz, Tiefpassfilter von 5 kHz

Anhand von vier verschiedenen Bewertungsstufen wurden Bewertungen vorgenommen. Sofern keine Ableitung erfolgte, wurde diese Messung mit "X" bewertet. Die Zunahme der Amplitudengröße links nach rechts ist in der Abb. 13 gut zu erkennen und erlaubte eine reproduzierbare, subjektive Bewertung der EMGs.

### 3.5.3 Auswertung der Ein-Kanal- und Mehr-Kanal-EMGs

Während der Ein-Kanal-EMG-Ableitung wurden die Amplitudenveränderungen des EMG-Signals, welche auf dem Bildschirm des Gerätes zu sehen waren und außerdem durch akustische Signale des Gerätes dargestellt wurden anhand von vier subjektiven Klassifikationen bewertet. Die Bewertung wurde durch die Untersuchende zeitgleich in einem Protokoll dokumentiert. Nach Abschluss der EMG-Ableitung wurden die Ergebnisse in einer Excel-Tabelle gespeichert.

Während der Mehrkanal-EMG-Ableitung wurden die Spannungszunahmen, welche auf dem Bildschirm des Gerätes zu sehen waren (Geräteinstellungen: Abtastrate 4096/s und der Amplitudenauflösung 0,596 nV/bit) und der Proband videografisch mit einem Mobiltelefon (iPhone 7, Apple, Cupertino, USA) aufgezeichnet.

Anschließend wurde offline jeder Kanal einzeln visuell analysiert und anhand des subjektiven Scores bewertet. Die Bewertung wurde in einem Protokoll dokumentiert, welches in einer Excel-Tabelle gespeichert wurde.

### 3.5.4 Statistik

#### Vergleich Nadel-EMG und Oberflächen-EMG

Die Verarbeitung der erhobenen Daten erfolgte mittels Microsoft Excel (Version 2016, Firma Microsoft Corporation, Seattle, USA) und der subjektive Bewertungsscore wurde zur weiteren Analyse in ein metrisches System übertragen. So konnten die Ergebnisse von Nadel-EMG / Ein-Kanal-Oberflächen-EMG miteinander verglichen werden (Tab.5).

Tabelle 5: Überführung des subjektiven Bewertungsscores zur Excel-Analyse

Subjektiver Bewertungsscore	Transformierter Score für Excel-Auswertung
++	3
+	2
(+)	1
=	0

Es wurde analysiert mit welcher relativen Häufigkeit die Ergebnisse des Nadel-EMGs mit den Ergebnissen des Oberflächen-EMGs desselben Probanden bei der Ableitung desselben Muskels bei derselben mimischen Bewegung übereinstimmten. Dazu wurde der in Tab. 5 zu sehende Score genutzt. Die Ergebnisse der Oberflächen-EMGs wurden von den Ergebnissen des Nadel-EMGs subtrahiert und die Ergebnisse in drei Gruppen eingeordnet: Keine Abweichung, Betrag der Abweichung gleich 1, Betrag der Abweichung >1. Daraufhin wurde die relative Häufigkeit dieser drei Gruppen berechnet.

#### Ein-Kanal-Oberflächen-EMG der Probanden

Die Oberflächen-EMGs wurden simultan zur Ableitung bewertet( siehe 3.5.2, Die Klassifikation der Amplitudenveränderung des EMGs). Die relative Verteilung der verschiedenen EMG-Klassifikationen (++; +; (+); =; X) in Bezug auf die einzelnen Muskeln und Bewegungen aller Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Probanden

wurde berechnet. Außerdem wurden Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen von den Ergebnissen der rechten und linken Seite gebildet.

### **Ein-Kanal-Oberflächen-EMG der Patienten**

Zur statistischen Verarbeitung der Ergebnisse der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Patienten mit Fazialisparese wurde zunächst die relative Verteilung der EMG-Klassifikationen (++; +; (+); =) in Bezug auf die einzelnen Muskeln und Bewegungen aller Patienten errechnet. Dann wurde die Differenz zwischen der jeweiligen relativen Verteilung der verschiedenen EMG-Klassifikationen (++; +; (+); =) von Pareseseite und gesunder Seite gebildet. Dabei wurden die Ergebnisse jedes Muskels/ jeder Bewegung der gesunden Seite von den Ergebnissen jedes Muskels/ jeder Bewegung der Seite mit Parese subtrahiert. Dann wurden die Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung der Abweichungen von paretischer Seite und gesunder Seite aller Patienten bestimmt, einmal in Bezug auf den jeweiligen Muskel und einmal in Bezug auf die jeweilige Bewegung. Der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Abweichung in Bezug auf den Muskel gab den Unterschied der Aktivitätszunahme eines bestimmten Muskels gemittelt auf alle Bewegungen an. Der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung der Abweichung in Bezug auf die Bewegung zeigt die Aktivitätszunahmen aller Muskeln gemittelt bei einer bestimmten Bewegung an.



## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der Präparationen

In Abb.14, 15, 16, und 17 wird das Ohr in unpräpariertem Zustand, präpariert und präpariert mit schwarz umrandeten Ohrmuskeln, sowie eingezeichnetem Faserverlauf dargestellt. Die Muskeln wurden mit einer Nummerierung versehen. Diese Nummer ist immer links des zugehörigen Muskels aufgeführt. Der Faserverlauf und die Dimensionen der Muskeln in Bezug auf die Ohrmuschel werden verdeutlicht. In Tab. 6 ist die Nummerierung der Ohrmuskeln aufgeführt.

Tabelle 6: Nummerierung der Ohrmuskeln in Abbildung 14-17

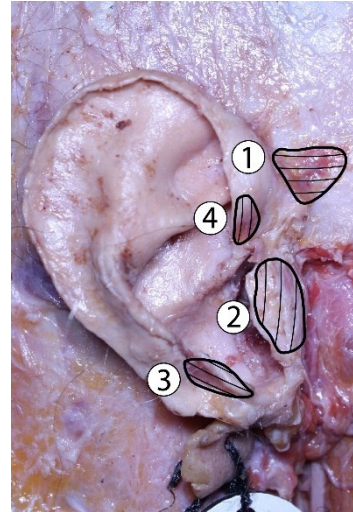
<b>Nummer im Bild</b>	<b>Muskel</b>	<b>Nummer im Bild</b>	<b>Muskel</b>
1	M. auricularis anterior	5	M. auricularis superior
2	M. tragicus	6	M. auricularis posterior
3	M. antitragicus	7	M. transversus auriculae
4	M. helicis major	8	M. obliquus auriculae



Übersichtsaufnahme,  
vor Präparation,  
ventral



Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation,  
ventral



Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation, mit  
Muskelumrandung,  
ventral

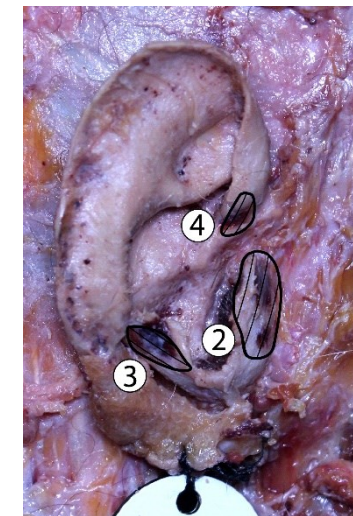
Abbildung 14: Präparat 1, Vorderseite



Übersichtsaufnahme,  
vor Präparation,  
ventral

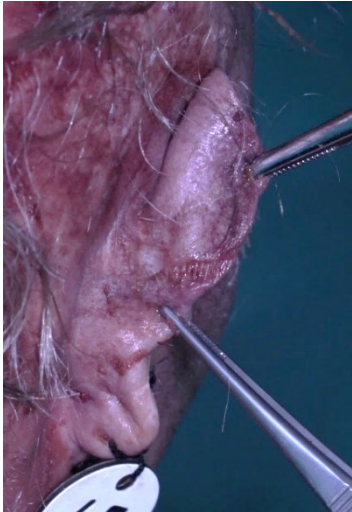


Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation,  
ventral

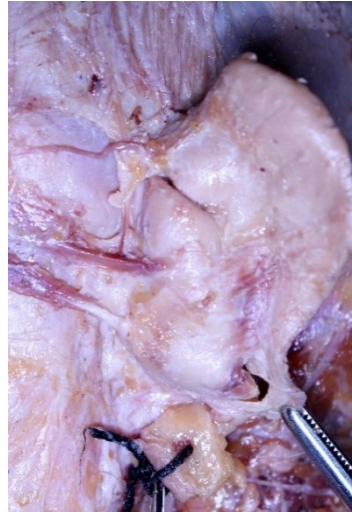


Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation, mit  
Muskelumrandung,  
ventral

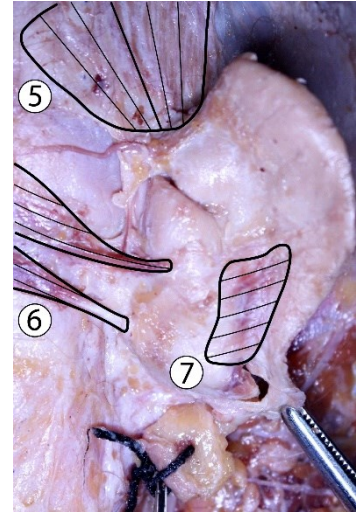
Abbildung 15: Präparat 2, Vorderseite



Übersichtsaufnahme,  
vor Präparation,  
dorsal



Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation,  
dorsal



Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation, mit  
Muskelumrandung,  
dorsal

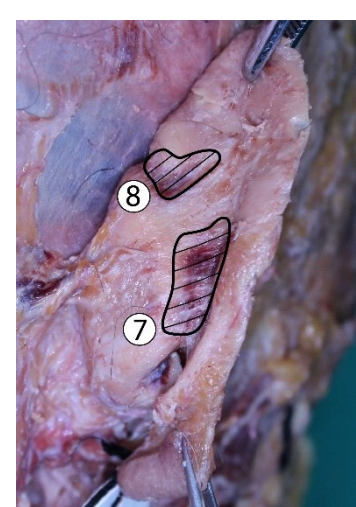
Abbildung 16: Präparat 1, Rückseite



Übersichtsaufnahme,  
vor Präparation,  
dorsal



Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation,  
dorsal



Übersichtsaufnahme,  
nach Präparation, mit  
Muskelumrandung,  
dorsal

Abbildung 17: Präparat 2, Rückseite

Auf der Vorderseite der Ohrmuschel konnten bei Präparat 1 und 2 der M. tragus (Abb. 14, Nr. 2 und Abb. 15, Nr. 2) und der M. antitragicus (Abb. 14, Nr. 3 und Abb. 15, Nr. 3) und der M. helicis major (Abb. 14, Nr. 4 und Abb. 15, Nr. 4) dargestellt werden. Der M. helicis minor war bei beiden Präparaten nicht

aufzufinden. Die Lage innerhalb des knorpeligen Tragus und Antitragus des M. tragicus und des M. antitragicus ließen sich darstellen.

Besonders in Präparat 2 gelang die Präparation der drei extrinsischen Muskeln (Abb. 14, Nr. 1 und Abb. 16, Nr. 5 und Nr. 6). Auffällig war der kurze, kräftige Verlauf des M. auricularis anterior (Abb. 14, Nr. 1), sowie der zweischichtige Aufbau des M. auricularis superior mit V-förmigem Faserverlauf der Anteile zueinander (Abb. 16, Nr. 5). Bei der Präparation des M. auricularis posterior gelang es, zwei Muskelbäuche darzustellen (Abb. 16, Nr. 6). Der untere Bauch inserierte über eine Sehne an der Ohrmuschel. Der M. obliquus auriculae konnte zweimal (Abb. 16, Nr. 7 und Abb. 17, Nr. 7) und der M. transversus auriculae nur bei einem Präparat dargestellt werden (Abb. 17, Nr. 8). Der Faserverlauf beider Muskeln erfolgt analog zu deren Bezeichnung.

## **4.2 Ergebnisse der Nadel-EMGs**

Im Folgenden wird lediglich auf sehr deutliche, deutliche und Potenzialzunahmen eingegangen. Die vollständigen Ergebnisse des Nadel-EMGs sind in Tab. 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Nadel-EMG Ergebnisse

Muskel	Zähne zeigen		Lächeln		Mund spitzen		Nase rümpfen		Horizontale Augenbewegungen Ipsilateral		Horizontale Augenbewegungen Kontralateral		Augen schließen		Stirn runzeln		Ohren wackeln	
	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links
M. auricularis anterior	+	+	++	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	(+)	(+)	+	++
M. auricularis superior	++	++	++	++	=	=	+	=	=	=	=	=	=	=	+	++	++	++
M. auricularis posterior	+	(+)	+	=	(+)	=	=	=	(+)	=	=	=	=	=	++	++	++	++
M. tragicus	++	+	+	+	=	++	=	=	=	=	=	=	++	=	=	=	(+)	+
M. antitragicus	++	=	++	+	=	=	=	=	=	=	=	=	+	=	=	+	+	++
M. helicis major	+	++	++	++	=	=	=	=	=	=	=	=	=	++	=	=	+	+
M. helicis minor	+	+	+	+	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	+	+
M. transversus auriculae	X	=	X	=	X	+	X	X	X	++	X	++	X	=	X	=	X	+
M. obliquus auriculae	+	X	+	X	=	X	=	X	=	X	=	X	=	X	=	X	(+)	X

Legende Tabelle 7:

= keine Potenzialzunahme zur Grundaktivität

+ deutliche Potenzialzunahme zur Grundaktivität

(+) geringe Potenzialzunahme zur Grundaktivität

++ sehr deutliche Potenzialzunahme zur Grundaktivität

X Messung nicht stattgefunden

## 4.2.1 Ergebnisse der Nadel-EMGs der extrinsischen Ohrmuskulatur

Der M. auricularis anterior zeigte beidseits eine sehr deutliche Potenzialzunahme beim Lächeln. Diese Aktivität ist exemplarisch in Abb. 18 dargestellt. Als der Proband die Stirn runzelte konnte bei beiden Seiten eine Potenzialzunahme gemessen werden. Als der Proband mit den Ohren wackelte war auf der rechten Seite eine deutliche Potenzialzunahme abzuleiten, linksseitig war sogar eine sehr deutliche Potenzialzunahme abzuleiten.

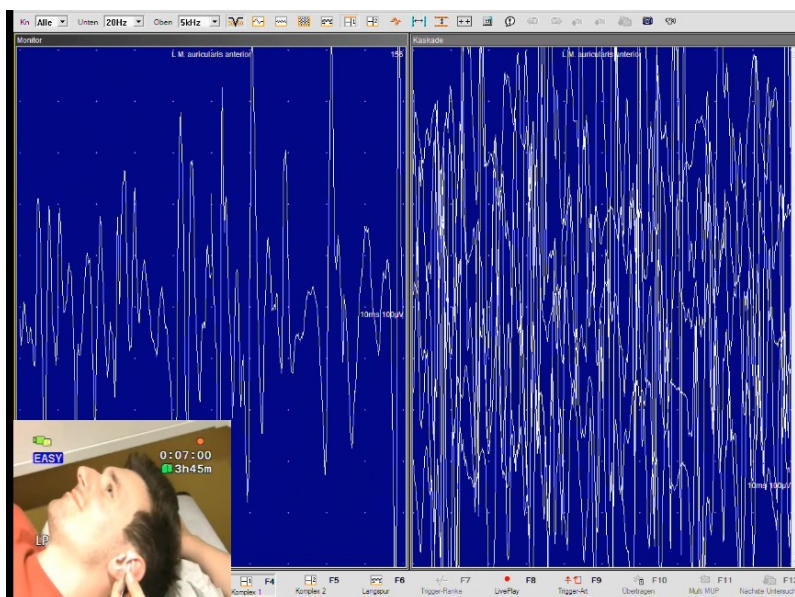


Abbildung 18: Screenshot des Nadel-EMGs M. auricularis anterior, Lächeln, X- Achse: Zeit (ms), Y-Achse: Spannung ( $\mu\text{V}$ ); Hochpassfilter von 20 Hz, Tiefpassfilter von 5 kHz

Bei der Ableitung des M. auricularis superior konnte während des Zähne zeigens, beim Lächeln und beim Ohrenwackeln beidseits eine sehr deutliche Potenzialzunahme verzeichnet werden. Der linken M. auricularis superior zeigte eine deutliche Potenzialzunahme beim Rümpfen der Nase. Während der Proband die Stirn runzelte, zeigte sich rechtsseitig eine deutliche Potenzialzunahme. Linksseitig war sogar eine sehr deutliche Potenzialzunahme abzuleiten.

Der M. auricularis posterior zeigte sowohl rechts- als auch linksseitig eine deutliche Potenzialzunahme während der Proband die Zähne zeigte. Beim

Lächeln konnte rechts eine Potenzialzunahme und links sogar eine deutliche Potenzialzunahme verzeichnet werden. Als der Proband den Mund spitzte war linksseitig eine Zunahme des Potenzials zu verzeichnen. Bei horizontalen Augenbewegungen konnte rechtsseitig eine Potenzialzunahme abgeleitet werden, wenn der Proband die Augen ipsilateral zur gemessenen Seite auslenkte. Sowohl beim Stirnrunzeln als auch beim Ohrenwackeln konnte beidseits eine sehr deutliche Potenzialzunahme abgeleitet werden.

#### **4.2.2 Ergebnisse der Nadel-EMGs der intrinsischen Ohrmuskulatur der Vorderseite der Ohrmuschel**

Als der Proband lächelte konnte an beiden Mm. tragici eine deutliche Potenzialzunahme gemessen werden. Beim Zeigen der Zähne konnte am rechten Muskel eine sehr deutliche Zunahme des Potenzials abgeleitet werden, linksseitig nur eine Potenzialzunahme. Während des Mundspitzens ließ sich links eine sehr deutliche Potenzialzunahme ableiten. Als der Proband die Augen schloss wurde rechtsseitig eine sehr deutliche Potenzialzunahme aufgezeichnet. Abschließend konnte beim Ohrenwackeln auf der rechten Seite eine Potenzialzunahme gemessen werden, auf der linken Seite war sogar eine deutliche Potenzialzunahme abzulesen.

Bei den Ableitungen des M. antitragicus wurde rechts eine sehr deutliche Potenzialzunahme festgestellt, als der Proband die Zähne zeigte. Beim Lächeln konnte am rechten Muskel eine sehr deutliche Zunahme des Potenzials gemessen werden, linksseitig war nur eine deutliche Zunahme des Potenzials abzulesen. Während des Augenschlusses wurde rechts eine deutlich abgegrenzte Potenzialzunahme verzeichnet, links war keine Potenzialzunahme zu verzeichnen. Als der Proband die Stirn runzelte war links eine Potenzialzunahme abzulesen. Beim Ohrenwackeln wurde am rechten M. antitragicus eine deutliche Potenzialzunahme abgelesen, linksseitig sogar eine sehr deutliche Potenzialzunahme.

Als der Proband lächelte ließ sich bei beiden Mm. helices majores eine sehr deutliche Zunahme des Potenzials feststellen. Beim Ohrenwackeln konnte links sowie rechts eine deutliche Zunahme des Potenzials gemessen werden. Als der Proband die Zähne zeigte, war rechts eine deutliche und linksseitig sogar eine

sehr deutliche Potenzialzunahme abzulesen. Beim Augenschluss war am rechten M. helicis major keine Zunahme des Potentials festzustellen, am linken Muskel hingegen eine sehr deutliche Potenzialzunahme.

Der M. helicis minor zeigte beim Zeigen der Zähne, beim Lächeln und beim Ohrenwackeln beidseits eine deutliche Potenzialzunahme. Als der Proband den Mund spitzte, die Nase rümpfte, die Augen horizontal bewegte (ipsilateral/kontralateral), die Augen schloss und die Stirn runzelte war weder am linken noch am rechten M. helicis minor eine Potenzialzunahme abzuleiten.

#### **4.2.3 Ergebnisse der Nadel-EMGs der intrinsischen Ohrmuskulatur der Rückseite der Ohrmuschel**

Der linke M. transversus auriculae zeigte beim Mundspitzen eine deutliche Potenzialzunahme. Bei horizontalen Augenbewegungen konnte in ipsilateraler und kontralateraler Auslenkung des Augapfels eine sehr deutliche Zunahme des Potentials abgeleitet werden. Während des Ohrenwackelns konnte lediglich eine deutliche Potenzialzunahme festgestellt werden. Bei der Ableitung des rechten M. obliquus auriculae konnte beim Zähne zeigen und beim Lächeln eine deutliche Zunahme des Potentials abgeleitet werden. Als der Proband mit den Ohren wackelte wurde eine Potenzialzunahme festgestellt.

#### **4.3 Ergebnisse der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Probanden**

Bei der Betrachtung der Oberflächen-EMGs der Probanden fiel beim Vergleich der linken und der rechten Seite auf, dass bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse aller Muskeln und aller Aktivitäten links häufiger eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme gemessen wurde. Dies kann aus der Tab. 20 im Anhang entnommen werden, in der die Ergebnisse aller Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs dargestellt sind. Das kann eventuell auf die Ermüdung der Probanden zurückgeführt werden, da erst alle Muskeln der linken Seite abgeleitet wurden und dann der Wechsel auf die rechte Seite erfolgte. Um die Ermüdung der Probanden partiell zu bereinigen, sollen im Folgenden die Ergebnisse beider Seiten zusammen diskutiert werden, mit dem Ziel Bewegungen/ Muskeln zu identifizieren, welche besonders auffällig sind.



Die Ergebnisse für alle Probanden für das Lächeln sind Tab. 8 zu entnehmen. Beim Lächeln und beim Ohrenwackeln konnte bei allen Muskeln am häufigsten eine sehr deutliche Potenzialzunahme festgestellt werden. Eine sehr deutliche Potenzialzunahme konnte bei > 80 % der Probanden folgender Muskeln beim Lächeln dokumentiert werden: M. auricularis anterior, M auricularis superior, M. tragicus, M. antitragicus, M. helices minor, M. obliquus auriculae und M. transversus auriculae. Beim M. helices major und M. auricularis posterior konnte bei >50 % der Probanden beim Lächeln eine sehr deutliche Potenzialzunahme festgestellt werden.

Tabelle 8: EMG-Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung „Lächeln“ in den einzelnen Ohrmuskeln

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		links	
Kategorien der EMG-Aktivität	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	100	0	100	0
M auricularis superior	100	0	100	0
M. auricularis posterior	100	0	91,7	8,3
M. tragicus	100	0	100	0
M. antitragicus	100	0	91,7	8,3
M. helices major	100	0	100	0
M. helices minor	100	0	100	0
M. transversus auriculae	100	0	100	0
M. obliquus auriculae	100	0	100	0

Beim Mundspitzen waren die Ergebnisse der Probanden diverser verteilt. Dies ist in Tab. 9 ersichtlich. Bei allen Ohrmuskeln wurde jedes Ausmaß an Potenzialzunahmen dokumentiert. Eine sehr deutliche Potenzialzunahme konnte zwar bei jedem Muskel dokumentiert werden, jedoch wurde eine sehr deutliche Zunahme des Potenzials nur beim M. auricularis superior bei über 20 % der Probanden festgestellt. Bei der Betrachtung von sehr deutlichen und deutlichen Potenzialzunahmen zusammen wurden diese Ergebnisse nur beim M. tragicus bei >50 % der Probanden beim Spitzen des Mundes gemessen. Dies war bei 50 % der Probanden beim M. auricularis anterior der Fall.

Tabelle 9: EMG-Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung „Mund spitzen“ in den einzelnen Ohrmuscheln

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		links	
Kategorien der EMG-Aktivität	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	41,6	58,3	41,7	58,3
M auricularis superior	41,6	58,3	50	50
M. auricularis posterior	16,7	83,3	33,3	66,7
M. tragicus	54,5	45,5	66,7	33,3
M. antitragicus	41,7	58,3	50	50
M. helicis major	36,4	63,6	36,4	63,6
M. helicis minor	30	70	55,6	55,4
M. transversus auriculae	25	75	33,3	66,7
M. obliquus auriculae	25	75	33,3	66,7

Die Ergebnisse aller Muskeln beim Naserümpfen ist Tab. 10 zu entnehmen. Beim Naserümpfen konnte ebenfalls kein Muskel mit häufigen, besonders ausgeprägten Potenzialzunahmen identifiziert werden. Aber beim M. helicis major war zumindest bei 8,3 % der Probanden eine sehr deutliche Potenzialzunahme zu verzeichnen und bei 33,3 % der Probanden eine deutliche Potenzialzunahme. Somit war der M. helicis major der Muskel mit den häufigsten sehr deutlichen oder deutlichen Potenzialzunahmen.

Bei allen anderen Muskeln war bei >65 % der Probanden nur eine leichte Potenzialzunahme oder keine Potenzialveränderung festzustellen.

Tabelle 10: EMG-Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung „Nase rümpfen“ in den einzelnen Ohrmuscheln

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		links	
Kategorien der EMG-Aktivität	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	8,3	91,7	50	50
M auricularis superior	8,3	91,7	16,7	83,3
M. auricularis posterior	16,7	83,3	16,7	83,3

M. tragicus	27,3	72,7	25	75
M. antitragicus	16,7	83,3	16,7	83,3
M. helicis major	45,5	54,5	45,5	54,5
M. helicis minor	0	100	33,3	66,7
M. transversus auriculae	25	75	25	75
M. obliquus auriculae	16,7	83,3	27,3	72,7

Beim Hochziehen der Stirn konnte bei >50 % der Probanden eine sehr deutliche Potenzialzunahme am M. auricularis anterior festgestellt werden. Bei 50 % der Messungen am M. auricularis posterior und bei jeweils 45,83 % der Messungen des M. helicis major und des M. obliquus auriculae war dies der Fall. Die übrige Ohrmuskulatur zeigte größtenteils Potenzialveränderungen oder geringe Potenzialveränderungen. Die detaillierten Ergebnisse der Oberflächen-EMGs beim Stirnhochziehen sind in Tab. 11 ersichtlich.

Tabelle 11: Übersichtstabelle der Ergebnisverteilung der Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung "Stirnhochziehen"

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		links	
	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	66,7	33,3	50	50
M. auricularis superior	66,7	33,3	83,3	16,7
M. auricularis posterior	41,7	58,3	41,7	58,3
M. tragicus	36,4	63,6	50	50
M. antitragicus	41,7	58,3	50	50
M. helicis major	90,9	9,1	63,6	36,4
M. helicis minor	30	70	44,4	55,6
M. transversus auriculae	50	50	41,7	58,3
M. obliquus auriculae	66,7	33,3	63,6	36,4

Beim Augenbrauenzusammenziehen war bei keinem Muskel eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme zu verzeichnen. Bei allen extrinsischen Ohrmuskeln, beim M. antitragicus, beim M. helicis minor und beim M. transversus auriculae, wurde bei >60 % der Probanden keine Potenzialveränderung beim

Zusammenziehen der Augenbrauen festgestellt. Beim M. tragicus, beim M. helicis major und beim M. obliquus war dies etwas seltener der Fall (58,3 %; 50 %; 50 %). Dennoch war bei diesen drei Muskeln keine auffällige Häufigkeit einer deutlichen oder sehr deutlichen Potenzialzunahme zu verzeichnen. Dies ist in Tab. 12 detailliert aufgeführt.

Tabelle 12: EMG-Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung „Augenbrauen zusammenziehen“ in den einzelnen Ohrmuskeln

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		links	
Kategorien der EMG-Aktivität	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	8,3	91,7	8,3	91,7
M. auricularis superior	16,7	83,3	16,7	83,3
M. auricularis posterior	41,7	58,3	41,7	58,3
M. tragicus	8,3	91,7	25	7
M. antitragicus	16,7	83,3	25	75
M. helicis major	90,9	9,1	18,2	81,8
M. helicis minor	0	100	11,1	88,9
M. transversus auriculae	16,7	83,3	8,3	91,7
M. obliquus auriculae	16,7	83,3	27,3	72,7

Bei lateralen Augenbewegungen in ipsilateraler und kontralateraler Auslenkung konnte bei den Messungen der extrinsischen Ohrmuskulatur selten eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme dokumentiert werden. Die Ergebnisse aller Muskeln bei lateralen Augenbewegungen in ipsilateraler Auslenkung sind in Tab. 13 aufgeführt, die Ergebnisse bei kontralateraler Auslenkung in Tab. 14. Beim M. auricularis anterior wurde bei > 65 % der Messungen in ipsi- und kontralateraler Auslenkung keine Potenzialzunahme festgestellt. Beim M. auricularis superior lag eine eindeutige Diskrepanz zwischen den Häufigkeiten einer fehlenden Potenzialzunahme bei horizontalen Augenbewegungen in ipsi- und kontralateraler Auslenkung vor (>45 %; >79 %). Beim M. tragicus konnte bei jeweils > 79 % der Probanden keine Potenzialzunahme bei ipsilateraler und kontralateraler Ausrichtung festgestellt werden. Auch beim M. antitragicus, M. helicis major und M. helicis minor war am

häufigsten keine Potenzialzunahme zu verzeichnen. Bei den beiden Ohrmuskeln auf der Rückseite der Ohrmuschel waren Potenzialzunahmen in jeglicher Form häufiger. So konnte bei horizontalen Augenbewegungen in ipsilateraler Auslenkung eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme der Mm. transversus und obliquus auriculae bei >30 % der Probanden festgestellt werden. Bei horizontalen Augenbewegungen in kontralateraler Auslenkung war dies ebenfalls bei >30 % der Messungen der Fall. Eine mit dem bloßen Auge sichtbare Verdrehung des Ohrs konnte nicht festgestellt werden.

Tabelle 13: EMG-Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung „Laterale Augenbewegung in ipsilateraler Ausrichtung " in den einzelnen Ohrmuskeln

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		links	
Kategorien der EMG-Aktivität	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	8,3	91,7	16,7	83,3
M. auricularis superior	25	75	33,3	66,7
M. auricularis posterior	25	75	8,3	91,7
M. tragicus	8,3	91,7	8,3	91,7
M. antitragicus	8,3	91,7	33,3	66,7
M. helicis major	18,2	81,8	0	100
M. helicis minor	0	100	11,1	88,9
M. transversus auriculae	33,3	66,7	33,3	66,7
M. obliquus auriculae	33,3	66,7	36,4	63,6

Tabelle 14: EMG-Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung „Laterale Augenbewegung in kontralateraler Ausrichtung " in den einzelnen Ohrmuskeln

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		links	
Kategorien der EMG-Aktivität	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	0	100	0	100
M. auricularis superior	8,3	91,3	8,3	91,7
M. auricularis posterior	25	75	16,7	83,3
M. tragicus	8,3	91,7	8,3	91,7

M. antitragicus	16,7	83,3	0	100
M. helicis major	18,2	81,2	0	100
M. helicis minor	0	100	0	100
M. transversus auriculae	41,7	58,3	25	75
M. obliquus auriculae	33,3	66,7	36,4	63,6

Das Ohrenwackeln wurde nur von 8 Probanden durchgeführt, da nur diese ansatzfähig zur willkürlichen Ansteuerung befähigt waren.

Es konnte bei allen Muskeln eine sehr deutliche oder deutliche Potenzialzunahme bei mehr als 50 % der Probanden ausgewertet werden. Beim M. auricularis superior und beim M. helicis major konnten sogar 100 % der Probanden eine sehr deutliche oder deutliche Potenzialzunahme erreichen. Die prozentuale Verteilung der Potenzialzunahme ist in Tab. 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: EMG-Potenzialzunahme bei der mimischen Bewegung „Ohrenwackeln“ in den einzelnen Ohrmuskeln

Muskel	Relative Anzahl der Probanden in %			
	rechts		Links	
Kategorien der EMG-Aktivität	++ +	(+) =	++ +	(+) +
M. auricularis anterior	87,5	12,5	87,5	12,5
M. auricularis superior	100	0	100	0
M. auricularis posterior	87,5	12,5	100	0
M. tragicus	85,7	14,3	75	25
M. antitragicus	75	25	75	25
M. helicis major	85,7	14,3	85,7	14,3
M. helicis minor	0	100	0	100
M. transversus auriculae	41,7	58,3	25	75
M. obliquus auriculae	100	0	75	25

#### 4.4 Ergebnisse der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Patienten

Bei den Ableitungen von Oberflächen-EMGs an Patienten wurden die Daten der Seite mit Zustand nach Fazialisparese mit den Daten der gesunden Seite gegenübergestellt, da während der Messungen deutlich wurde, dass auffällige

Diskrepanzen zwischen gesunder und Pareseseite gemessen werden konnten. Die genauen prozentualen Verteilungen sind der Tab. 21 im Anhang zu entnehmen.

Im Folgenden soll im Detail auf die Messungen eingegangen werden, bei denen besonders große Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Seite mit Fazialisparese und der Ergebnisse der gesunden Seite aufgefallen sind.

Zunächst wurde die absolute Häufigkeit der vier subjektiven Scores (++; +; (+); =) für die Pareseseite und die gesunde Seite aller Patienten (n=7) erfasst. Um darzustellen, ob und in welchem Umfang Diskrepanzen zwischen den Häufigkeiten der vier Scores der Pareseseite und der gesunden Seite bestehen, wurde für jeden Score die Häufigkeit der gesunden Seite von der paretischen Seite abgezogen. Daraus resultierte die absolute Abweichung der Häufigkeiten der vier EMG-Scores der Pareseseite und der gesunden Seite. Um Tendenzen zu erkennen, wurde das Ergebnis durch die Gesamtzahl der Patienten geteilt, wodurch sich die entsprechende Abweichung in Prozent ergibt.

### **Beispiel für den Vergleich ++**

$$\text{Relative Abweichung von Pareseseite und gesunder Seite} = \frac{(\text{Anzahl Patienten}++\text{Pareseseite} - \text{Anzahl Patienten}++\text{gesunde Seite})}{\text{Anzahl Patienten}}$$

Ein positives Vorzeichen bedeutet, dass an der Pareseseite die jeweilige Potenzialveränderung häufiger gemessen wurde. Der Wert „Null“ bedeutet, dass an der Pareseseite und an der gesunden Seite die jeweilige Potenzialänderung gleich häufig aufgetreten ist. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass die jeweilige Potenzialveränderung an der gesunden Seite häufiger aufgetreten ist.

Um die Muskeln untereinander vergleichen zu können, wurde der Mittelwert  $\pm$ Standardabweichung der prozentualen Abweichungen der Pareseseite und der gesunden Seite aller Bewegungen gebildet. Diese Mittelwerte  $\pm$ Standardabweichung sind in Tab. 16 aufgeführt. In Tab. 22 im Anhang sind die prozentualen Abweichungen beider Seiten aller Bewegungen aufgeführt.

Um die Bewegungen untereinander vergleichen zu können, wurde der Mittelwert  $\pm$ Standardabweichung der prozentualen Abweichung der Pareseseite und der gesunden Seite gebildet. Diese Mittelwerte  $\pm$ Standardabweichung sind in Tab. 17

aufgeführt. In Tab. 23 im Anhang sind die absoluten Abweichungen aller Muskeln aufgeführt.

Tabelle 16: Vergleich der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Seite mit Fazialisparese mit der gesunden Seite für alle Ohrmuskeln

Muskel	Abweichung der Ergebnisse in %			
	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung			
	++	+	(+)	=
M. auricularis anterior	12,2 $\pm$ 19,2	18,4 $\pm$ 13,6	-20,4 $\pm$ 25,9	-10,2 $\pm$ 22,9
M. auricularis superior	22,5 $\pm$ 27,2	10,2 $\pm$ 17,9	-18,4 $\pm$ 19,7	-14,3 $\pm$ 26,1
M. auricularis posterior	22,5 $\pm$ 20,0	2,0 $\pm$ 37,3	-2,0 $\pm$ 30,2	-22,5 $\pm$ 18,2
M. tragicus	-4,1 $\pm$ 15,9	14,3 $\pm$ 27,4	0 $\pm$ 28,6	-10,2 $\pm$ 17,9
M. antitragicus	12,2 $\pm$ 22,5	14,3 $\pm$ 26,1	-2,0 $\pm$ 27,9	-24,5 $\pm$ 31,6
M. helicis major	18,4 $\pm$ 17,9	12,3 $\pm$ 19,2	0,0 $\pm$ 16,5	-30,6 $\pm$ 30,2
M. helicis minor	18,4 $\pm$ 13,6	20,4 $\pm$ 27,2	-8,2 $\pm$ 23,1	-30,6 $\pm$ 34,4
M. transversus auriculae	6,1 $\pm$ 20,0	8,2 $\pm$ 16,2	-4,1 $\pm$ 25,7	-10,2 $\pm$ 32,7
M. obliquus auriculae	4,1 $\pm$ 22,9	8,2 $\pm$ 27,2	4,1 $\pm$ 22,9	-16,3 $\pm$ 26,6

Beim M. auricularis anterior war die Abweichung zwischen Seite mit Parese und gesunder Seite beim Mundspitzen und beim Augenbrauenzusammenziehen auffällig. So wurde eine deutliche oder sehr deutliche Potenzialzunahme beim Mundspitzen bei 55,1 % der Patienten an der Pareseseite gemessen. Beim Zusammenziehen der Augenbrauen war dies ebenfalls bei 55,1 % der Patienten der Fall. Am M. auricularis anterior der Pareseseite wurde 12,2% häufiger eine sehr deutliche Potenzialzunahme dokumentiert als an der gesunden Seite. Eine deutliche Potenzialzunahme war an der Seite mit Parese im Mittel 18,4 % häufiger als an der gesunden Seite festzustellen.

Die Abweichung der Ergebnisse der EMGs des M. auricularis superior waren beim Mundspitzen, Naserümpfen und Augenbrauenzusammenziehen besonders auffällig. So wurde bei 42,9 % der Patienten bei der Ableitung der Seite mit Parese beim Spitzen des Mundes eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme festgestellt im Gegensatz zur Ableitung der gesunden Seite. Beim Rümpfen der Nase war dies bei 57,2 % der Patienten an der Pareseseite der Fall. Besonders auffällig war die Abweichung der Ergebnisse der Parese- und



gesunden Seite beim Zusammenziehen der Augenbrauen, denn es konnte bei 85,7 % der Messungen eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme dokumentiert werden. Im Mittel konnte bei den Messungen des M. auricularis superior 22,5 % häufiger an der Pareseseite als an der gesunden Seite eine sehr deutliche Zunahme des Ruhepotenzials gemessen werden. Eine deutliche Potenzialzunahme wurde 10,2 % häufiger an der Pareseseite abgeleitet.

Beim M. auricularis posterior konnte beim Mundspitzen bei 71,4 % der Patienten an der Pareseseite eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme gemessen werden. Dies war bei 57,2 % Patienten an der paretischen Seite ebenfalls beim Rümpfen der Nase der Fall. Auch beim Zusammenziehen der Augenbrauen war die Abweichung der Ergebnisse der Pareseseite und der gesunden Seite aller Patienten besonders auffällig. So wurde eine deutliche oder eine sehr deutliche Potenzialzunahme an der Pareseseite 85,7 % häufiger gemessen als an der gesunden Seite. Im Mittel wurde eine sehr deutliche Potenzialzunahme 22,4% häufiger an der Pareseseite als an der gesunden Seite festgestellt.

Die Abweichungen der Ergebnisse des M. tragicus waren lediglich beim Mundspitzen an der Pareseseite auffällig groß. Eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme konnte an der Pareseseite 71,4 % häufiger festgestellt werden. Beim Lachen und bei horizontalen Augenbewegungen ipsilateraler und kontralateraler Ausrichtung war eine negative Abweichung festzustellen, was bedeutet, dass eine deutliche oder eine sehr deutliche Potenzialzunahme häufiger an der gesunden Seite festzustellen war. Daraus resultiert ein negativer Mittelwert von -4,08 % bei sehr deutlicher Potenzialzunahme der Messungen des M. tragicus. Im Mittel wurde eine deutliche Potenzialzunahme 14,9% häufiger an der Pareseseite festgestellt.

Beim M. antitragicus waren die Abweichungen der Ergebnisse der Pareseseite und der gesunden Seite ebenfalls beim Mundspitzen und Hochziehen der Stirn auffällig. Eine sehr deutliche oder deutliche Potenzialzunahme wurde an der Seite mit Parese bei beiden Bewegungen 57,2 % häufiger festgestellt. Die Abweichung der Ergebnisse beider Seiten war beim Zusammenziehen der Augenbrauen am größten. Eine sehr deutliche oder eine deutliche

Potenzialzunahme wurde 71,4 % häufiger an der Pareseseite dokumentiert. Im Mittel wurde beim *M. antitragicus* an der Pareseseite 12,2 % häufiger eine sehr deutliche Potenzialzunahme und 14,3 % häufiger eine deutliche Potenzialzunahme an der Seite mit Fazialisparese festgestellt.

Beim *M. helcis major* war die Abweichung der Ergebnisse zwischen der Pareseseite und der gesunden Seite beim Mundspitzen und beim Augenbrauenzusammenziehen auffällig groß. So wurde eine deutliche oder eine sehr deutliche Potenzialzunahme beim Spitzen des Mundes 57,2 % häufiger an der Seite mit Fazialisparese festgestellt. Dies war beim Zusammenziehen der Augenbrauen sogar bei 72,4 % der Messungen der Fall. Im Mittel wurde an der Pareseseite 18,4 % häufiger eine sehr deutliche Potenzialzunahme festgestellt als an der gesunden Seite. Der Mittelwert der Abweichung bei deutlicher Potenzialzunahme lag beim *M. helcis major* bei 12,2 %.

Die Abweichungen bei sehr deutlichen und deutlichen Potenzialzunahmen beim *M. helcis minor* lag beim Mundspitzen bei 71,4 %. Beim Rümpfen der Nase und beim Augenbrauenzusammenziehen konnte eine sehr deutliche oder deutliche Potenzialzunahme 57,2 % häufiger an der Pareseseite festgestellt werden. Im Mittel lag die Abweichung der sehr deutlichen Potenzialzunahme beim *M. helcis minor* bei 18,4 % und die deutliche Potenzialzunahme bei 20,4 %.

Beim *M. transversus auriculae* war lediglich beim Naserümpfen eine besonders große Abweichung festzustellen. Eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme konnte an der Pareseseite 57,2 % häufiger dokumentiert werden als an der gesunden Seite. Im Mittel wurde eine sehr deutliche Potenzialzunahme 6,1% häufiger an der Pareseseite gemessen als an der gesunden Seite. Eine deutliche Potenzialzunahme wurde im Mittel 8,2 % häufiger an der Seite mit Fazialisparese festgestellt.

Beim *M. obliquus auriculae* war die Abweichung der Ergebnisse beim Rümpfen der Nase und beim Zusammenziehen der Augenbrauen besonders auffällig. Hier konnte eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme 57,2 % häufiger an der Pareseseite dokumentiert werden. Es resultierte ein Mittelwert der Abweichungen bei den sehr deutlichen Potenzialzunahmen von 4,1 %. Im Mittel konnte eine sehr deutliche Potenzialzunahme an der Pareseseite 4,1%

häufiger festgestellt werden. Eine deutliche Potenzialzunahme konnte an der Pareseseite 8,1 % häufiger als an der gesunden Seite dokumentiert werden.

Daraus lässt sich schließen, dass bei allen Muskeln, außer beim M. tragicus, bei den Messungen der Pareseseite mehr Probanden sehr deutliche und deutliche Potenzialzunahmen vorweisen konnten. Die Potenzialzunahme der Seite mit Parese des N. facialis schien bei bestimmten Bewegungen aller Muskeln deutlich häufiger eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme auszulösen als an der gesunden Seite.

Die Mittelwerte der Abweichung von der Pareseseite und der gesunden Seite für die relative Häufigkeit einer sehr deutliche Potenzialzunahme sind in Abb. 19 und die relative Häufigkeit einer deutliche Potenzialzunahme in Abb. 20 dargestellt. An der Y-Achse wird der Mittelwert in % wiedergegeben, an der X-Achse die Standardabweichung ebenfalls in %. Die Muskeln werden durch farblich abgehobene Punkte repräsentiert, die Zuordnung ist der Legende am rechten Bildrand zu entnehmen.

Liegt der Punkt im positiven Bereich wurde die in dem Diagramm dargestellte Potenzialveränderung häufiger an der Pareseseite festgestellt. Liegt der Punkt im negativen Bereich wurde die Potenzialveränderung häufiger an der gesunden Seite detektiert. Je weiter rechts der Punkt liegt, desto größer ist die Standardabweichung. Je größer die Standardabweichung, desto größer ist die Streuung der Ergebnisse um den Mittelwert.

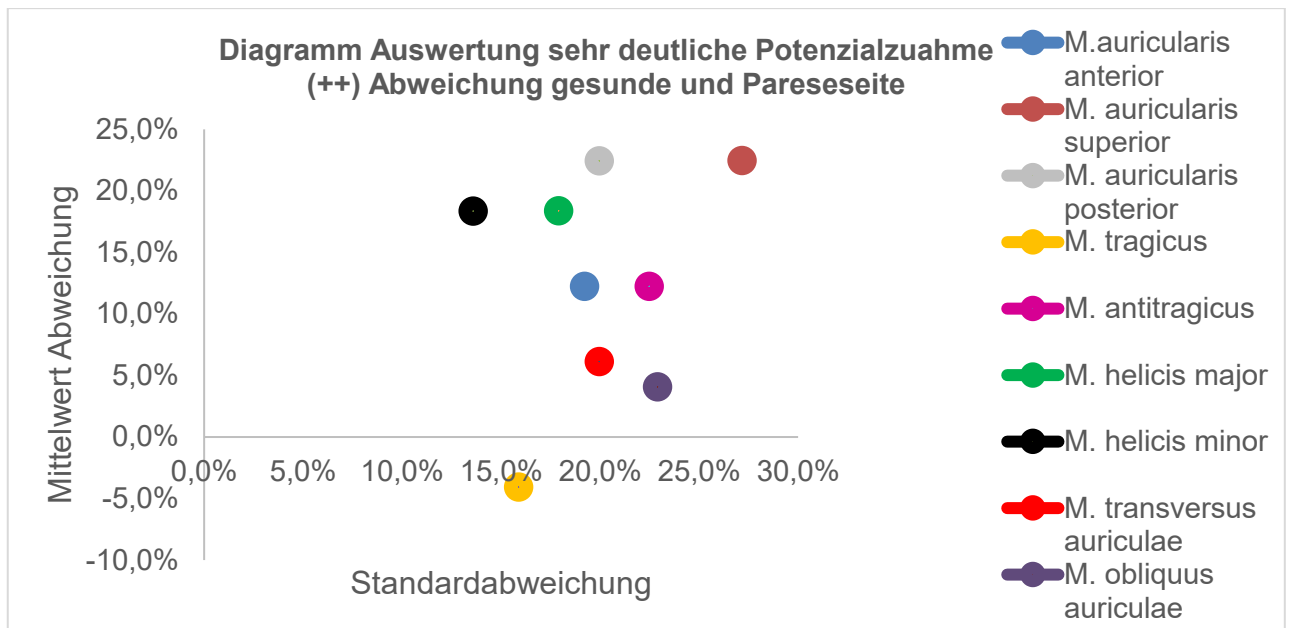


Abbildung 19: Diagramm zur Auswertung der Mittelwerte der Abweichung der Häufigkeit einer sehr deutlichen Potenzialzunahme der Pareseseite und der gesunden Seite und dazugehörige Mittelwerte

Der M. helicis major wies die geringste Standardabweichung von 13,6 % vor, der M. auricularis superior die größte von 27,2 %. Die Standardabweichungen der anderen Muskeln befanden sich dazwischen. Das bedeutet, dass sich die relativen Häufigkeiten einer sehr deutlichen Potenzialzunahme der einzelnen Bewegungen besonders beim M. auricularis superior stark unterschieden. Beim M. helicis major ähneln sich die relativen Häufigkeiten einer sehr deutlichen Potenzialzunahme der unterschiedlichen Bewegungen mehr. Daraus resultierte die vergleichsweise geringe Standardabweichung.

Der Mittelwert des M. tragicus war der einzige Mittelwert im negativen Bereich des Diagramms. Eine sehr deutliche Potenzialzunahme wurde somit nur beim M. tragicus im Mittel aller Bewegungen häufiger an der gesunden Seite als an der Pareseseite gemessen. Bei allen anderen Muskeln wurde eine sehr deutliche Potenzialzunahme im Mittel aller Bewegungen häufiger an der Pareseseite als an der gesunden Seite gemessen (Abb. 19).

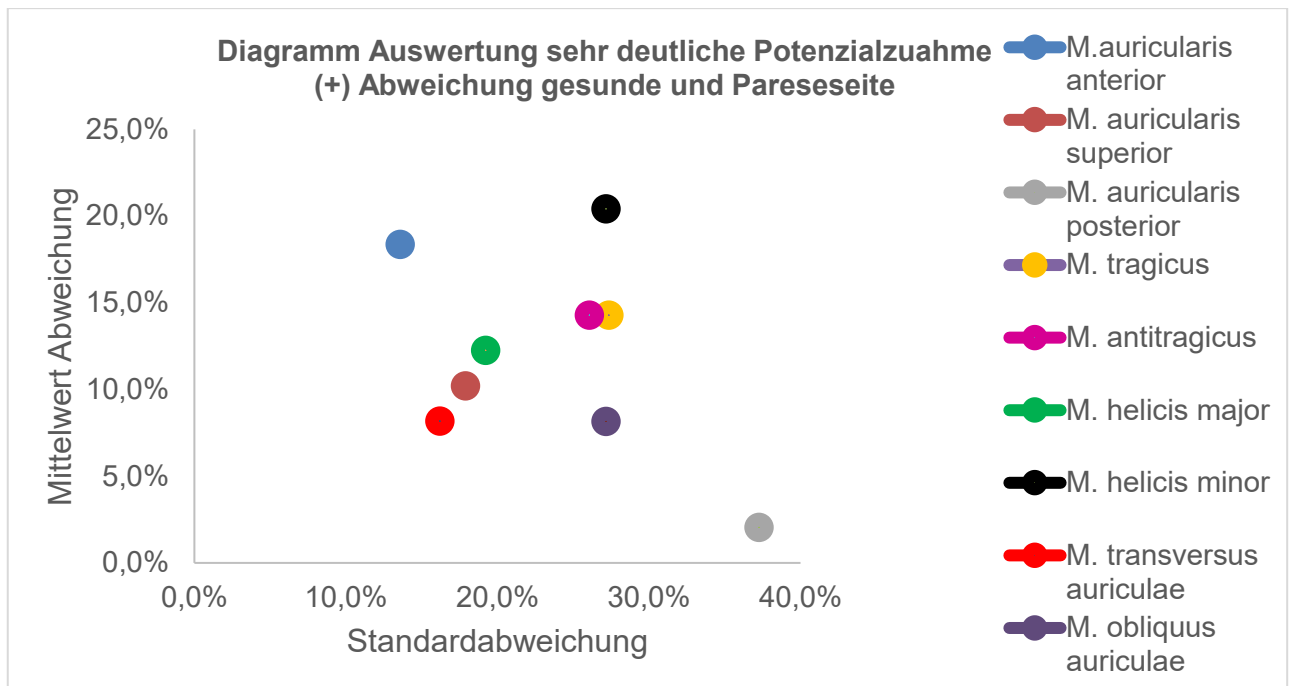


Abbildung 20: Diagramm zur Auswertung der Mittelwerte der Abweichung der Häufigkeit einer deutlichen Potenzialzunahme der Pareseseite und der gesunden Seite und dazugehörige Mittelwerte

Der M. auricularis anterior wies die geringste Standardabweichung von 13,6 % vor, der M. auricularis posterior mit 37,3 % die größte. Die Standardabweichungen der anderen Muskeln befanden sich dazwischen. Der Mittelwert aller Muskeln lag im positiven Bereich, somit wurde eine deutliche Potenzialzunahme bei allen Muskeln im Mittel aller Bewegungen häufiger auf der Pareseseite als an der gesunden Seite gemessen (Abb. 20).

Im nächsten Schritt sollten Bewegungen identifiziert werden, bei denen die Diskrepanz der relativen Häufigkeiten der vier Scores aller Muskeln zwischen paretischer Seite und gesunder Seite besonders groß war. Dafür wurden die Abweichungen der Ergebnisse der Seite mit Fazialisparese und der Ergebnisse der gesunden Seite ebenfalls mithilfe eines Mittelwertes der EMGs aller Muskeln in Bezug auf die einzelnen Bewegungen betrachtet. Die Mittelwerte der Abweichung in Bezug auf die Bewegung sind in Tabelle 17 abgebildet.

Tabelle 17: Vergleich der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Seite mit Fazialisparese mit der gesunden Seite für alle Bewegungen

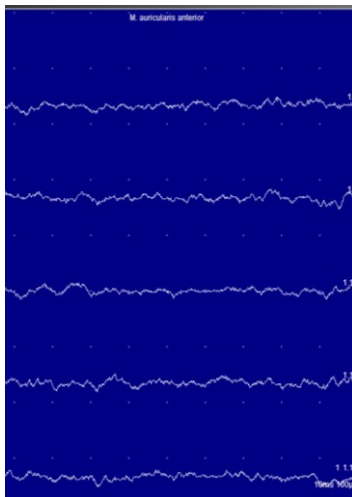
Aktion	Abweichung der Ergebnisse in % Mittelwert $\pm$ Standardabweichung			
	++	+	(+)	=
Lächeln	0 $\pm$ 24,7	-3,2 $\pm$ 22,3	3,2 $\pm$ 6,3	0 $\pm$ 0,0
Mund spitzen	25,4 $\pm$ 15,6	31,8 $\pm$ 24,5	-33,3 $\pm$ 23,7	23,8 $\pm$ 20,2
Nase rümpfen	23,8 $\pm$ 10,1	17,5 $\pm$ 22,3	-4,8 $\pm$ 14,3	36,5 $\pm$ 16,1
Stirn hochziehen	19,1 $\pm$ 12,4	9,5 $\pm$ 16,0	-22,2 $\pm$ 19,0	-6,4 $\pm$ 14,5
Augenbrauen zusammenziehen	28,6 $\pm$ 17,5	25,4 $\pm$ 15,6	1,60% $\pm$ 25,2	-55,6 $\pm$ 26,2
Ipsilaterale Augenbewegungen	-1,6 $\pm$ 8,6	9,5 $\pm$ 15,8	7,9 $\pm$ 20,3	-15,9 $\pm$ 24,2
Kontralaterale Augenbewegungen	-7,9 $\pm$ 17,7	-6,4 $\pm$ 14,5	7,9 $\pm$ 26,8	6,4 $\pm$ 14,5

Beim Lächeln zeigte sich im Mittel und auch in der Einzelbetrachtung kaum eine Abweichung der Ergebnisse der Seite mit Fazialisparese und der gesunden Seite. Beim Mundspitzen war der Mittelwert der Abweichung zwischen Pareseseite und gesunder Seite am größten. Eine sehr deutliche Potenzialzunahme wurde an der Seite mit Pareseseite im Mittel 25,4 % häufiger dokumentiert als an der gesunden Seite. Eine deutliche Potenzialzunahme konnte beim Mundspitzen 31,8 % häufiger an der Pareseseite festgestellt werden. Auch beim Naserümpfen fielen bei allen Muskeln große Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Seiten auf. Eine sehr deutliche Potenzialzunahme wurde an der Pareseseite im Mittel 23,8 % häufiger dokumentiert und der Mittelwert der deutlichen Potenzialzunahme war an der Pareseseite 17,5 % größer als an der gesunden Seite. Der Mittelwert der Abweichung bei sehr deutlichen Potenzialzunahmen zwischen Pareseseite und gesunder Seite lag beim Stirnhochziehen bei 19,1 %. Im Mittel wurde eine deutliche Potenzialzunahme 9,5 % häufiger an der Pareseseite dokumentiert. Beim Augenbrauenzusammenziehen lag der Mittelwert der Abweichung zwischen den beiden Seiten bei der sehr deutlichen Potenzialzunahme bei 28,6 %. Eine deutliche Potenzialzunahme konnte im Mittel an der Pareseseite 25,4 % häufiger festgestellt werden. Bei lateralen Augenbewegungen in ipsilateraler und

kontralateraler Auslenkung war die Abweichung zwischen den Ergebnissen der Seite mit Parese und der gesunden Seite relativ gering.

Die Mittelwerte der Abweichungen zeigten eine eindeutige Tendenz an, nämlich, dass an der Pareseseite bei allen Muskeln häufiger große Potenzialzunahmen festgestellt wurden. Dies war bei folgenden Bewegungen der Fall: Mund spitzen, Nase rümpfen, Augenbrauen zusammenziehen und Stirn hochziehen. Beim Lächeln war sowohl an der Pareseseite als auch an der gesunden Seite sehr häufig eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme festzustellen. Daher war die Abweichung zwischen beiden Seiten hier relativ gering. Bei den horizontalen Augenbewegungen wurde bei beiden Seiten nur sehr selten eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme festgestellt. Daraus resultierte hier die geringe Abweichung.

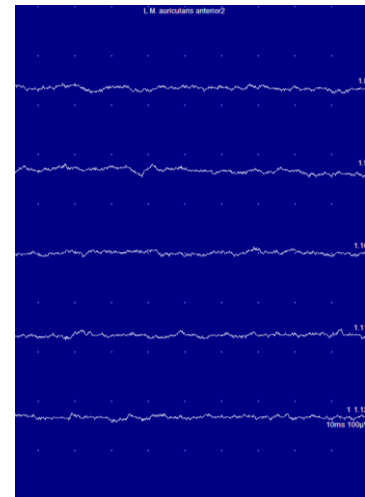
In Abb. 21 ist die Ruheaktivität des M. auricularis anterior auf der Seite der Fazialisparese dargestellt. Dem gegenüber ist die Ruheaktivität der gesunden Seite als Screenshot abgebildet. Das Ruhepotenzial der Pareseseite erscheint unruhiger, da die Amplituden der Spannungsänderungen der Grundaktivität größer sind.



EMG des M.  
auricularis anterior in  
Ruhe Pareseseite



Patient in Ruhe

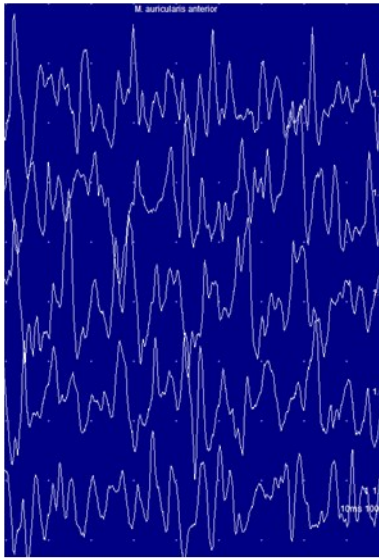


EMG des M.  
auricularis anterior in  
Ruhe

Abbildung 21: Screenshot der EMGs des M. auricularis anterior der Pareseseite und der gesunden Seite, Patient in Ruhe, X- Achse: Zeit (ms), Y-Achse: Spannung ( $\mu\text{V}$ ); Hochpassfilter von 20 Hz, Tiefpassfilter von 5 kHz

In Abb. 22 sind die Potenzialzunahmen des M. auricularis anterior beim Hochziehen der Stirn der paretischen Seite und der gesunden Seite

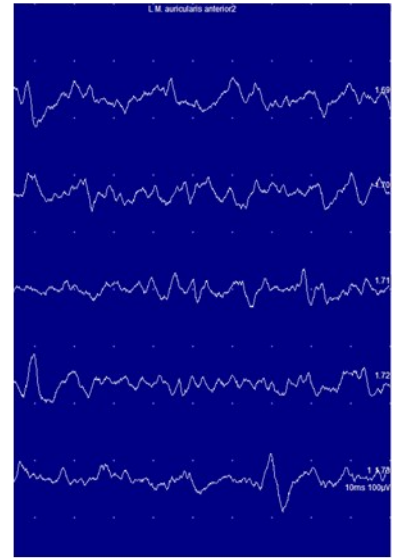
gegenübergestellt. Die paretische Seite wurde mit **++** bewertet, die gesunde Seite lediglich mit **(+)**.



Aktivität des M. auricularis anterior der Pareseseite ++



Patient zieht Stirn nach oben



Aktivität des M. auricularis anterior der gesunde Seite (+)

Abbildung 22: Screenshot der EMGs des M. auricularis anterior der Pareseseite und der gesunden Seite, Patient zieht die Stirn hoch, X- Achse: Zeit (ms), Y-Achse: Spannung ( $\mu\text{V}$ ); Hochpassfilter von 20 Hz, Tiefpassfilter von 5 kHz

Die Abbildungen 21 und 22 illustrieren die Unterschiede in den Ruhepotenzialen/ Aktivitätsveränderungen der paretischen und gesunden Seite exemplarisch für die vorgenommenen Messungen.

## 4.5 Ergebnisse des Mehrkanal-EMGs

In Tab. 18 sind die Ergebnisse des Mehrkanal-EMGs zusammengefasst. Im Folgenden werden die Ergebnisse in Bezug auf die einzelnen Bewegungen abschnittsweise aufgeführt.



Tabelle 18: Ergebnisse der Mehrkanal-EMGs

Bewegung	M. risorius	M. auricularis posterior	M. auricularis superior	M. tragicus	M. temporalis	M. masseter
Lächeln	++	=	++	++	+	+
Mund spitzen	++	=	+	(+)	+	(+)
Nase rümpfen	(+)	=	(+)	(+)	(+)	=
Stirn hochziehen	+	(+)	++	(+)	++	(+)
Augenbrauen zusammenziehen	+	=	+	=	+	(+)
Augenbewegungen ipsilateral	(+)	=	+	=	(+)	=
Augenbewegungen kontralateral	(+)	=	+	=	(+)	=
Ohren wackeln	(+)	+	++	+	++	(+)
Zähne zeigen	++	(+)	+	++	++	(+)
Zusammen beißen	++	=	(+)	(+)	++	++
Kauen ipsilateral	++	=	++	++	++	++
Kauen kontralateral	++	=	++	++	++	++

Legende Tabelle 18:

= keine Potenzialzunahme zur Grundaktivität

(+) geringe Potenzialzunahme zur Grundaktivität

X Messung nicht stattgefunden

+ deutliche Potenzialzunahme zur Grundaktivität

++ sehr deutliche Potenzialzunahme zur Grundaktivität

## **Lächeln**

Beim Lächeln zeigte sich beim M. risorius, M. auricularis superior sowie beim M. tragicus eine sehr deutliche Zunahme der Grundaktivität. Beim M. temporalis und M. masseter war eine deutliche Potenzialzunahme zu verzeichnen. Beim M. auricularis posterior war keine Zunahme des Potenzials abzuleiten.

## **Mund spitzen**

Beim Spitzen des Mundes konnte nur beim M. risorius eine sehr deutliche Potenzialzunahme abgeleitet werden. Der M. auricularis superior und der M. temporalis zeigten eine deutliche Potenzialzunahme. Eine geringe Potenzialzunahme war am M. tragicus und M. masseter abzuleiten. Lediglich am M. auricularis posterior war keine Potenzialzunahme zu verzeichnen.

## **Nase rümpfen**

Beim Rümpfen der Nase zeigte kein Muskel eine sehr deutliche oder deutliche Potenzialzunahme. Beim M. risorius, M. auricularis superior, M. tragicus, M. temporalis konnte eine Zunahme des Potenzials abgeleitet werden. Beim M. auricularis posterior und M. masseter war keine Potenzialzunahme festzustellen.

## **Stirn hochziehen**

Beim Hochziehen der Stirn konnte am M. auricularis anterior und M. temporalis eine sehr deutliche Potenzialzunahme verzeichnet werden. Der M. risorius zeigte eine deutliche Potenzialzunahme. Bei der Ableitung des M. auricularis posterior, M. tragicus und des M. masseter konnte eine geringe Zunahme des Potenzials festgestellt werden.

## **Augenbrauen zusammenziehen**

Beim Zusammenziehen der Augenbrauen konnte bei keinem Muskel eine sehr deutliche Potenzialzunahme abgeleitet werden. Eine deutliche Potenzialzunahme war am M. risorius, M. auricularis superior und beim M. temporalis zu verzeichnen. Beim M. masseter war eine geringe Potenzialzunahme abzuleiten. Der M. auricularis posterior und der M. tragicus zeigten keine Potenzialzunahme.

## **laterale Augenbewegungen in ipsilateraler und kontralateraler Auslenkung**

Bei den ipsilateralen und bei kontralateralen Augenbewegungen zur abgeleiteten Gesichtshälfte war bei keinem der Muskeln eine sehr deutliche Potenzialzunahme zu

verzeichnen. Der M. auricularis superior wies eine deutliche Potenzialzunahme auf. Der M. risorius und der M. temporalis zeigten eine geringe Potenzialzunahme. Beim M. auricularis posterior, M. tragicus und M. masseter war keine Zunahme des Potenzials ableitbar.

### **Ohren wackeln**

Beim Ohrenwackeln konnte beim M. auricularis superior und beim M. temporalis eine sehr deutliche Potenzialzunahme zur Grundaktivität abgeleitet werden. Der M. auricularis posterior und der M. tragicus zeigten eine deutliche Potenzialzunahme. Der M. risorius und der M. masseter wiesen eine geringe Potenzialzunahme auf.

### **Zähne zeigen**

Beim Zähne zeigen konnte beim M. risorius, M. tragicus und M. temporalis eine sehr deutliche Zunahme des Potenzials festgestellt werden. Eine deutliche Potenzialzunahme war beim M. auricularis superior nachweisbar. Der M. auricularis posterior und der M. masseter wiesen eine geringe Potenzialzunahme auf.

### **Zusammenbeißen der Zähne**

Beim Zusammenbeißen der Zähne konnte beim M. risorius, M. temporalis und M. masseter eine sehr deutliche Potenzialzunahme aufgezeichnet werden. Der M. auricularis superior zeigte eine deutliche Zunahme des Potenzials. Der M. tragicus wies eine geringe Zunahme des Potenzials auf. Beim M. auricularis posterior konnte keine Zunahme des Potenzials abgeleitet werden.

### **Kauen auf der ipsilateralen und kontralateralen Seite**

Beim Kauvorgang auf der ipsi- und kontralateralen Seite konnten identische Messergebnisse aufgezeichnet werden. So ließ sich bei allen Muskeln außer beim M. auricularis posterior eine sehr deutliche Potenzialzunahme ableiten. Der M. auricularis posterior wies keine Potenzialzunahme auf.

### **Vergleich der Ergebnisse des Nadel-EMGs und des Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs eines Probanden**

Zur Analyse wie oft das Messergebnis des Nadel-EMGs mit dem Messergebnis des Oberflächen-EMGs übereinstimmt, wurden diese miteinander verglichen. Eine Darstellung der genauen statistischen Verarbeitung der Daten ist in 3.5.1 wiedergegeben.

Die Anzahl der Messungen, bei denen sowohl ein Nadel-EMG als auch ein Oberflächen-EMG durchgeführt wurde, ergab hierbei 100%. Die relative Häufigkeit der Abstufungen (keine Abweichung; Abweichung einer Abstufung des subjektiven Scores; Größere Abweichung der Abstufung des subjektiven Scores) sind in Tab. 19 für alle Muskeln zusammen und für jeden einzelnen Muskel desselben Probanden dargestellt.

Der Vergleich der Ergebnisse der Oberflächen-EMGs und der Nadel-EMGs desselben Probanden zeigte, dass bei 44,6 % der Messungen die Ergebnisse beider Messmodi identisch waren und bei 36,6 % der Messungen eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores dokumentiert wurde. Lediglich bei 18,8 % der EMGs war die Abweichung der Ergebnisse des Nadel-EMGs und des Oberflächen-EMGs größer.

Tabelle 19: Vergleich Nadel-EMG und Oberflächen-EMG desselben Probanden

<b>Muskel</b>	<b>keine Abweichung (%)</b>	<b>Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores (%)</b>	<b>Größere Abweichung der Abstufung des subjektiven Scores (%)</b>
Alle Muskeln	44,6	36,6	18,8
M. auricularis anterior	35,7	50,0	14,3
M. auricularis superior	57,1	35,7	7,1
M. auricularis posterior	57,1	21,4	21,4
M. tragicus	35,7	35,7	28,6
M. antitragicus	50,0	35,7	14,3
M. helicis major	57,1	21,4	21,4
M helicis minor	42,9	42,9	14,3
M. transversus auriculae	14,3	42,9	42,9
M. obliquus auriculae	28,6	57,1	14,3

Beim Vergleich der Ergebnisse der extrinsischen Ohrmuskulatur wurde deutlich, dass insbesondere beim M. auricularis superior die Abweichung der Ergebnisse der unterschiedlichen Messarten besonders gering war. Bei 57,1 % der Messungen waren

die Ergebnisse des Nadel-EMGs und des Oberflächen-EMGs identisch. Nur bei 7,1 % der Messungen lag die Abweichung bei mehr als einer Abstufung des subjektiven Scores. Beim *M. auricularis posterior* gab es bei 57,2 % der Messungen keine Abweichungen der Ergebnisse des Nadel-EMGs und des Oberflächen-EMGs. Es konnten bei 21,4 % der Messungen mehr als eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores beim Vergleich der Messmodi festgestellt werden. Beim *M. auricularis anterior* waren nur 35,7 % der Ergebnisse beider Messmodi identisch, dafür war bei 50 % der Messungen nur eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores feststellbar.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Nadel- und der Oberflächen-EMGs der Vorderseite der intrinsischen Ohrmuskulatur fiel besonders der *M. tragicus* auf. Hier waren nur bei 37,7 % der Messungen die Ergebnisse beider Messmodi identisch. Bei 35,7 % der Messungen lag eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores vor. Eine Abweichung von mehr als einer Abstufung des subjektiven Scores konnte bei 28,6 % der Messungen festgestellt werden. Die Ergebnisse beider Messmodi waren beim *M. antitragicus* sehr ähnlich. So konnte bei 50 % der Messungen an diesem Muskel eine Übereinstimmung der Ergebnisse beider Messarten dokumentiert werden. Eine Differenz von einer Abstufung des subjektiven Scores lag bei 35,7 % der Messungen vor. Beim *M. helicis major* waren 57,1 % der Ergebnisse des Nadel- und des Oberflächen-EMGs identisch. Eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores konnte bei 21,4 % der EMG-Messungen festgestellt werden. Der Vergleich der Ergebnisse der Nadel- und der Oberflächen-EMGs des *M. helicis minor* zeigte eine Übereinstimmung der Ergebnisse bei 42,9% der durchgeführten Messungen. Bei 42,9 % der Messungen lag eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores vor.

Der Vergleich der Nadel- und der Oberflächen-EMGs der intrinsischen Muskulatur der Rückseite der Ohrmuschel zeigte beim *M. transversus auriculae* eine besonders geringe Übereinstimmung. Lediglich 14,3 % der Messungen beider Modi waren identisch. Bei 42,9 % der EMG-Messungen lag eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Scores vor. Eine größere Abweichung wurde bei 42,9 % der Messungen festgestellt. Die Diskrepanz der Ergebnisse beider Messmodi war beim *M. transversus auriculae* im Vergleich zu allen anderen Ohrmuskeln am größten. Beim *M. obliquus auriculae* stimmten 28,6 % der Ergebnisse des Nadel- und des Oberflächen-

EMGs überein. Bei 57,1 % der Messungen lag die Abweichung der Ergebnisse beider Messmodi bei einer Abstufung des subjektiven Scores.

Mehr als 50 % der Ergebnisse beider Messmodi waren identisch beim M. auricularis superior, beim M. auricularis posterior, beim M. helicis major. Beim M. antitragicus waren 50 % der Ergebnisse der Nadel- und der Oberflächen-EMGs identisch.

Bei keinem Muskel wurde beim Vergleich beider Messmodi bei mehr als 50 % der Ergebnisse eine Abweichung von mehr als einer Abstufung des subjektiven Scores festgestellt. Beim M. transversus auriculae war dies mit 42,9 % am häufigsten der Fall.

## 5 Diskussion

### 5.1 Präparation der Ohrmuskulatur in Bezug zur Literaturrecherche

Sowohl in anatomischer Fachliteratur als auch in den Fachbüchern der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde wird die Ohrmuskulatur kaum behandelt. Zur Vorbereitung auf die Präparation und die EMG-Messungen dienten unter anderem Abb. 2 und Abb. 3, welche im Folgenden mit den Präparationsergebnissen verglichen werden (Paulsen und Waschke 2010). Im Folgenden bezieht sich der Vergleich immer auf diese Quelle. Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht der Körperspender sowie deren Todesursache waren nicht bekannt. So kann im Folgenden auf diese anthropometrischen Größen nicht eingegangen werden.

#### Vorderseite der Ohrmuschel

Lage, Form und Faserverlauf des *M. auricularis anterior* (Nr. 1, Abb. 23), des *M. tragus* (Nr. 2, Abb. 23) und des *M. antitragicus* stimmten (Nr. 3, Abb. 23) in Zeichnung und fotografischer Darstellung der Präparation nahezu überein. In Abb. 23 sind die anatomische Zeichnung und die fotografisch dokumentierten Ergebnisse der Präparation der Vorderseite der Ohrmuschel gegenübergestellt. In der anatomischen Zeichnung wird der Verlauf des *M. antitragicus* innerhalb des Ohrknorpels angedeutet. Dieser konnte durch eine Schlitzung während der Präparation bestätigt werden. Auch der *M. tragus* ist laut Waschke und Paulsen im knorpeligen Tragus (Paulsen und Waschke 2010). Dies konnte ebenfalls durch eine Inzision und Aufklappen des Tragus bestätigt werden. Lediglich der *M. helicis major* (Nr. 4, Abb. 23) erscheint am präparierten Ohr deutlich kürzer, wobei der Faserverlauf der *Crus helicis* / der *Helix* folgt. Die Präparation des *M. helicis minor* war nicht möglich. Der laut Fachliteratur kleinste intrinsische Ohrmuskel konnte am unteren Schenkel der *Crus helicis* nicht dargestellt werden (vgl. Paulsen und Waschke, 2010). Dies kann auf die geringe Größe des Muskels zurückgeführt werden, oder auf die Tatsache, dass dieser Muskel bei beiden Körperspendern eventuell nicht angelegt war. Zur Inzidenz von Nichtanlagen der Ohrmuskulatur liegen keine Daten vor. Zur Nichtanlage anderer mimischer Muskeln wie dem *M. depressor anguli oris*, gibt es Studien, die eine Inzidenz zwischen 0,26 % und 0,82 % beschreiben (Papadatos et al. 1974); (Levin et al. 1982). Dies kann zwar einen Näherungswert für die Ohrmuskulatur liefern, da beide Muskeln zur mimischen Muskulatur gehören, für präzisere Aussagen bezüglich der

Häufigkeit müssten jedoch größer angelegte Präparationen der Ohrmuskulatur erfolgen.

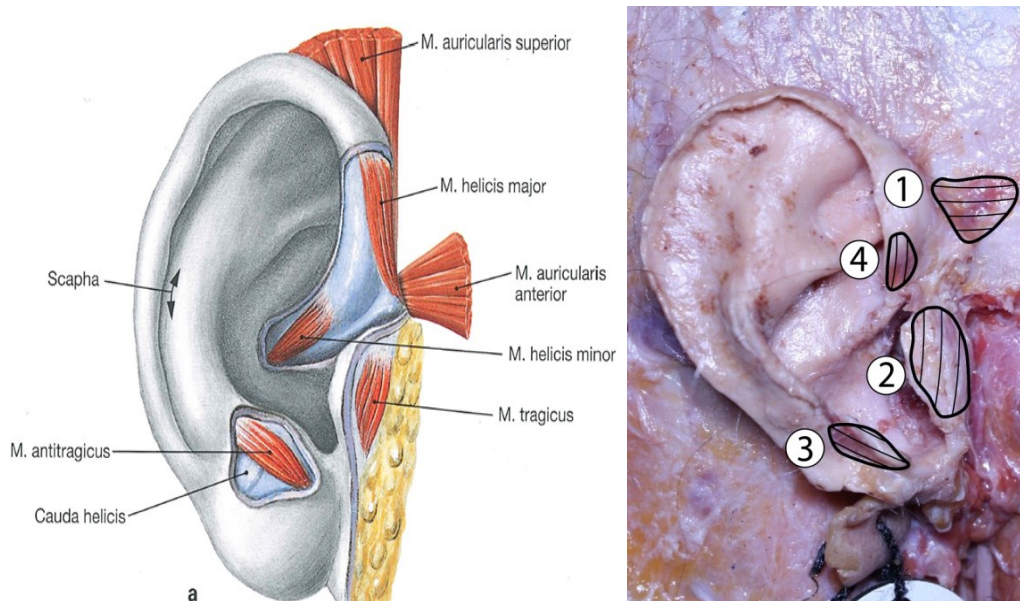


Abbildung 23: Vergleich anatomische Zeichnung der Ohrvorderseite (Paulsen und Waschke, 2010) und anatomische Präparation

### Rückseite der Ohrmuschel

In Abb. 24 sind die anatomische Zeichnung und die fotografisch dokumentierten Ergebnisse der Präparation der Rückseite der Ohrmuschel gegenübergestellt. Lage, Faserverlauf und Größe der präparierten Mm. transversus auriculae (Nr. 7, Abb. 24) und des M. obliquus auriculae stimmten mit der Literaturrecherche überein (vgl. Ziller et al. 2010). Jedoch konnte bei einem der beiden präparierten Ohren der M. obliquus auricularis nicht dargestellt werden. Die Faltung der Anthelix war bei diesem Präparat jedoch vollständig erhalten, was nach Zerlin et al. darauf schließen lässt, dass der Muskel beim Probanden angelegt war, aber bei der Präparation nicht erhalten werden konnte (Zerlin et al. 1982).

Beim M. auricularis superior (Nr. 5, Abb. 24) war dies ebenfalls der Fall, wobei jedoch der mehrschichtige Aufbau des Muskels nicht in der Literatur beschrieben wird (Paulsen und Waschke 2010, Zilles und Tillmann 2011). Der mehrbäuchige Aufbau, sowie die Größe des M. auricularis posterior (Nr. 6, Abb. 24) stellten ebenfalls eine Abweichung von den Zeichnungen der Fachliteratur dar (vgl. Paulsen und Waschke 2010). Laut Chon beträgt die durchschnittliche Breite des M. auricularis superior 5cm



und die durchschnittliche Höhe 5 cm (Chon et al. 2021). Diese Größenverhältnisse wurden in der Präparation beider Ohren bestätigt.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche konnten durch die Präparationen im Uniklinikum Hamburg Eppendorf bestätigt werden. Die durch die Präparationen gewonnenen Erkenntnisse sind besonders wertvoll in Bezug auf den dreidimensionalen Aufbau der Ohrmuschel und erleichterten die Positionierung der Elektroden. Die eingangs aufgestellte Hypothese „Die anatomische Literatur kann durch anatomische Präparationen von Ohrmuscheln bestätigt werden.“ erweist sich als richtig.

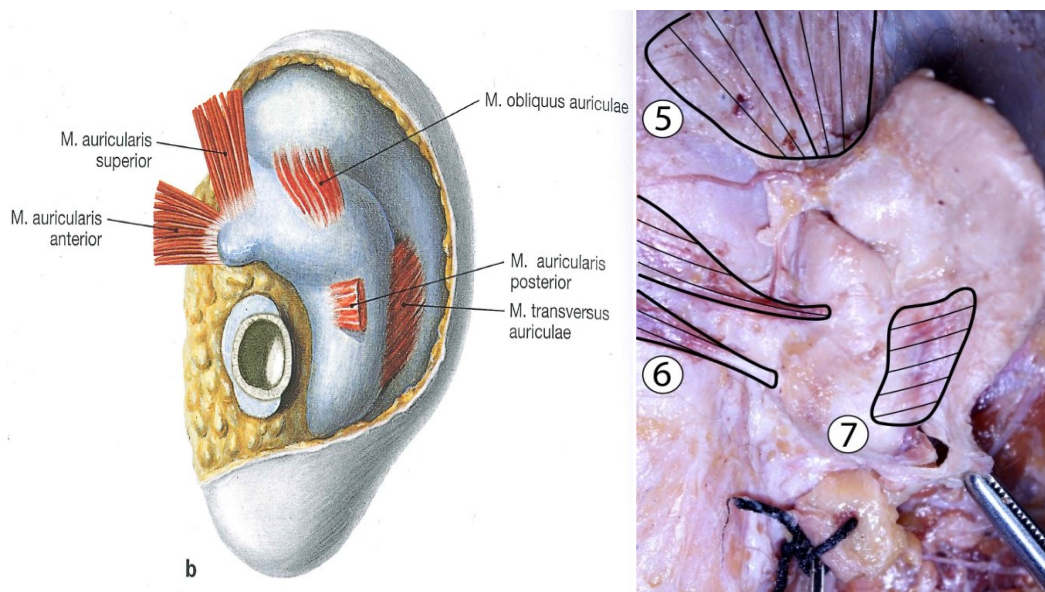


Abbildung 24: Vergleich anatomische Zeichnung der Ohrrückseite (Paulsen und Waschke, 2010) und anatomische Präparation

## 5.2 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse des Nadel-EMGs mittels Oberflächen-EMG

Die Übereinstimmung der Ergebnisse von Nadel- und Oberflächen-EMG desselben Probanden war bei der extrinsischen Ohrmuskulatur sehr groß.

Da der M. auricularis posterior und der M. auricularis superior gut zu tasten und zu sehen waren, konnte die Ableitung eines EMGs mittels beider Messverfahren sicher durchgeführt werden, was die geringe Diskrepanz der Ergebnisse beider Messmodi erklärt. Der Unterschied der EMG-Ergebnisse beider Messmodi war am M. auricularis anterior am größten. Dieser Muskel schien aufgrund seiner Lage und der Nähe zur mimischen Muskulatur schwieriger abzuleiten (siehe Abb. 1 und Abb. 15).

Die Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Messmodi bei den Ableitungen der intrinsischen Muskulatur war ebenfalls sehr groß. Die Ergebnisse der Mm. helicis major und minor zeigten beide insbesondere in Bezug auf ihre geringe Größe und die schwierige Positionierung der Klebeelektroden eine überraschend große Deckungsgleichheit oder nur eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Bewertungsscores.

Die Abweichungen der Ergebnisse waren beim M. tragicus unerwartet am größten. Aufgrund der klaren Lokalisation des M. tragicus im Tragus war zunächst davon ausgegangen worden, dass dieser Muskel besonders gut mit Nadel und mit Oberflächenelektrode abzuleiten sei (siehe Abb. 14 und Abb. 15). Bei 28,6% der Messungen war diese größer als eine Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Bewertungsscores. Diese große Abweichung kann auf die innercartiläre Lage des Muskels zurückzuführen sein, oder auf die Tatsache, dass der eigentliche ableitende Teil der Elektrode schwierig auf dem kleinen Tragus zu positionieren ist.

Der Vergleich der beiden Messmethoden zeigte bei den Ergebnissen der intrinsischen Muskeln der Rückseite der Ohrmuschel große Differenzen. Besonders die Ergebnisse des Nadel-EMGs und des Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs des M. transversus auriculae waren sehr unterschiedlich. Dies war überraschend, da der M. transversus auriculae anhand der Fältelung der Ohrmuschel gut aufzusuchen ist. Dies legt nahe, dass die mimischen Bewegungen bei der Durchführung des Nadel-EMGs nicht korrekt ausgeführt wurden. Lediglich bei 14,3 % der Messungen lag keine Abweichung zwischen beiden Modi vor. Außerdem empfand der Proband die Punktierung der Ohrrückseite als besonders schmerzhaft und unangenehm, deswegen beeilte man sich bei dieser Ableitung besonders, was die Ergebnisse ebenfalls verfälscht haben könnte. Die Muskulatur der Ohrrückseite wurde zuletzt abgeleitet. Der Proband empfand die Versuchsdurchführung gegen Ende der Messungen als anstrengend und herausfordernd, was die Messergebnisse der EMGs ebenfalls verfälscht haben könnte.

Der Versuchsaufbau bei beiden Messungen war identisch: Der Patient lag möglichst entspannt auf einer Untersuchungsliege, der Kopf wurde durch eine Nackenrolle gestützt. Zwischen den Messungen liegen jedoch mehrere Monate. Idealerweise hätte man die Versuche an aufeinander folgenden Tagen durchführen sollen, um die Abweichungen z.B. bei der Durchführung der mimischen Bewegungen möglichst

gering zu halten, sodass die Verwendung von unterschiedlichen Elektroden (Oberflächen; Nadel) als einzige Variable die Messungen beeinflusst. Der zeitliche Abstand der Messungen desselben Probanden führte gegebenenfalls zu Abweichungen, jedoch wurde diese Fehlerquelle bereits während der Messungen bedacht und auf die präzise Durchführung der Bewegungen geachtet, um möglichst identische Bedingungen für beide Messmodi zu erzeugen.

Der Vergleich der Ergebnisse des Nadel-EMGs und des Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs zeigt, dass beide Messmodi zur Ableitung von EMGs aller Ohrmuskeln geeignet sind. Die Ergebnisse sind größtenteils identisch oder weisen nur eine geringe Abweichung von einer Abstufung des subjektiven Bewertungsscores auf. In der Literatur finden sich ähnliche Aussagen, die sich auf andere mimische Muskeln beziehen. So wurden bei der Untersuchung des Blinkreflexes am *M. orbicularis oculi* keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen des Nadel- und des Oberflächen-EMGs festgestellt (Hacke et al. 1981). In der Literatur sind keine Vergleiche von Nadel-EMG und Oberflächen-EMG der Ohrmuskulatur aufgeführt.

Die Gegenüberstellung von Nadel-EMG und Oberflächen-Ein-Kanal-EMG lässt nur bedingt eine Aussage über die Qualität des Oberflächen-EMGs zu. Sie soll vielmehr unterstreichen, dass auch beim Nadel-EMG Verfälschungen der Ergebnisse entstehen können, welche auf eine Behinderung der Bewegungsausführung durch die inserierte Nadel oder auf die filigrane Handhabung der EMG-Nadel zurückzuführen sein könnte (Huang et al. 2005). Bei der Ableitung mittels einer Feinnadelelektrode wird zudem nur ein kleiner Bereich des Muskels abgeleitet (Merletti und Farina 2009). So kann es sein, dass die Elektrode die Potenzialzunahme eines eher weniger aktiven Muskelareals wiedergibt, obwohl der Muskel im Ganzen aktiv ist. Die Ableitung eines Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs wird durch die relativ großen Klebeelektroden und die dreidimensionale Gestalt der Ohrmuschel erschwert. Ebenso können umliegende (größere) Muskeln die Potenzialzunahme verfälschen. Trotzdem überwiegt der Vorteil der einfachen Handhabung und non-invasiven Ableitungsmethode.

### **5.3 Aussagekraft der Ergebnisse des Mehrkanal-EMGs**

Bei den Messungen des Mehrkanal-EMGs wurden beide Elektroden auf dem abzuleitenden Muskel positioniert, was den abzuleitenden Bereich im Vergleich zum Messaufbau des Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs deutlich eingrenzte. Bei den Ein-

Kanal-EMGs befand sich die Referenzelektrode auf dem Processus spinosus des siebten Halswirbels, die Elektrode auf dem abzuleitenden Muskel war 20-30 cm von dieser entfernt. Bei dem Mehr-Kanal-EMGs lagen bei der Ableitung der Ohrmuskeln (M. auricularis superior, M. auricularis posterior, M. tragicus) lediglich 0,5 cm zwischen beiden Elektroden.

Die Elektroden des M. tragicus befanden sich auf der Vorder- und auf der Rückseite des knorpeligen Tragus. So waren beide Elektroden circa gleich weit vom M. risorius (7 cm) und vom M. temporalis (4 cm), welche beim Lachen aktiv sind, entfernt. Die Potenzialzunahme, welche zwischen den Elektroden am M. tragicus gemessen werden konnte, muss also vom Muskel selbst ausgehen, da eventuelle Überlagerungen an Elektrode 1 und 2 des Muskels abgeleitet werden und sich somit gegenseitig aufheben. Es ist davon auszugehen, dass tatsächlich Potenziale der Ohrmuskeln abgeleitet wurden und nicht nur Aktivitäten von umliegender mimischer Muskulatur oder der Kaumuskulatur. Die eingangs aufgestellte Hypothese „Oberflächen-EMGs sind an allen intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln durchführbar.“ wurde bestätigt.

#### **5.4 Aktivitätsmuster bei den Probanden**

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs ließ sich feststellen, dass man beim Lächeln von einer starken Koaktivierung aller Ohrmuskeln ausgehen kann. Die Ergebnisse, die Berzin und Fortinguerra bereits 1993 für die extrinsische Ohrmuskulatur beim Lächeln feststellten, konnten bestätigt werden und auch auf die intrinsische Ohrmuskulatur übertragen werden (Berzin und Fortinguerra 1993). So konnte bei allen intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln eine deutliche Zunahme des EMG-Signals festgestellt werden. Beim Mundspitzen, Naserümpfen und Stirnhochziehen waren an allen Muskeln alle Klassifikationen der Amplitudenveränderung des EMG-Signals festzustellen. Es ließen sich jedoch Muskeln identifizieren, bei denen die Wahrscheinlichkeit einer sehr deutlichen oder einer deutlichen Potenzialveränderung größer war als bei anderen Muskeln (z.B. M. helicus major, M. auricularis anterior und superior). Beim Augenbrauenzusammenziehen war bei allen Ohrmuskeln eher seltener eine Amplitudenveränderung des EMG-Signals festzustellen. Jedoch ist auch hier eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialveränderung möglich. Bei lateralen

Augenbewegungen in ipsilateraler und horizontaler Auslenkung ist eine Potenzialveränderung bei allen Muskeln, außer dem M. transversus auriculae und dem M. obliquus auriculae, laut den Ergebnissen der EMG-Messungen unwahrscheinlich. Heusers Beobachtungen aus dem Jahre 1976, die eine Verdrehung der Ohrmuschel in sich bei lateralen Augenbewegungen beschreibt, konnte in diesem Versuchsaufbau nicht bestätigt werden (Heuser 1976). Augenbewegungen in lateraler Auslenkungen verstärken den PAMR laut EMG-Untersuchungen aus dem Jahre 2014 (Cook und Patuzzi 2014). Eine alleinige Muskelaktivierung im Sinne einer sehr deutlichen oder einer deutlichen Zunahme des EMG-Signals des M. auricularis posterior konnte bei horizontalen Augenbewegungen in ipsilateraler und kontralateraler Auslenkung bei 25% der Probanden am rechten Ohr gemessen werden. Am linken Ohr wurde bei ipsilateraler Auslenkung bei 33,3% der Probanden eine sehr deutliche oder eine deutliche Potenzialzunahme festgestellt. Bei kontralateraler Auslenkung der horizontalen Augenbewegungen war dies lediglich bei 16,7% der Fall. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass der M. auricularis posterior durch laterale Augenbewegungen koaktiviert werden kann auch wenn kein akustischer Reiz vorliegt. Das Ausbleiben der Zunahme des Nadel-EMG-Signals des M. transversus auriculae bei horizontalen Augenbewegungen in ipsilateraler Auslenkung wurde in einer Studie mit 1186 Probanden als Indikator für eine supranucleäre Läsion des Hirnstammes gewertet (Urban et al. 1993). Bei 33,3 % der Messungen blieb eine Zunahme des EMG-Signals des M. transversus auriculae aus, wenn die Probanden horizontale Augenbewegungen durchführten. Eine Läsion des Hirnstammes ist bei den Probanden dieser Studie auszuschließen. Folglich wurden durch das Oberflächen-EMG nicht alle Potenzialzunahmen aufgezeichnet.

Die willkürliche Ansteuerung des M. auricularis posterior und des M. auricularis superior ist trainierbar. So konnten in Studien Probanden erlernen einen Rollstuhl mittels der Kontraktion des M. auricularis posterior zu steuern (Schmalfuss et al. 2016). In Studien aus dem Jahr 2011 wird ebenfalls beschrieben, dass Probanden die willkürliche Kontraktion des M. auricularis superior trainieren konnten (Vernon und Joshi 2011). Es gibt keine Studien, die die willkürliche Ansteuerung der übrigen Ohrmuskulatur beschreiben.

Zum Zeitpunkt der Messungen lagen, neben Berzin und Fortinguerras Erkenntnissen, keine Informationen über potenzielle Koaktivierung der Ohrmuskulatur bei der

Durchführung von mimischen Bewegungen vor (Berzin und Fortinguerra 1993). Lediglich die Koaktivierung des M. transversus auriculae bei Bewegungen des Augapfels war ebenfalls bekannt (Urban et al. 1993).

Durch diesen Versuchsaufbau konnten erstmalig Oberflächen-EMGs aller Ohrmuskeln angefertigt werden, die die EMG-Signalveränderungen bei der Durchführung von mimischen Bewegungen dokumentieren. Somit kann die eingangs aufgestellte Hypothese „Aktivitätsmuster aller intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln können anhand von Oberflächen-EMGs bestimmt werden.“ bestätigt werden.

## **5.5 Unterschiede der Aktivitätsmuster der gesunden Seite und der Seite mit Parese bei Patienten mit Fazialisparese**

Die in dieser Arbeit durchgeführten und beschriebenen EMG-Ableitungen der Ohrmuskulatur sind die ersten dieser Art. Es lagen zum Zeitpunkt der Messungen keine Informationen über die EMG-Aktivitäten der Ohrmuskulatur bei Patienten mit Fazialisparese vor. In der Literatur ist kein Vergleich von EMG-Aktivitäten bei Koaktivierung der Ohrmuskulatur von paretischer Seite und gesunder Seite bei mimischen Bewegungen zu finden.

Unterschiede zwischen EMG-Messungen der mimischen Muskulatur der gesunden Seite und der paretischen Seite bei Menschen mit Fazialisparese wurden von Bernardes et al. 2018 untersucht. Dabei wurden bei 17 Patienten mit Defektheilung und Synkinesien nach Fazialisparese simultan Oberflächen-EMGs der paretischen Seite und der gesunden Seite beim Lächeln, Mundspitzen, Lidschluss und Augenbrauenhochziehen durchgeführt und miteinander verglichen. An der paretischen Seite fiel die EMG-Aktivität der eigentlich aktiven Muskeln geringer aus als an der gesunden Seite (Bernardes et al. 2018). Im Gegensatz dazu fiel bei den in der vorliegenden Arbeit durchgeführten EMG-Ableitungen beim Vergleich der paretischen und der gesunden Seite auf, dass die Zunahmen des EMG-Signals der Ohrmuskulatur an der paretischen Seite größer waren als an der gesunden Seite. Bernardes et al. beobachteten synkinetische Aktivitäten. So war beim Mundspitzen und Lidschluss die EMG-Aktivität an der paretischen Seite bei Muskeln erhöht, die eigentlich in Ruhe sein sollten (Bernardes et al. 2018).

Bei den Patienten des Fazialis-Nerv-Zentrums der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena wurden an der

paretischen Seite sehr ausgeprägte Zunahmen des EMG-Signals beobachtet. Sehr deutliche und deutliche Potenzialzunahmen wurden an der paretischen Seite häufiger detektiert als an der gesunden Seite. Die Diskrepanz zwischen den EMGs der gesunden Seite und der paretischen Seite zeigen, dass die EMGs ebenfalls synkinetische Aktivierung beinhalten könnten.

In einem Fallbeispiel von 2020 wurden 10 Jahre nach dem initialen Onset einer rechtsseitigen, unilateralen Fazialisparese bei einem Patienten oculo-auriculäre Synkinesien beobachtet. Beim breiten Lächeln, Kopfdrehung nach links Kauen, spontanen Blinzeln, Stirn hochziehen, festem Lidschluss und vertikalen Augenbewegungen konnten eine Aktivität des M. auricularis superior, M. auricularis posterior und des M. transversus auriculae visuell detektiert werden (Hobson und Borys 2020).

Die Ergebnisse dieser Dissertation sind ebenfalls ein Indiz, dass bei Patienten mit Synkinesien der mimischen Muskulatur ebenfalls eine synkinetische Koaktivierung der Ohrmuskulatur erfolgt, die durch EMG-Messungen detektiert werden könnten. So konnten bei allen mimischen Bewegungen und bei allen Ohrmuskeln an der paretischen Seite häufiger sehr deutliche oder deutliche Potenzialzunahmen des EMG-Signals abgelesen werden als an der gesunden Seite. Um die synkinetische Aktivität sicher zu belegen, müssten Mehr-Kanal-EMGs der mimischen Muskulatur und der Ohrmuskulatur der gesunden und der paretischen Seite simultan abgeleitet werden.

Die eingangs aufgestellte Hypothese „Unterschiede zwischen den EMGs der gesunden und paretischen Seite bei Patienten mit chronischer Fazialisparese können anhand von Oberflächen-EMGs detektiert und ausgewertet werden.“ konnte somit bestätigt werden.

Bei weiterführenden Mehr-Kanal-EMGs von Ohrmuskulatur und mimischer Muskulatur, bei der simultan gesunde und paretische Seite abgeleitet werden, könnte überprüft werden, inwiefern sich die Erkenntnisse von Bernardes et al. auf die Ohrmuskulatur applizieren lassen und welche synkinetischen Muster patientenindividuell vorliegen. Oberflächen- oder Nadel-EMGs der Ohrmuskulatur könnten bei der Entwicklung von Neuroprothesen, die z. B. den ungewollten, synkinetischen Lidschluss beim Lächeln verhindern, als Trigger für die Unterbindung der synkinetischen Bewegung des Zielmuskels (hier M. orbicularis oculi) dienen.

Kurita et al. konnten bereits 2010 durch eine Neuroprothese das Hochziehen der Augenbraue an der durch Lokalanästhetikum gelähmten Gesichtshälfte mittels Elektrostimulation hervorrufen. Als Trigger diene hierzu ein EMG-Signal der nicht-gelähmten Gesichtshälfte. Die Bewegung konnte sicher hervorgerufen werden, erfolgte jedoch zeitlich verzögert (Kurita et al. 2010). Im Tierversuch konnten Neuroprothesen getestet werden, die durch Hochfrequenz Wechselstrom neurale Blockaden an einer Gesichtshälfte auslösten während funktionale elektrische Stimulation durch die andere Gesichtshälfte zu einer erfolgreichen Aktivierung der mimischen Muskulatur führte. Dieses Prinzip wäre am Menschen anwendbar, um die physiologische Mimik nach einer Fazialisparese wieder herzustellen und simultan synkinetische Bewegungsmuster zu unterbinden (Jowett et al. 2019).

## **5.6 Das Untersuchungsprotokoll**

Der für diese Arbeit verwendete qualitative Score zur Beurteilung der EMG-Aktivitätsveränderungen ist stark an andere klinische Scores angelehnt (Guntinas-Lichius et al. 2020). Guntinas-Lichius et al. etablierten in ihrer Publikation eine Bewertung von Nadel-EMGs von Patienten mit Fazialisparese. Die EMG-Aktivitäten werden wie folgt klassifiziert: no activity; normal activity; increased activity; highly increased activity. Ähnliche Scores werden ebenfalls in Publikationen und wissenschaftlichen Arbeiten verwendet. So nutzen auch Schmidt und Thoden bei ihren Ableitungen der Ohrmuskulatur einen subjektiven Score. Die Veränderung der EMG-Aktivität wurde wie folgt bewertet: distinct; activity minor; no; changing from distinct to minor (Schmidt und Thoden 1978). Der in dieser Arbeit verwendete Score ähnelt den oben genannten Grading Systemen. Um die Reproduzierbarkeit der Bewertung der EMGs mittels des qualitativen Scores zu überprüfen, wäre eine Bewertung der EMG-Aktivitätsveränderungen durch verschiedene Untersucher nötig gewesen.

Der subjektive Score dient zur Einordnung der Aktivität und Festlegung, welche mimischen Bewegungen und welche Muskeln im Rahmen weiterer Dissertationen fortführend untersucht werden sollen (Hoche, in Arbeit).

In dieser Arbeit diene die qualitative Bewertung als erster Schritt auf dem Weg zu einer quantitativen Analyse für weiterführende Forschung in diesem Gebiet. Leistritz et al. erarbeiteten in ihrer proof-of-concept Studie eine EMG-Verarbeitung, um pathologische von physiologischer Aktivität am M. orbicularis oculi und M. zygomaticus



bei Patienten mit chronischer Fazialisparese beim Lidschluss und Lächeln automatisch zu detektieren (Leistriz et al. 2020). Eine Applikation dieses Prinzips ist auch für die Ohrmuskulatur denkbar.

Bei Ein-Kanal-EMGs muss jede Bewegung vom Probanden/ Patienten 48-mal durchgeführt werden. Dies führt unweigerlich zur psychischen und physischen Ermüdung im Verlauf der EMG-Messungen. Mimische Bewegungen werden nicht mehr so präzise ausgeführt und Muskeln, die zuletzt abgeleitet werden, werden eventuell nicht mit derselben Stärke koaktiviert wie Muskeln, die zu Beginn abgeleitet wurden. Durch die Ein-Kanal-EMGs und die direkte Bewertung der EMGs dauert eine vollständige Messung relativ lange (ca. 120 Minuten). Die Verweildauer im Versuchsraum war laut Probanden zu lang bei ungenügender Belüftung. So wurde der Versuchsaufbau von einigen Probanden als sehr anstrengend empfunden. In den auf dieser Dissertation folgenden Untersuchungen wurde ein Mehr-Kanal-EMG verwendet, um zeitgleich die Muskeln der gesunden und der Pareseseite abzuleiten und so identische Bedingungen bei einer Koaktivität zu gewährleisten.

## 6 Schlussfolgerungen

Die anatomische Präparation der zwei Ohren an halbierten Köpfen in der Rechtsmedizin des Uniklinikums Hamburg-Eppendorf ermöglichte es, eine gute räumliche Vorstellung für die kleinen und fragilen Ohrmuskeln zu bekommen. Lage, Verlauf und Größe der Muskeln stimmten weitestgehend mit den Informationen aus der anatomischen Fachliteratur überein. Daraus resultierte das wichtige Verständnis der dreidimensionalen Strukturen und Lageverhältnisse, um das Ankleben der Klebeelektroden und die Insertion der Nadelelektrode sicher durchzuführen.

Mit dieser Arbeit liegen erstmals Daten zur Durchführung von EMGs an allen intrinsischen und extrinsischen Ohrmuskeln vor. Die Koaktivierung der Ohrmuskulatur beim Lächeln, Mundspitzen, Naserümpfen und weiteren mimischen Bewegungen konnte mittels Oberflächen- und Nadel-EMG-Ableitungen dargestellt werden.

Die Ergebnisse des Nadel-EMGs lassen sich mit einem 1-Kanal-Oberflächen-EMG nicht vollständig reproduzieren, jedoch besteht eine große Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Das Nadel-EMG, mit seiner sehr hohen räumlichen Auflösung und einem Messfeld von nur ca. einem Kubikmillimeter, bestätigte, dass die gemessene Aktivität wirklich von den eingestochenen Ohrmuskeln kam und nicht etwas von den viel größeren Kaumuskeln.

Da die Kernaussagen der Messungen, bezogen auf eine Zunahme des EMG-Signals, jedoch gleich sind, ist davon auszugehen, dass EMGs der Ohrmuskulatur sowohl mittels einer bipolaren Nadelelektrode als auch mittels einer Oberflächelektrode abzuleiten sind.

Der klinische Nutzen der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse liegt zum einem in der Generierung eines Versuchsprotokolls, mit dem weiterführende EMG-Messungen durchgeführt werden können. So können durch die in dieser Arbeit gewonnen Erkenntnisse in Bezug auf die Anatomie der Ohrmuskulatur und der Durchführung von Feinnadel- und Oberflächen-EMGs genutzt werden, um Studien durchzuführen, die die quantitative Beurteilung der EMGs der Ohrmuskulatur ermöglichen und somit die Funktion und Aktivität der Ohrmuskulatur näher beschreiben.

Im Rahmen von weiteren Forschungsarbeiten, die im Fazialis-Nerv-Zentrum der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena

und im Motoriklabor (Funktionsbereich Motorik der Klinik für Hand-, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Jena) erfolgen, werden bereits erfolgreich Mehr-Kanal-EMGs der Ohrmuskulatur durchgeführt. Die in dieser Arbeit präsentierten Erkenntnisse konnten bereits bestätigt und vertieft werden. So wird aktuell ein Biofeedback basiertes Training entwickelt, bei dem die EMG-Aktivitätsveränderungen der Ohrmuskulatur bei Patienten mit Fazialisparese als Tool zur Evaluation des Trainingsverlaufes dienen (Hoche, in Arbeit).

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass Oberflächen-EMGs aller Ohrmuskeln möglich und sinnvoll sind, da individuelle Aktivitätsmuster bei der Koaktivierung durch mimische Bewegungen festgestellt werden konnten. Diese Erkenntnisse in Bezug auf Funktion und Aktivität der Ohrmuskulatur eröffnen neue Möglichkeiten für die Diagnostik und Therapie von Patienten mit Fazialisparese. Perspektivisch könnte bei Patienten mit peripherer Fazialisparese ein Ohrmuskel identifiziert werden, dessen Potentialveränderungen der Koaktivierung bei mimischen Bewegungen zur Steuerung von Bewegungen der gelähmten mimischen Muskulatur genutzt werden könnte.

## 7 Literaturverzeichnis

- Adrian ED, Bronk DW. 1928. The discharge of impulses in motor nerve fibres: Part I. Impulses in single fibres of the phrenic nerve. *Journal of Physiology*, 66 (1):81-101.
- Aumüller G. 2010. *Anatomie*. Stuttgart: Thieme.
- Basmajian JV, De Luca CJ. 1985. *Muscles alive: their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Benning SD, Patrick CJ, Lang AR. 2004. Emotional modulation of the post-auricular reflex. *Psychophysiology*, 41 (3):426-432.
- Benninghoff A, Drenckhahn D. 2004. *Anatomie, Band 2*. München: Urban und Fischer, Elsevier.
- Bernardes DFF, Bento RF, Goffi Gomez MVS. 2018. The Contribution of Surface Electromyographic Assessment for Defining the Stage of Peripheral Facial Paralysis: Flaccid or Sequelae Stage. *International archives of otorhinolaryngology*, 22 (4):348-357.
- Berzin F, Fortinguerra CR. 1993. EMG study of the anterior, superior and posterior auricular muscles in man. *Annals of Anatomy*, 175 (2):195-197.
- Bischoff C, Conrad B, Benecke R. 2005. *Das EMG-Buch* Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Bochenek W, Bochenek Z. 1976. Postauricular (12 msec latency) responses to acoustic stimuli in patients with peripheral, facial nerve palsy. *Acta Otolaryngologica*, 81 (3-4):264-269.
- Cho HJ, Kim HY. 2009. Interesting sign of Bell's palsy in an ear wiggler. *Neurological Sciences*, 30 (4):345-347.
- Chon BH, Blandford AD, Hwang CJ, Petkovsek D, Zheng A, Zhao C, Cao J, Grissom N, Perry JD. 2021. Dimensions, Function and Applications of the Auricular Muscle in Facial Plastic Surgery. *Aesthetic Plastic Surgery*, 45 (1):309-314.
- Cook A, Patuzzi R. 2014. Rotation of the eyes (not the head) potentiates the postauricular muscle response. *Ear and Hearing*, 35 (2):230-235.
- Crumley RL. 1979. Mechanisms of Synkinesis. *Laryngoscope*, 89 (11):1847-1854.
- Dobel C, Miltner WH, Witte OW, Volk GF, Guntinas-Lichius O. 2013. [Emotional impact of facial palsy]. *Laryngorhinootologie*, 92 (1):9-23.
- Finkensieper M, Volk GF, Guntinas-Lichius O. 2012. [Facial nerve disorders]. *Laryngorhinootologie*, 91 (2):121-141; quiz 142.
- Graumann W, Sasse D. 2005. *Compactlehrbuch Anatomie*. Stuttgart: Schattauer.
- Gündüz A, Kızıltan ME, Uygunoğlu U, Delil S, Sohtaoğlu M, Ergin H, Tutuncu M. 2013. Understanding the features of posterior auricular muscle response in a facial nerve disease prototype. *Kulak Burun Bogaz Ihtis Derg*, 23 (3):173-178.
- Guntinas-Lichius O, Volk GF, Olsen KD, Makitie AA, Silver CE, Zafereo ME, Rinaldo A, Randolph GW, Simo R, Shaha AR, Vander Poorten V, Ferlito A. 2020. Facial nerve electrodiagnostics for patients with facial palsy: a clinical practice guideline. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 277 (7):1855-1874.

- Hacke W, Schaar B, Schafer C. 1981. Comparison of the Blink-Reflex Obtained Using Needle-Electrodes and Surface-Electrodes. *Eeg-Emg-Zeitschrift Fur Elektroenzephalographie Elektromyographie Und Verwandte Gebiete*, 12 (4):190-194.
- Heuser M. 1976. Oculoauricular Phenomenon - New Reflex, a New Muscle-M Retroauricularis (Polygraphically Emg Study). *Journal of Neurology*, 212 (1):95-99.
- Hobson DE, Borys AE. 2020. Oculo-Auricular Synkinesia Post Bell's Palsy Causing Unilateral Wilson's Phenomenon. *Movement Disorders Clinical Practice*, 7 (5):564-566.
- Hoche E. (geplant, noch nicht veröffentlicht). Evaluation eines Biofeedback-Trainings von Patienten mit synkinetisch reinnervierter chronisch peripherer Fazialisparese mittels Multikanal-Oberflächen-EMG der intrinsischen und extrinsischen aurikulären Muskulatur. Disseration, Medizinische Fakultät, Friedrich-Schiller-Universität, Jena.
- Huang C-N, Chen C-H, Chung H-Y. 2005. The review of applications and measurements in facial electromyography. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 25:15-20.
- Johnson GM, Valle-Inclán F, Geary DC, Hackley SA. 2012. The nursing hypothesis: An evolutionary account of emotional modulation of the postauricular reflex. *Psychophysiology*, 49 (2):178-185.
- Jowett N, Kearney RE, Knox CJ, Hadlock TA. 2019. Toward the Bionic Face: A Novel Neuroprosthetic Device Paradigm for Facial Reanimation Consisting of Neural Blockade and Functional Electrical Stimulation. *Journal of Plastic Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 143 (1):62e-76e.
- Kurita M, Takushima A, Muraoka Y, Shiraishi T, Harii K. 2010. Feasibility of bionic reanimation of a paralyzed face: a preliminary study of functional electrical stimulation of a paralyzed facial muscle controlled with the electromyography of the contralateral healthy hemiface. *Journal of Plastic Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 126 (2):81e-83e.
- Leistritz L, Hochreiter J, Bachl F, Volk GF. 2020. Classification of facial movements in chronic facial palsy based on intramuscular EMG signals recorded from the paretic side. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2020:662-665.
- Levin SE, Silverman NH, Milner S. 1982. Hypoplasia or absence of the depressor anguli oris muscle and congenital abnormalities, with special reference to the cardiofacial syndrome. *South African Medical Journal*, 61 (7):227-231.
- Lippert H. 2013. *Anatomie am Lebenden*. Berlin: Springer Verlag.
- Liugan M, Zhang M, Cakmak YO. 2018. Neuroprosthetics for Auricular Muscles: Neural Networks and Clinical Aspects. *Frontiers in Neurology*, 8:752.
- Meincke J, Hewitt M, Reischl M, Rupp R, Schmidt-Samoa C, Liebetanz D. 2018. Cortical representation of auricular muscles in humans: A robot-controlled TMS mapping and fMRI study. *PLoS One*, 13 (7):e0201277.

- Merletti R, Farina D. 2009. Analysis of intramuscular electromyogram signals. *Philosophical Transaction of the Royal Society A Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367 (1887):357-368.
- Merletti R, Botter A, Troiano A, Merlo E, Minetto MA. 2009. Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: state of the art. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 24 (2):122-134.
- Moneta L.B Q-DL. 2017. Embryology and anatomy of the ear. *Operative Techniques in Otolaryngology*, 2 (28):66-71.
- Nordander C, Willner J, Hansson GA, Larsson B, Unge J, Granquist L, Skerfving S. 2003. Influence of the subcutaneous fat layer, as measured by ultrasound, skinfold calipers and BMI, on the EMG amplitude. *European Journal of Applied Physiology*, 89 (6):514-519.
- Papadatos C, Alexiou D, Nicolopoulos D, Mikropoulos H, Hadzigeorgiou E. 1974. Congenital hypoplasia of depressor anguli oris muscle. A genetically determined condition? *Archives of Disease in Childhood*, 49 (12):927-931.
- Parmigiani F, Buratti C. 1998. [Posterior auricular muscle reflex in the study of the facial muscle function]. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 18 (1):1-6.
- Paulsen F, Waschke J. 2011. Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 3: Kopf, Hals und Neuroanatomie. Elsevier Health Sciences Germany.
- Pernkopf E, Pichler A. 1937. Topographische Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas der regionär-stratigraphischen Präparation. I. Allgemeines. Brust und Brustgliedmasse. (2 Hälften. 1937.) II. Bauch. Becken und Beckgliedmasse. (2 Hälften. 1941.) III. Der Hals. (1952.) IV.1. Topographische Anatomie des Kopfes. Hälften. 1957). Urban & Schwarzenberg.
- Peuker ET, Filler TJ. 2002. The nerve supply of the human auricle. *Clinical Anatomy*, 15 (1):35-37.
- Poeck K, Hacke W. 2006. Neurologie. 12 Aufl. Berlin: Springer.
- Rauber A, Kopsch F. 1941. Rauber-Kopsch Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen: in 3 Bänden. Eingeweide, Gefäße. Georg Thieme.
- Rubin DI. 2019. Needle electromyography: Basic concepts. *Handbook of clinical neurology*, 160:243-256.
- Schmalfluss L, Hahne J, Farina D, Hewitt M, Kogut A, Doneit W, Reischl M, Rupp R, Liebetanz D. 2018. A hybrid auricular control system: direct, simultaneous, and proportional myoelectric control of two degrees of freedom in prosthetic hands. *Journal of Neural Engineering*, 15 (5):056028.
- Schmalfluss L, Rupp R, Tuga MR, Kogut A, Hewitt M, Meincke J, Klinker F, Duttonhoefer W, Eck U, Mikut R, Reischl M, Liebetanz D. 2016. Steer by ear: Myoelectric auricular control of powered wheelchairs for individuals with spinal cord injury. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 34 (1):79-95.
- Schmidt D, Thoden U. 1978. Co-activation of the M. transversus auris with eye movements (Wilson's oculo-auricular phenomenon) and with activity in other cranial nerves. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 206 (4):227-236.

- Serra G, Tugnoli V, Cristofori M, Eleopra R, De Grandis DJE, neurophysiology c. 1986. The electromyographic examination of the posterior auricular muscle. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 26 (8):661-665.
- Stöhr M, Pfister R. 2014. *Klinische Elektromyographie und Neurographie - Lehrbuch und Atlas*. Kohlhammer Verlag.
- Tillmann B. 1997. *Farbatlas der Anatomie: Zahnmedizin - Humanmedizin ; Kopf- Hals - Rumpf*. Thieme.
- Tolleth H. 1978. Artistic anatomy, dimensions, and proportions of the external ear. *Clinical Plastic Surgery*, 5 (3):337-345.
- Trepel M. 2008. *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*. Elsevier, Urban & Fischer.
- Urban PP, Marczyński U, Hopf HC. 1993. The oculo-auricular phenomenon. Findings in normals and patients with brainstem lesions. *Brain*, 116 ( Pt 3):727-738.
- Vernon S, Joshi SS. 2011. Multidimensional control using a mobile-phone based brain-muscle-computer interface. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011:5188-5194.
- Volk GF, Hesse S, Geissler K, Kutterreich AM, Thielker J, Dobel C, Guntinas-Lichius O. 2021. Role of Body Dysmorphic Disorder in Patients With Postparalytic Facial Synkinesis. *Laryngoscope*, doi: 10.1002/lary.29526. Online ahead of print.
- Zerin M, Van Allen MI, Smith DW. 1982. Intrinsic auricular muscles and auricular form. *Pediatrics*, 69 (1):91-93.
- Zilles K, Tillmann B. 2011. *Anatomie*. Springer Berlin Heidelberg.

## 8 Anhang

### 8.1 Dokumente, Tabellen, Abbildungen

#### **Einverständniserklärung zur Durchführung von EMG-Messungen**

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer!

Das Ziel des heutigen Versuches ist die Ableitung der mimischen Muskulatur mittels Oberflächen- oder Feinnadelelektroden zum Zwecke der Darstellung eines Aktivitätsmusters. Dabei wird Ihre Haut zunächst mit einem speziellen Reinigungsgel gesäubert, dann desinfiziert, sodass Elektroden auf die betreffenden Areale geklebt werden können. Alternativ wird nach der Desinfektion der betreffende Muskel mittels einer Feinnadelelektrode punktiert. Um die Einstichsensation zu reduzieren kann die Haut zuvor mit einem Oberflächenanästhetikum bestrichen werden.

Ihre Teilnahme ist dabei absolut freiwillig. Bitte treffen Sie Ihre Entscheidung zur Teilnahme nach reiflicher Überlegung

Diese Studie wird am Fazialis-Nerv-Zentrum, Universitätsklinikum Jena durchgeführt.

Nicht jeder Patient kann an dieser Studie teilnehmen. Für die Teilnahme an dieser Studie müssen Sie die folgenden Kriterien erfüllen:

- Sie sind über 18 Jahre alt.
- Sie haben keine Begleiterkrankungen, die das Ergebnis beeinflussen könnten (z.B. Muskel- oder Hauterkrankungen, Epilepsie, Allergien)

Schwangere und stillende Frauen sind von einer Teilnahme ausgeschlossen.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Ihre weitere medizinische Betreuung. Ebenso kann von Seiten des Studienarztes Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig beendet werden, falls davon auszugehen ist, dass Ihre Teilnahme riskant für Sie sein kann oder dass Sie nicht alle Anforderungen für diese Studie erfüllen.

Ihre Zustimmung zur Verwendung Ihrer Daten in dieser Studie ist absolut freiwillig. Ihnen entstehen keine Nachteile, wenn Sie der Verwendung Ihrer Daten nicht zustimmen. Diese Studie, sowie die vorliegende Patienteninformation und Einwilligungserklärung, wurden von der zuständigen Ethikkommission zustimmend bewertet.

Nehmen Sie sich bitte ausreichend Zeit, um diese Patienteninformation zu lesen. Sie können selbstverständlich auch Ihre Familie, Freunde und Ihren Hausarzt bezüglich Ihrer Teilnahme an dieser Studie befragen.

#### **1. WAS IST DER ZWECK DIESER STUDIE?**

Das Hauptziel dieser Studie ist es zu untersuchen, wie die Aktivität der Ohrmuskulatur mit mimischen Bewegungen des Gesichtes zusammenhängt.



## 2. WIE VIELE TEILNEHMER SIND ERFORDERLICH?

Es werden mindestens 5 und maximal 100 Teilnehmer in diese Studie eingeschlossen.

## 3. WAS MUSS ICH BEI EINER TEILNAHME TUN?

Nach Ihrem Einschluss in die Studie werden Sie gebeten an einer einzigen Untersuchung teilzunehmen, die in 2 Teile gegliedert ist. Zunächst erfassen wir ihre persönlichen Daten, dann erfolgt die Ableitung eines Elektromyogramms.

Eine genaue Beschreibung aller durchgeführten Tests finden Sie in Abschnitt 4.

## 4. WIE LÄUFT DIE STUDIE AB?

Die folgenden Daten werden im Laufe dieser Studie gesammelt:

- **Demographische Daten:** Zu Beginn der Studie sammeln wir Informationen zu Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht. Damit kann gegebenenfalls festgestellt werden, ob diese Größen einen Einfluss auf die Wirkung der Elektrostimulation haben.
- **Daten zur Krankengeschichte:** Wir sammeln folgende Daten:
  - Informationen zu **Begleiterkrankungen** im letzten Jahr und gegebenenfalls zu **Implantaten**, da diese unter Umständen einen Einfluss auf die Behandlung haben könnten.
  - Gegebenenfalls Informationen zu Ihrer **Teilnahme an anderen Studien**.
- **Elektromyographie (EMG):** EMGs werden standardmäßig verwendet, um die Aktivität bzw. den Grad der fehlgeleiteten Reinnervation von Muskeln zu bestimmen. Dazu werden die elektrischen Signale innerhalb eines Muskels gemessen. Für diesen Test werden kleine Oberflächenelektroden verwendet, die auf die Haut aufgeklebt werden. Alternativ können dünne Nadelelektroden verwendet werden, die in den zu untersuchenden Muskel eingestochen werden. Diese Einstiche erfolgen unter Lokalanästhesie werden nach den Standardmethoden der Klinik durchgeführt.
- **Videoaufnahme:** Während der Ableitung des Elektromyogramms wird die mimische Bewegung Ihres Gesichts festgehalten.

Nach Unterzeichnung und Datierung der Informations- und Einverständniserklärung durch den Teilnehmer und vor der Stimulation werden folgende Daten erfasst:

- Demographische Daten (Alter, Geschlecht, BMI)
- Allgemeine Krankengeschichte (Komorbiditäten, aktuell implantierte Medizinprodukte)
- Teilnahme an anderen klinischen Studien

Anschließend wird eine EMG Untersuchung des Zielmuskels durchgeführt.

## WIE LANGE DAUERT MEINE TEILNAHME AN DIESER STUDIE?

Die einmalige Visite für diese klinische Prüfung dauert max. 2 Stunden.

## 5. WAS SIND DIE MÖGLICHEN NACHTEILE UND RISIKEN BEI EINER TEILNAHME AN DIESER STUDIE?

Der Ablauf der klinischen Studie wurde so geplant, dass mögliche Risiken auf ein Minimum reduziert wurden.

Dies sind die möglichen Risiken, denen Sie bei einer Teilnahme ausgesetzt sind:

- lokale Rötung der Haut im Bereich der Elektrode
- Schmerzen im Bereich der Elektroden

Im Falle einer solchen unerwünschten Wirkung wird die Messung beendet und anschließend werden die Elektroden entfernt.

## **6. WELCHE VORTEILE HABE ICH VON MEINER TEILNAHME AN DIESER STUDIE?**

Die Ergebnisse dieser klinischen Prüfung liefern neue Erkenntnisse über die Aktivitätsmuster der Ohrmuskulatur. Auf den Ergebnissen aufbauend können weitere Studien folgen und die Entwicklung von muskulär gesteuerten Geräten vorangetrieben werden.

## **7. INFORMATIONEN FÜR GEBÄRFÄHIGE FRAUEN**

Schwangere und stillende Frauen dürfen an dieser klinischen Studie NICHT teilnehmen.

## **8. WELCHE RECHTE HABE ICH ALS TEILNEHMER?**

Ihre Zustimmung zur Verwendung Ihrer Daten in dieser Studie ist absolut freiwillig. Wenn Sie nicht an dieser Studie teilnehmen, wird dies Ihre Behandlung in keiner Weise negativ beeinflussen. Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen Ihre Teilnahme an dieser Studie beenden.

Der Studienarzt wird Sie umgehend informieren, falls neue bedeutende Erkenntnisse im Themenbereich dieser Studie auftauchen, die Ihre Bereitschaft zur Teilnahme an der Studie beeinflussen könnten. Sie werden Gelegenheit haben die Erkenntnisse direkt mit dem Studienarzt zu besprechen und zu entscheiden, ob Sie die Teilnahme fortführen oder abbrechen möchten. Die Entscheidung zum Abbruch wird Ihre medizinische Behandlung in keiner Weise negativ beeinflussen.

## **9. WEN KANN ICH BEI PROBLEMEN ODER FRAGEN KONTAKTIEREN?**

Falls Sie irgendein klinisches Ereignis vermuten/ feststellen, das Einfluss auf Ihren Gesundheitszustand hat, rufen Sie bitte umgehend die Hotline an, unter der Sie rund um die Uhr PD Dr. med. Gerd Fabian Volk (+49 3641 9329396) erreichen.

Sollten Sie Fragen zur Art oder zum Zweck dieser klinischen Studie, zur vorgesehenen Behandlung oder zu den geplanten Untersuchungen haben, wenden Sie sich bitte an PD Dr. med. Gerd Fabian Volk (+49 3641 9329396).

Bei Fragen zu Terminen oder dem Verschieben von Terminen für diese klinische Studie, wenden Sie sich bitte an Hanna Rüschemschmidt (+49 17670675953).

Falls Sie Zugang zu Ihren personenbezogenen Daten aufgrund einer Richtigstellung oder Löschung möchten, kontaktieren Sie bitte PD Dr. med. Gerd Fabian Volk (+49 3641 9329396)

Sie erhalten ein zweites Original dieses Dokuments. Wenn Sie mehr über die Studie erfahren möchten, kontaktieren Sie bitte:

PD Dr. med. Gerd Fabian Volk, Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Jena, Haus A1, Am Klinikum 1, 07747 Jena, Deutschland, Tel. +49 3641 9329396, E-Mail: fabian.volk@med.uni-jena.de

## **DATENSCHUTZERKLÄRUNG**

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Datenverarbeitung unterliegt den Bestimmungen der aktuell gültigen europäischen Richtlinie 2002/22/EC (Universalienrichtlinie), der aktuell gültigen europäischen Richtlinie 2002/58/EC (Datenschutzrichtlinie für elektronische Kommunikation) und der aktuell gültigen europäischen Verordnung (EG) NR. 2006/2004 (Verordnung über die Zusammenarbeit im Verbraucherschutz), welche in der nationalen Gesetzgebung implementiert sind im DSGVO (Novelle 2014), sowie der ab 25. Mai 2018 wirksamen europäischen Verordnung 2016/679 (Verordnung zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG - Datenschutz-Grundverordnung).

### **1. FÜR WELCHE ZWECKE WERDEN DIE ERGEBNISSE DIESER STUDIE VERWENDET?**

Die Ergebnisse aus dieser Studie werden in erster Linie verwendet, um die im Abschnitt 1 der Patienteninformation erwähnten Ziele zu erreichen.

Ihre pseudonymisierten Daten könnten für die Entwicklung medizinischer Tests oder Verfahren nützlich sein, die kommerziellen Wert haben. Sie werden allerdings keinerlei Vergütung, die aus diesen kommerziellen Tests oder Behandlungen entstammt, erhalten. Ihre Ergebnisse können gegebenenfalls für Folgestudien verwendet werden, obwohl deren Zweck noch unbekannt ist.

### **2. WER HAT ZUGRIFF AUF MEINE MEDIZINISCHEN AKTEN?**

In dieser Studie werden medizinische Akten angelegt, auf die ausschließlich das Klinikpersonal des Studienzentrums Zugriff hat, der laut Vorschrift der Klinik gerechtfertigt ist. Der vom Sponsor ernannte Monitor und die Inspektoren und Auditoren der zuständigen Überwachungsbehörden haben ein Recht auf Einsichtnahme in Ihre originalen medizinischen Akten. Dies dient dem ausschließlichen Zweck der Überprüfung der Daten dieser Studie und Sicherstellung, dass die Durchführung der Studie den regulatorischen Anforderungen entspricht. Diesen Personen ist es nicht gestattet Kopien Ihrer personenbezogenen Daten anzufertigen, oder die Originale von den Räumlichkeiten der Klinik zu entfernen.

Im Rahmen der Datenanalyse und wissenschaftlichen Auswertung werden die in dieser Studie generierten Daten ausschließlich in pseudonymisierter Form verwendet (Pseudonymisiert bedeutet, dass keine Angaben von Namen oder Initialen verwendet werden, sondern nur ein Nummern- und/oder Buchstabencode, evtl. mit Angabe des Geburtsjahres). Die pseudonymisierten Daten werden an den Sponsor weitergegeben. Weitere Kliniken, die an der Datenauswertung beteiligt sind, werden nur pseudonymisierte Daten erhalten.

Da Daten für wissenschaftliche Publikationen in internationalen Zeitschriften genutzt werden könnten, werden Ihre pseudonymisierten Daten ins Ausland übermittelt. Bitte beachten Sie, dass in einigen Ländern (z. B. USA) der Datenschutzstandard niedriger ist als in der EU. Es werden nur pseudonymisierte Daten übermittelt und ausschließlich zu forschungsbezogenen und regulatorischen Zwecken, die den geltenden nationalen und internationalen Datenschutzrichtlinien entsprechen.

Pseudonymisierte Daten, die beim Sponsor und/oder dem Studienzentrum gelagert und archiviert werden, könnten bei Inspektionen und/oder Audits durch nationale oder internationale Überwachungsbehörden eingesehen werden. Dies dient dem ausschließlichen Zweck der Sicherstellung, dass die Durchführung der Studie den regulatorischen Anforderungen entspricht. Diesen Personen ist es nicht gestattet Kopien dieser Daten anzufertigen, bzw. Originale oder Kopien von den Räumlichkeiten zu entfernen.

### **3. WIE WERDEN MEINE PERSONENBEZOGENEN DATEN PSEUDONYMISIERT?**

Der Studienarzt oder einer seiner Klinikmitarbeiter werden Ihre persönlichen Daten mithilfe einer für diese Studie erstellten Identifikationsliste, des sog. „Subjects' Identification Log“, pseudonymisieren. Auf die Identifikationsliste, die an der Klinik aufbewahrt wird, haben ausschließlich der Studienarzt und seine angewiesenen Mitarbeiter Zugriff, so wie es im „Delegation of Responsibilities Log“ vorgesehen ist. Der Monitor erhält Zugriff auf das „Subjects' Identification Log“, um für diese Studie on-site Monitoring durchzuführen, sowie die zuständigen Inspektoren und Auditoren, um Inspektionen und/oder Audits der Studie 2018FNZ-EAR-EMG im Auftrag der befugten regulatorischen Behörden oder des Sponsors durchzuführen. Unter keinen Umständen wird das „Subjects' Identification Log“ kopiert oder außerhalb des Studienzentrums gebracht.

### **4. WO WERDEN MEINE PERSONENBEZOGENEN DATEN VERWAHRT?**

Ihre personenbezogenen Daten werden an der Klinik, entsprechend den Vorschriften der Klinik und der Datenschutz-Grundverordnung, aufbewahrt.

Pseudonymisierte Daten werden für die gesamte Dauer der Studie sowohl an der Klinik als auch beim Sponsor aufbewahrt.

Nach Abschluss der Studie werden die pseudonymisierten Daten nur noch beim Sponsor für 15 Jahre archiviert.

Die pseudonymisierten Daten sind für die Dauer der Studie für Investigatoren, vom Sponsor ernannte Monitore, Mitarbeiter der Studie, Statistiker, Datenmanager und Study Nurses zugänglich.

Nach der Archivierung der pseudonymisierten Daten können ausschließlich der Studienarzt oder der Leiter der Studie des Sponsors darauf zugreifen und nur für regulatorische Zwecke, z.B. Audits oder Inspektionen.

### **5. WIE UND WO WERDEN DIE ERGEBNISSE DIESER STUDIE VERÖFFENTLICHT?**

Die Ergebnisse aus dieser Studie werden, gemäß den geltenden nationalen und internationalen Richtlinien zum Datenschutz, in pseudonymisierter Form veröffentlicht. Dementsprechend sind Rückschlüsse durch Dritte von personenbezogenen Daten auf Ihre Person nicht möglich (d.h. Identifikationsmerkmale auf Fotos, in Videos und/oder Audiodateien werden vor Veröffentlichung unkenntlich gemacht, bzw. verdeckt, Name oder Geburtsdatum werden keinesfalls veröffentlicht), es sei denn sie haben Zugang zur Identifikationsliste, die jedoch streng vertraulich ist (siehe Punkt 3). Eine Pseudonymisierung wird, im Gegensatz zur Anonymisierung, bevorzugt eingesetzt, um die Integrität der Daten zu wahren (d.h. um die Veröffentlichung verfälschter Daten zu vermeiden, deren Herkunft durch die Verschlüsselung nicht mehr überprüft werden kann).

Die Ergebnisse werden, unabhängig vom Verlauf der Studie und ausschließlich in pseudonymisierter Form, folgendermaßen veröffentlicht:

- Die Ergebnisse der Studie können bei Konferenzen, Symposien und/oder Workshops veröffentlicht werden, nachdem die entsprechende Zwischen- oder endgültige Auswertung abgeschlossen wurde.
- Nach Abschluss der Studie können die Ergebnisse für wissenschaftliche Publikationen in Zeitschriften verwendet werden.

### **5.1 Werden Fotos meines Gesichts veröffentlicht?**

In dieser Studie wird die Effektivität der elektrischen Stimulation zur Wiederherstellung des Volumens und der Funktionalität der Gesichtsmuskulatur bewertet. Es besteht daher die Möglichkeit, dass der Hauptprüfer Fotos zur Untermauerung der These in Publikationen verwenden möchte.

Die Fotos werden mit so wenig wie möglich erkennbaren Details dargestellt. Sollten Augen- und Lippenmuskulatur zugleich gezeigt werden, kann dies schwierig sein. In diesem Fall wird das Gesicht seitlich dargestellt, um die Erkennbarkeit möglichst einzuschränken.

In jedem Fall setzt die Veröffentlichung Ihrer Gesichtsfotos Ihre schriftliche Einverständnis voraus. Hierzu bekommen Sie ein separates Formblatt ausgehändigt, welches die Fotos enthält, die veröffentlicht werden sollen. Sollten Sie sich dagegen entscheiden werden Ihre Fotos nicht veröffentlicht. Die Ablehnung der Veröffentlichung der Fotos hat keine nachteiligen Folgen für Ihre weitere medizinische Betreuung.

## **6. DARF ICH SELBST AUF MEINE MEDIZINISCHEN DATEN WÄHREND DER STUDIE ZUGREIFEN?**

Sie können am Ende jeder Visite für diese Studie eine kostenlose elektronische Kopie der Daten mitnehmen, die während dieser Visite generiert wurden (in einem Format, das mit Microsoft Office Excel, Access, Word und MediaPlayer oder ähnlichen Programmen gelesen werden kann).

Die Einwilligung zur Erhebung und Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten, insbesondere der Angaben über Ihre Gesundheit, ist widerruflich. Sie sind bereits darüber aufgeklärt worden, dass Sie jederzeit die Teilnahme an der Studie beenden können. Im Fall eines solchen Widerrufs Ihrer Einwilligung, an der Studie

teilzunehmen, erklären Sie sich damit einverstanden, dass die bis zu diesem Zeitpunkt gespeicherten Daten weiterhin ausschließlich in pseudonymisierter Form für die Zwecke dieser Studie verwendet werden dürfen.

Sie haben das Recht Ihre personenbezogenen Daten korrigieren oder löschen zu lassen. Die Anfrage sollte per Telefon, Email oder Fax an den Studienarzt gerichtet werden, der den Sponsor innerhalb der darauffolgenden drei Werktage darüber informieren wird. Der Sponsor wird dem Studienarzt wiederum innerhalb von drei Werktagen antworten und der Studienarzt wird die Antwort innerhalb von drei Werktagen an Sie weiterleiten. Sollte der Sponsor nicht in der Lage sein, Ihrer Anforderung nachzukommen, muss er den entsprechenden Erwägungsgrund der aktuellen EU-Datenschutz-Grundverordnung anführen, wonach er Ihrer Anforderung nicht nachkommen kann. Sie können die Angelegenheit sowohl mit dem Studienarzt als auch einem Vertreter des Sponsors besprechen. Sollte es nicht möglich sein, eine akzeptable Lösung für alle Beteiligten zu erreichen, haben Sie das Recht in Ihrem Heimatland dagegen zu klagen.

#### **7. MIT WEM WERDE ICH WÄHREND DER STUDIE IN KONTAKT TRETEN?**

Ihre primären Ansprechpartner während der Studie werden der Studienarzt und seine Mitarbeiter sein. Bei Messungen und Tests werden Sie und das Klinikpersonal auch mit Forschungsmitarbeitern des Sponsors in Kontakt treten, die damit beauftragt wurden den sicheren und korrekten Ablauf der Tests sicherzustellen.

### **EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG ZUM DATENSCHUTZ**

Mir ist bekannt, dass bei diesem Forschungsvorhaben personenbezogene Daten, insbesondere medizinische Befunde über mich erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Die Verwendung der Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor der Teilnahme an dem Forschungsvorhaben folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, das heißt ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der Studie teilnehmen.

1. Ich  willige ein /  willige nicht ein, dass im Rahmen dieses Forschungsvorhabens personenbezogene Daten, insbesondere Angaben über meine Gesundheit und meine ethnische Herkunft, über mich erhoben und in Papierform sowie auf elektronischen Datenträgern bei/in der Klinik aufgezeichnet werden. Soweit erforderlich, dürfen die erhobenen Daten pseudonymisiert (verschlüsselt) weitergegeben werden:
  - a) an MED-EL, den Auftraggeber, oder eine von diesem beauftragte Stelle zum Zwecke der wissenschaftlichen Auswertung,
  - b) im Falle unerwünschter Ereignisse: an MED-EL, den Auftraggeber, und die zuständige Landesbehörde.
2. Außerdem  willige ich ein /  willige ich nicht ein, dass autorisierte und zur Verschwiegenheit verpflichtete Beauftragte des Auftraggebers sowie die zuständigen Überwachungsbehörden in meine beim Studienarzt vorhandenen personenbezogenen Daten, insbesondere meine Gesundheitsdaten, Einsicht nehmen, soweit dies für die Überprüfung der ordnungsgemäßen Durchführung des Forschungsvorhabens notwendig ist.

Für diese Maßnahme entbinde ich den Studienarzt von der ärztlichen Schweigepflicht.

3. Für den Fall, dass das Forschungsvorhaben in mehreren Ländern durchgeführt wird,  willige ich ein /  willige ich nicht ein, dass zur Überprüfung des Forschungsvorhabens meine aufgezeichneten Daten pseudonymisiert auch an die zuständige ausländische Überwachungsbehörde weitergeleitet werden, und dass ein zur Verschwiegenheit verpflichteter Beauftragter der zuständigen ausländischen Überwachungsbehörde in meine personenbezogenen Daten Einsicht nimmt, soweit dies für die Überprüfung des Forschungsvorhabens notwendig ist. Mir ist bewusst, dass in einigen Ländern (z. B. USA) der Datenschutzstandard niedriger ist als in der EU.
4. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an dem Forschungsvorhaben beenden kann. Mir ist auch bekannt, dass ich keine Gründe für das frühzeitige Beenden meiner Teilnahme an dieser Studie nennen muss, es sei denn meine Entscheidung basiert auf eintretenden Beeinträchtigungen und/oder unerwünschten oder unerwarteten Nebenwirkungen. Für diesen Fall wurde es mir empfohlen, den Studienarzt über die Natur und das Ausmaß meiner Symptome zu informieren. Beim Widerruf meiner Einwilligung, an dem Forschungsvorhaben teilzunehmen, habe ich das Recht, die Löschung aller meiner bis dahin gespeicherten personenbezogenen Daten zu verlangen.
5. Ich  willig ein /  willige nicht ein, dass meine Daten nach Beendigung oder Abbruch des Forschungsvorhabens 15 Jahre aufbewahrt werden. Danach werden meine personenbezogenen Daten gelöscht.
6. Ich  willige ein /  willige nicht ein, dass meine Daten wie im Abschnitt 8 der Datenschutzerklärung geschildert zu Zwecken der Kostenerstattung verwendet werden.
7. Ich  willige ein /  willige nicht ein, dass Gesundheitsdaten bei mitbehandelnden Ärzten erhoben oder eingesehen werden, soweit dies für die ordnungsgemäße Durchführung und Überwachung des Forschungsvorhabens notwendig ist. Insoweit entbinde ich diese Ärzte von der Schweigepflicht.

Ich habe alle erhaltenen Informationen und Erklärungen verstanden und hatte ausreichend Zeit, meine Teilnahme an dieser Studie zu bedenken.

Mein Hausarzt \_\_\_\_\_ sowie jeder von mir gewünschte Arzt \_\_\_\_\_ oder Berater \_\_\_\_\_:

wird

wird nicht

über meine Teilnahme an dieser Studie informiert.

Ich bestätige, dass ich ein Original der vorliegenden Patienteninformation sowie der Einverständniserklärung erhalten habe.

**Name des Studienteilnehmers**

<b>Datum (TT MMM JJ; z.B. 01JAN17)</b>							
<b>Unterschrift des Studienteilnehmers</b>							

### **Einwilligungserklärung**

Ich, der Unterzeichner, willige hiermit ein, an der in der vorliegenden Patienteninformation beschriebenen Studie teilzunehmen.

Meine Einwilligung ist freiwillig und wurde ohne jegliche finanzielle Versprechungen oder Vorteile anderer Natur oder einer Verpflichtung gegenüber dem Studienarzt gegeben.

Mir ist bekannt, dass ich meine Teilnahme an der Studie jederzeit beenden kann. Mir ist auch bekannt, dass ich keine Gründe für das frühzeitige Beenden meiner Studienteilnahme nennen muss, es sei denn meine Entscheidung basiert auf eintretenden Beeinträchtigungen und/oder unerwünschten oder unerwarteten Nebenwirkungen. Für diesen Fall wurde es mir empfohlen, den Studienarzt über die Natur und das Ausmaß meiner Symptome zu informieren.

Ich hatte Gelegenheit, die in dieser Patienteninformation enthaltenen Informationen zu lesen und Fragen über die Studienziele und -methoden, die möglichen Vorteile und Risiken, die Wirkung der zu untersuchenden Methode sowie meine Rechte als Studienteilnehmer zu stellen.

Ich habe alle erhaltenen Informationen und Erklärungen verstanden und hatte ausreichend Zeit, meine Teilnahme an dieser Studie zu bedenken.

Ich bestätige, dass ich eine Kopie bzw. eine zweite Originalausgabe der vorliegenden Patienteninformation sowie der Einverständniserklärung erhalten habe.

<b>Name des Studienteilnehmers</b>							
<b>Datum (TT MMM JJ; z.B. 01JAN17)</b>							
<b>Unterschrift des Studienteilnehmers</b>							

### **ERKLÄRUNG DES STUDIENARZTES**

Hiermit erkläre ich, dass ich den Teilnehmer an dieser Studie über die Studie informiert und die Natur, das Ziel und die zu untersuchenden Verfahren ausführlich erklärt habe. Ich erkläre außerdem, dass ich dem Teilnehmer an dieser Studie die Patienteninformation sowie eine datierte und unterzeichnete Kopie der Einverständniserklärung übergeben habe.

<b>Name des Studienarztes</b>							
<b>Datum (TT MMM JJ; z.B. 01JAN17)</b>							



**Unterschrift des Studienarztes**

## Mimische Bewegungen

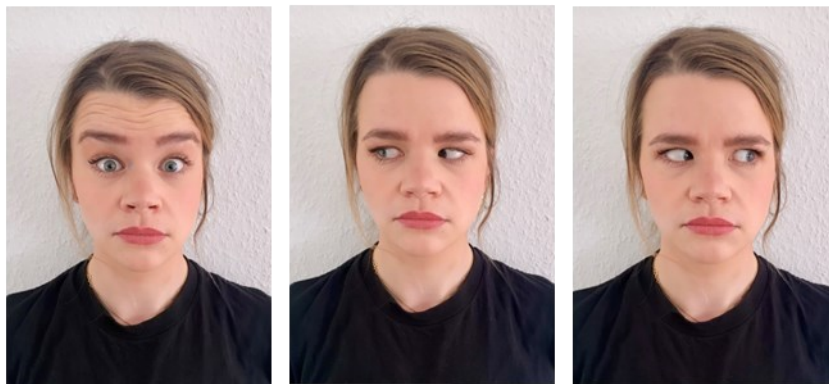


Lächeln

Mundspitzen

Naserümpfen

Augenbrauen  
zusammenziehen



Stirnhochziehen

Laterale  
Augenbewegungen

Laterale  
Augenbewegungen

Abbildung 25: Mimische Bewegungen des Versuchsprotokoll

## Einstiche Nadel-EMG



M. auricularis anterior



M. auricularis



M. auricularis posterior



M. tragus



M. antitragicus



M. helicis major



M. helicis minor



M. transversus  
auriculae



M. obliquus auriculae

Abbildung 26: Einstichstellen der Nadel-Elektrode

## Ergebnisse der EMG-Messungen

Tabelle 20: Ergebnisse der Ein-Kanal-Oberflächen-EMGs der Probanden

Muskel	Bewegung	++ in %			+ in %			(+) in %			= in %			X in %		
		Mittelwert ± Standard- abweichung	rechts	links	Mittelwert ± Standard- abweichung	rechts	Links	Mittelwert ± Standard- abweichung	rechts	links	Mittelwert ± Standard- abweichung	rechts	links	Mittelwert ± Standard- abweichung	rechts	links
M. auricularis anterior	Lächeln	87,5 ± 5,9	91,7	83,3	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
	Mund spitzen	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	37,5 ± 5,9	33,3	41,7	41,7 ± 11,8	50	33,3	8,3 ± 0	8,3	8,3	0 ± 0	0	0
	Nase rümpfen	8,3 ± 11,8	0	16,7	20,8 ± 17,7	8,3	33,3	37,5 ± 17,7	50	25	33,3 ± 11,8	41,7	25	0 ± 0	0	0
	Stirn hochziehen	29,2 ± 17,7	41,7	16,7	29,2 ± 5,9	25	33,3	16,7 ± 0	16,7	16,7	25 ± 11,7	16,7	33,3	± 0	0	0
	Augenbrauen zusammen	4,2 ± 5,9	8,3	0	4,2 ± 5,9	0	8,3	25 ± 23,6	8,3	41,7	66,7 ± 23,5	83,3	50	0 ± 0	0	0
	Ipsilaterale laterale Augen- bewegung	4,2 ± 5,9	8,3	0	8,3 ± 11,8	0	16,7	20,8 ± 5,9	16,7	25	66,7 ± 11,8	75	58,3	0 ± 0	0	0
	Kontralaterale laterale Augen- bewegung	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	25 ± 23,6	8,3	41,7	70,8 ± 29,5	91,7	50	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Ohrenwackeln	58,3 ± 0	58,3	58,3	0 ± 0	0	0	8,3 ± 0	8,3	8,3	0 ± 0	0	0	33,3 ± 0	33,3	33,3
M. auricularis superior	Lächeln	83,3 ± 0	83,3	83,3	16,7 ± 0	16,7	16,7	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
	Mund spitzen	20,8 ± 17,7	8,3	33,3	25 ± 11,7	33,3	16,7	29,2 ± 5,9	25	33,3	25 ± 11,7	33,3	16,7	0 ± 0	0	0
	Nase rümpfen	4,2 ± 5,9	8,3	0	20,8 ± 5,9	25	16,7	25 ± 11,7	16,7	33,3	50 ± 0	50	50	0 ± 0	0	0
	Stirn hochziehen	54,2 ± 5,9	58,3	50	20,8 ± 17,7	8,3	33,3	20,8 ± 17,7	33,3	8,3	4,2 ± 5,9	0	8,3	0 ± 0	0	0
	Augenbrauen zusammen	4,2 ± 5,9	0	8,3	12,5 ± 5,9	16,7	8,3	20,8 ± 17,7	8,3	33,3	62,5 ± 17,7	75	50	0 ± 0	0	0
	Ipsilaterale laterale Augen- bewegung	8,3 ± 11,8	16,7	0	20,8 ± 17,7	8,3	33,3	25 ± 11,7	16,7	33,3	45,8 ± 17,7	58,3	33,3	0 ± 0	0	0
	Kontralaterale laterale Augen- bewegung	0 ± 0	0	0	8,3 ± 0	8,3	8,3	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	79,2 ± 5,9	83,3	75	0 ± 0	0	0
Ohrenwackeln	54,2 ± 5,9	58,3	50	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	33,3 ± 0	33,3	33,3	
Lächeln	54,2 ± 17,7	41,7	66,7	41,7 ± 23,5	58,3	25	4,2 ± 5,9	0	8,3	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	

M. auricularis posterior	Mund spitzen	8,3 ± 0	8,3	8,3	16,7 ± 11,8	8,3	25	45,8 ± 5,9	50	41,7	29,2 ± 5,9	33,3	25	0 ± 0	0	0
	Nase rümpfen	0 ± 0	0	0	16,7 ± 0	16,7	16,7	41,7 ± 0	41,7	41,7	40,2 ± 23,5	58,3	25	0 ± 0	0	0
	Stirn hochziehen	50 ± 11,7	41,7	58,3	0 ± 0	0	0	12,5 ± 5,9	16,7	8,3	37,5 ± 5,9	41,7	33,3	0 ± 0	0	0
	Augenbrauen zusammen	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	4,2 ± 5,9	0	8,3	20,8 ± 5,9	25	16,7	62,5 ± 5,9	66,7	58,3	0 ± 0	0	0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	4,2 ± 5,9	8,3	0	12,5 ± 5,9	16,7	8,3	54,2 ± 17,7	41,7	66,7	29,2 ± 5,9	33,3	25	0 ± 0	0	0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	4,2 ± 5,9	8,3	0	16,7 ± 0	16,7	16,7	25 ± 23,6	8,3	41,7	54,2 ± 17,7	66,7	41,7	0 ± 0	0	0
	Ohrenwackeln	50 ± 0	50	50	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	4,2 ± 5,9	8,3	0	0 ± 0	0	0	0	33,3 ± 0	33,3
M. tragicus	Lächeln	91,7 ± 11,8	83,3	100	4,2 ± 5,9	8,3	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	4,2 ± 5,9	8,3	0
	Mund spitzen	8,3 ± 0	8,3	8,3	50 ± 11,7	41,7	58,3	33,3 ± 0	33,3	33,3	4,2 ± 5,9	8,3	0	4,2 ± 5,9	8,3	0
	Nase rümpfen	4,2 ± 5,9	0	8,3	20,8 ± 5,9	25	16,7	33,3 ± 11,8	25	41,7	37,5 ± 5,9	41,7	33,3	4,2 ± 5,9	8,3	0
	Stirn hochziehen	12,2 ± 17,7	0	25	29,2 ± 5,9	33,3	25	29,2 ± 5,9	25	33,3	25 ± 11,7	33,3	16,7	4,2 ± 5,9	8,3	0
	Augenbrauen zusammen	4,2 ± 5,9	0	8,3	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	20,8 ± 29,5	0	41,7	58,3 ± 35,4	83,3	33,3	4,2 ± 5,9	8,3	0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	4,2 ± 5,9	8,3	0	4,2 ± 5,9	0	8,3	8,3 ± 11,8	0	16,7	79,2 ± 5,9	83,3	75	4,2 ± 5,9	8,3	0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0 ± 0	0	0	8,3 ± 0	8,3	8,3	4,2 ± 5,9	0	8,3	83,3 ± 0	83,3	83,3	4,2 ± 5,9	8,3	0
Ohrenwackeln	37,5 ± 5,9	33,3	41,7	12,5 ± 5,9	16,7	8,3	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	0 ± 0	0	0	37,5 ± 5,9	41,7	33,3	
M. anti- tragicus	Lächeln	91,7 ± 0	91,7	91,7	4,2 ± 5,9	8,3	0	4,2 ± 5,9	0	8,3	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
	Mund spitzen	8,3 ± 0	8,3	8,3	37,5 ± 5,9	33,3	41,7	37,5 ± 17,7	50	25	16,7 ± 11,8	8,3	25	0 ± 0	0	0
	Nase rümpfen	0 ± 0	0	0	16,7 ± 0	16,7	16,7	25 ± 0	25	25	58,3 ± 0	58,3	58,3	0 ± 0	0	0
	Stirn hochziehen	25 ± 0	25	25	20,8 ± 5,9	16,7	25	25 ± 0	25	25	29,2 ± 5,9	33,3	25	0 ± 0	0	0
	Augenbrauen zusammen	4,2 ± 5,9	0	8,3	20,8 ± 5,9	16,7	25	12,5 ± 17,7	0	25	62,5 ± 29,4	83,3	41,7	0 ± 0	0	0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	8,3 ± 0	8,3	8,3	12,5 ± 17,7	0	25	25 ± 0	25	25	54,2 ± 17,7	66,7	41,7	0 ± 0	0	0

	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0 ± 0	0	0	8,3 ± 11,8	16,7	0	33,3 ± 0	33,3	33,3	58,3 ± 11,8	50	66,7	0 ± 0	0	0
	Ohrenwackeln	45,8 ± 5,9	41,7	50	4,2 ± 5,9	8,3	0	12,5 ± 5,9	16,7	8,3	± 5,9	0	8,3	33,3 ± 0	33,3	33,3
M. helicis major	Lächeln	83,3 ± 11,8	91,7	75	8,3 ± 11,8	0	16,7	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	8,3 ± 0	8,3	8,3
	Mund spitzen	8,3 ± 0	8,3	8,3	25 ± 0	25	25	20,8 ± 17,7	33,3	8,3	37,5 ± 17,7	25	50	8,3 ± 0	8,3	8,3
	Nase rümpfen	8,3 ± 11,8	16,7	0	33,3 ± 11,8	25	41,7	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	37,5 ± 5,9	41,7	33,3	8,3 ± 0	8,3	8,3
	Stirn hoch	45,8 ± 17,7	58,3	33,3	25 ± 0	25	25	12,5 ± 17,7	0	25	8,3 ± 0	8,3	8,3	8,3 ± 0	8,3	8,3
	Augenbrauen zusammen	8,3 ± 0	8,3	8,3	4,2 ± 5,9	0	8,3	29,2 ± 5,9	33,3	25	50 ± 0	50	50	8,3 ± 0	8,3	8,3
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0 ± 0	0	0	8,3 ± 11,8	16,7	0	16,7 ± 23,5	0	33,3	66,7 ± 11,8	75	58,3	8,3 ± 0	8,3	8,3
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	16,7 ± 0	16,7	16,7	75 ± 0	75	75	8,3 ± 0	8,3	8,3
	Ohrenwackeln	50 ± 0	50	50	8,3 ± 0	8,3	8,3	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	41,7 ± 0	41,7	41,7
		Lächeln	62,5 ± 5,9	66,7	58,3	16,7 ± 0	16,7	16,7	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	20,8 ± 5,9	16,7
M. helicis minor	Mund spitzen	8,3 ± 0	8,3	8,3	25 ± 11,7	16,7	33,3	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	33,3 ± 23,5	50	16,7	20,8 ± 5,9	16,7	25
	Nase rümpfen	4,2 ± 5,9	0	8,3	4,2 ± 5,9	0	8,3	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	58,3 ± 23,5	75	41,7	20,8 ± 5,9	16,7	25
	Stirn hoch	25 ± 0	25	25	8,3 ± 0	8,3	8,3	16,7 ± 11,8	25	8,3	29,2 ± 5,9	25	33,3	20,8 ± 5,9	16,7	25
	Augenbrauen zusammen	4,2 ± 5,9	0	8,3	0 ± 0	0	0	8,3 ± 0	8,3	8,3	66,7 ± 11,8	75	58,3	20,8 ± 5,9	16,7	25
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0 ± 0	0	0	4,2 ± 5,9	0	8,3	4,2 ± 5,9	0	8,3	70,8 ± 17,7	83,3	58,3	20,8 ± 5,9	16,7	25
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	16,7 ± 0	16,7	16,7	62,5 ± 5,9	66,7	58,3	20,8 ± 5,9	16,7	25
	Ohrenwackeln	41,7 ± 0	41,7	41,7	4,2 ± 5,9	8,3	0	4,2 ± 5,9	0	8,3	0 ± 0	0	0	50 ± 0	50	50
M. transversus auriculae	Lächeln	95,8 ± 5,9	100	91,7	4,2 ± 5,9	0	8,3	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0
	Mund spitzen	4,2 ± 5,9	8,3	0	25 ± 11,7	16,7	33,3	54,2 ± 5,9	58,3	50	16,7 ± 0	16,7	16,7	0 ± 0	0	0
	Nase rümpfen	0 ± 0	0	0	33,3 ± 11,8	25	41,7	20,8 ± 5,9	16,7	25	45,8 ± 17,7	58,3	33,3	0 ± 0	0	0
	Stirn hochziehen	37,5 ± 5,9	41,7	33,3	8,3 ± 0	8,3	8,3	29,2 ± 5,9	25	33,3	25 ± 0	25	25	0 ± 0	0	0

	Augenbrauen zusammen	4,2 ± 5,9	8,3	0	8,3 ± 0	8,3	8,3	16,7 ± 11,8	8,3	25	70,8 ± 5,9	75	66,7	0 ± 0	0	0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	8,3 ± 11,8	16,7	0	25 ± 11,7	16,7	33,3	33,3 ± 0	33,3	33,3	33,3 ± 0	33,3	33,3	0 ± 0	0	0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	8,3 ± 0	8,3	8,3	25 ± 11,7	33,3	16,7	37,5 ± 5,9	33,3	41,7	29,2 ± 5,9	25	33,3	0 ± 0	0	0
	Ohrenwackeln	50 ± 0	50	50	8,3 ± 11,8	16,7	0	8,3 ± 11,8	0	16,7	0 ± 0	0	0	33,3 ± 0	33,3	33,3
M. obliquus auriculae	Lächeln	91,7 ± 0	91,7	91,7	4,2 ± 5,9	8,3	0	0 ± 0	0	0	0 ± 0	0	0	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Mund spitzen	8,3 ± 0	8,3	8,3	20,8 ± 5,9	16,7	25	41,7 ± 11,8	50	33,3	25 ± 0	25	25	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Nase rümpfen	8,3 ± 0	8,3	8,3	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	25 ± 0	25	25	50 ± 11,7	58,3	41,7	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Stirn hochziehen	45,8 ± 5,9	50	41,7	16,7 ± 0	16,7	16,7	16,7 ± 0	16,7	16,7	16,7 ± 0	16,7	16,7	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Augenbrauen zusammen	8,3 ± 11,8	16,7	0	8,3 ± 11,8	0	16,7	29,2 ± 5,9	33,3	25	50 ± 0	50	50	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	4,2 ± 5,9	8,3	0	29,2 ± 5,9	25	33,3	33,3 ± 11,8	41,7	25	29,2 ± 5,9	25	33,3	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	12,5 ± 5,9	8,3	16,7	20,8 ± 5,9	25	16,7	37,5 ± 5,9	41,7	33,3	25 ± 0	25	25	4,2 ± 5,9	0	8,3
	Ohrenwackeln	54,2 ± 5,9	58,3	50	4,2 ± 5,9	8,3	0	0 ± 0	0	0	8,3 ± 11,8	0	16,7	33,3 ± 0	33,3	33,3

Tabelle 21: Ergebnisse des Oberflächen-EMGs der Patienten, paretische Seite und gesunde Seite gegenübergestellt die Ergebnisse der paretischen Seite sind grau unterlegt

Muskel	Aktion	Z. n. Fazialisparese   Gesunde Seite									
		++ (%)		+ (%)		(+) (%)		= (%)		X (%)	
M. auricularis anterior	Lächeln	71,4	85,7	28,6	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mund spitzen	28,6	0,0	42,9	14,3	0,0	71,4	28,6	14,3	0,0	0,0
	Nase rümpfen	42,9	14,3	57,2	42,9	0,0	0,0	14,3	42,9	0,0	0,0
	Stirn hoch	42,9	28,6	42,9	28,6	14,3	42,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	Augenbrauen zusammen	42,9	0,0	14,3	0,0	28,6	57,2	14,3	42,9	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	42,9	0,0	42,9	42,9	14,3	57,2	0,0	0,0

	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	14,3	14,3	14,3	28,6	71,4	57,2	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	0,0	28,6	28,6	14,3	0,0	0,0	14,3	0,0	57,2	57,2
M. auricularis superior	Lächeln	71,4	85,7	14,3	14,3	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mund spitzen	57,2	17,3	42,9	42,9	0,0	42,9	14,3	0,0	0,0	0,0
	Nase rümpfen	42,9	17,3	42,9	17,3	14,3	28,6	0,0	42,9	0,0	0,0
	Stirn hoch	42,9	28,6	28,6	42,9	14,3	14,3	0,0	14,3	0,0	0,0
	Augenbrauen zusammen	57,2	0,0	28,6	0,0	14,3	42,9	0,0	57,2	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	14,3	14,3	28,6	0,0	28,6	57,2	28,6	28,6	0,0	0,0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	14,3	0,0	14,3	14,3	14,3	42,9	57,2	42,9	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	14,3	14,3	14,3	28,6	14,3	0,0	0,0	0,0	57,2	57,2
	M. auricularis posterior	Lächeln	71,4	28,6	28,6	71,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mund spitzen		14,3	0,0	71,4	14,3	0,0	42,9	14,3	42,9	0,0	0,0
Nase rümpfen		57,2	14,3	42,9	28,6	0,0	14,3	0,0	42,9	0,0	0,0
Stirn hoch		28,6	28,6	57,2	28,6	14,3	14,3	0,0	28,6	0,0	0,0
Augenbrauen zusammen		42,9	0,0	14,3	0,0	14,3	28,6	28,6	71,4	0,0	0,0
Ipsilaterale laterale Augenbewegung		14,3	0,0	14,3	28,6	42,9	42,9	28,6	28,6	0,0	0,0
Kontralaterale laterale Augenbewegung		0,0	0,0	14,3	14,3	57,2	0,0	28,6	28,6	0,0	0,0
Ohrenwackeln		14,3	28,6	14,3	14,3	14,3	0,0	0,0	0,0	57,2	57,2
M. tragicus	Lächeln	42,9	71,4	42,9	28,6	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mund spitzen	0,0	0,0	71,4	0,0	14,3	71,4	14,3	28,6	0,0	0,0
	Nase rümpfen	14,3	0,0	42,9	42,9	42,9	14,3	0,0	42,9	0,0	0,0
	Stirn hoch	28,6	14,3	42,9	28,6	28,6	42,9	0,0	14,3	0,0	0,0
	Augenbrauen zusammen	0,0	0,0	71,4	57,2	28,6	28,6	0,0	14,3	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0,0	14,3	0,0	14,3	42,9	28,6	57,2	42,9	0,0	0,0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0,0	14,3	0,0	0,0	42,9	28,6	57,2	57,2	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	14,3	14,3	0,0	28,6	14,3	0,0	14,3	0,0	57,2	57,2
M. antitragicus	Lächeln	42,9	71,4	57,2	28,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



	Mund spitzen	28,6	0,0	42,9	14,3	14,3	27,6	14,3	57,2	0,0	0,0
	Nase rümpfen	42,9	14,3	42,9	71,4	14,3	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	Stirn hoch	28,6	0,0	42,9	14,3	28,6	85,7	0,0	0,0	0,0	0,0
	Augenbrauen zusammen	28,6	0,0	42,9	0,0	28,6	14,3	0,0	85,7	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	14,3	0,0	71,4	57,2	14,3	42,9	0,0	0,0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	0,0	14,3	42,9	14,3	57,2	71,4	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	14,3	14,3	0,0	14,3	0,0	14,3	28,6	0,0	57,2	57,2
M. helicis major	Lächeln	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0 / 0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mund spitzen	28,6	0,0	28,6	0,0	28,6	42,9	14,3	57,2	0,0	0,0
	Nase rümpfen	42,9	14,3	57,2	42,9	0,0	14,3	0,0	28,6	0,0	0,0
	Stirn hoch	57,2	14,3	42,9	57,2	0,0	14,3	0,0	14,3	0,0	0,0
	Augenbrauen zusammen	28,6	0,0	57,2	14,3	14,3	0,0	0,0	85,7	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	14,3	0,0	57,2	28,6	28,6	71,4	0,0	0,0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	0,0	0,0	42,9	42,9	57,2	57,2	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	14,3	27,6	0,0	0,0	14,3	14,3	14,3	0,0	57,2	57,2
M. helicis minor	Lächeln	85,7	57,2	14,3	42,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mund spitzen	28,6	0,0	42,9	0,0	14,3	57,2	14,3	42,9	0,0	0,0
	Nase rümpfen	14,3	0,0	0,0	28,6	14,3	14,3	0,0	57,2	0,0	0,0
	Stirn hoch	28,6	0,0	57,2	42,9	14,3	42,9	0,0	14,3	0,0	0,0
	Augenbrauen zusammen	28,6	0,0	28,6	0,0	42,9	14,3	0,0	85,7	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	42,9	0,0	28,6	28,6	28,6	71,4	0,0	0,0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0,0	0,0	0,0	0,0	28,6	42,9	71,4	57,2	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	14,3	28,6	0,0	14,3	14,3	0,0	14,3	0,0	57,2	57,2
M. transversus auricularae	Lächeln	71,4	57,2	28,6	42,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mund spitzen	14,3	0,0	57,2	28,6	28,6	42,9	0,0	28,6	0,0	0,0
	Nase rümpfen	42,9	14,825	0,0	14,3	0,0	42,9	0,0	42,9	0,0	0,0
	Stirn hoch	14,3	0,0	57,2	42,9	14,3	57,2	14,3	0,0	0,0	0,0

	Augenbrauen zusammen	14,3	0,0	42,9	42,9	42,9	0,0	0,0	57,2	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	0,0	14,825	14,3	14,3	57,2	57,2	28,6	14,3	0,0	0,0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0,0	28,6	0,0	0,0	57,2	57,2	42,9	14,3	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	14,3	14,3	0,0	0,0	14,3	14,3	14,3	14,3	57,2	57,2
M. obliquus auriculae	Lächeln	71,4	71,4	28,6	28,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mund spitzen	28,6	0,0	42,9	28,6	14,3	14,3	0,0	57,2	0,0	0,0
	Nase rümpfen	28,6	14,3	28,6	28,6	0,0	14,3	0,0	42,9	0,0	0,0
	Stirn hoch	28,6	14,3	57,2	71,4	0,0	14,3	14,3	0,0	0,0	0,0
	Augenbrauen zusammen	14,3	0,0	14,3	0,0	14,3	57,2	0,0	42,9	0,0	0,0
	Ipsilaterale laterale Augenbewegung	14,3	14,3	0,0	28,6	71,4	28,6	14,3	28,6	0,0	0,0
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	0,0	42,9	0,0	0,0	71,4	42,9	28,6	14,3	0,0	0,0
	Ohrenwackeln	14,3	28,6	0,0	14,3	14,3	0,0	14,3	0,0	57,2	57,2

Tabelle 22: Die Abweichung der EMG-Ergebnisse der paretischen Seite und der gesunden Seite. Dargestellt sind die Abweichungen aller Bewegungen in Bezug zum Muskel und dazugehörige Mittelwerte mit  $\pm$ SD der Abweichungen.

		Abweichung der Ergebnisse in % Mittelwert $\pm$ Standardabweichung							
Muskel	Aktion	++	Mittelwert ++	+	Mittelwert +	(+)	Mittelwert (+)	=	Mittelwert =
M. auricularis anterior	Lächeln	-14,3	12,2 $\pm$ 19,2	14,3	18,4 $\pm$ 13,6	0,0	-20,4 $\pm$ 25,9	0,0	-10,2 $\pm$ 22,9
	Mund spitzen	28,6		28,6		-71,4		14,3	
	Nase rümpfen	14,3		14,3		0,0		-28,6	
	Stirn hoch	14,3		14,3		-28,6		0,0	
	Augenbrauen zusammen	42,9		14,3		-28,6		-28,6	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	0,0		42,9		0,0		-42,9	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	0,0		0,0		-14,3		14,3	
M. auricularis	Lächeln	-14,3	22,5 $\pm$ 27,2	0,0	10,2 $\pm$ 17,9	14,3	-18,4 $\pm$ 19,7	0,0	-14,3 $\pm$ 26,1

superior	Mund spitzen	57,2		-14,3		-42,9		0,0	
	Nase rümpfen	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	Stirn hoch	14,3		0,0		0,0		-14,3	
	Augenbrauen zusammen	57,2		28,6		-28,6		-57,2	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	0,0		28,6		-28,6		0,0	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	14,3		0,0		-28,6		14,3	
M. auricularis posterior	Lächeln	42,9	22,5± 20,0	-42,9	2,0± 37,3	0,0	-2,0 ±30,2	0,0	-22,4± 18,2
	Mund spitzen	14,3		57,1		-42,9		-28,6	
	Nase rümpfen	42,9		14,3		-14,3		-42,9	
	Stirn hoch	0,0		28,6		0,0		-28,6	
	Augenbrauen zusammen	42,9		14,3		-14,3		-42,9	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	14,3		-14,3		0,0		0,0	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	0,0		-42,9		57,2		-14,3	
M. tragicus	Lächeln	-28,6	-4,1± 15,9	14,3	14,3± 27,4	14,3	0,0± 28,6	0,0	-10,2±17,9
	Mund spitzen	0,0		71,4		-57,1		-14,3	
	Nase rümpfen	14,3		0,0		28,6		-42,9	
	Stirn hoch	14,3		14,3		-14,3		-14,3	
	Augenbrauen zusammen	0,0		14,3		0,0		-14,3	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	-14,3		-14,3		14,3		14,3	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	-14,3		0,0		14,3		0,0	
M. antitragicus	Lächeln	-28,6	12,2± 22,5	28,6	14,3± 26,1	0,0	-2,0± 27,9	0,0	-24,5± 31,6
	Mund spitzen	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	Nase rümpfen	28,6		-28,6		0,0		0,0	
	Stirn hoch	28,6		28,6		-57,1		0,0	
	Augenbrauen zusammen	28,6		42,9		14,3		-85,7	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	0,0		14,3		14,3		-28,6	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	0,0		-14,3		28,6		-14,3	

M. heli- cis major	Lächeln	0,0	18,4± 17,9	0,0	12,2± 19,2	0,0	0,0± 16,5	0,0	-30,6± 30,2
	Mund spitzen	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	Nase rümpfen	28,6		14,3		-14,3		-28,6	
	Stirn hoch	42,9		-14,3		-14,3		-14,3	
	Augenbrauen zusammen	28,6		42,9		14,3		-85,7	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	0,0		14,3		28,6		-42,9	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	0,0		0,0		0,0		0,0	
M. heli- cis minor	Lächeln	28,6	18,4± 13,6	-28,6	20,4± 27,2	0,0	-8,2± 23,1	0,0	-30,6±34,4
	Mund spitzen	28,6		42,9		-42,9		-28,6	
	Nase rümpfen	14,3		42,9		0,0		-57,2	
	Stirn hoch	28,6		14,3		-28,6		-14,3	
	Augenbrauen zusammen	28,6		28,6		28,6		-85,7	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	0,0		42,9		0,0		-42,9	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	0,0		0,0		-14,3		14,3	
M. transversus auriculae	Lächeln	14,3	6,1± 20,0	-14,3	8,2± 16,2	0,0	-4,1± 25,7	0,0	-10,2± 32,7
	Mund spitzen	14,3		28,6		-14,3		-28,6	
	Nase rümpfen	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	Stirn hoch	14,3		14,3		-42,9		14,3	
	Augenbrauen zusammen	14,3		0,0		42,9		-57,2	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	-14,3		0,0		0,0		14,3	
	Kontralaterale lat. Augenbewegung	-28,6		0,0		0,0		28,6	
M. obliquus auriculae	Lächeln	0,0	4,1± 22,9	0,0	8,2± 27,2	0,0	4,1± 22,9	0,0	-16,3±26,6
	Mund spitzen	28,6		14,3		0,0		-42,9	
	Nase rümpfen	14,3		42,9		-14,3		-42,9	
	Stirn hoch	14,3		-14,3		-14,3		14,3	
	Augenbrauen zusammen	14,3		42,9		-14,3		-42,9	
	Ipsilaterale lat. Augenbewegung	0,0		-28,6		42,9		-14,3	

| Kontralaterale lat. Augenbewegung | -42,9 | | 0,0 | | 28,6 | | 14,3 |

Tabelle 23: Die Abweichung der EMG-Ergebnisse der paretischen Seite und der gesunden Seite. Abweichungen aller Muskeln in Bezug zur Bewegung und dazugehörige Mittelwerte  $\pm$  SD der Abweichungen.

		<b>Abweichung der Ergebnisse in % Mittelwert <math>\pm</math> Standardabweichung</b>							
<b>Aktion</b>	<b>Muskel</b>	<b>++</b>	<b>Mittelwert ++</b>	<b>+</b>	<b>Mittelwert +</b>	<b>(+)</b>	<b>Mittelwert (+)</b>	<b>=</b>	<b>Mittelwert =</b>
Lächeln	M. auricularis anterior	-14,3	0,0 $\pm$ 24,4	14,3	-3,2 $\pm$ 22,3	0,0	3,2 $\pm$ 6,3	0,0	0,0 $\pm$ 0,0
	M. auricularis superior	-14,3		0,0		14,3		0,0	
	M. auricularis posterior	42,9		-42,9		0,0		0,0	
	M. tragicus	-28,6		14,3		14,3		0,0	
	M. antitragicus	-28,6		28,6		0,0		0,0	
	M. helicis major	0,0		0,0		0,0		0,0	
	M. helicis minor	28,6		-28,6		0,0		0,0	
	M. transversus auriculae	14,3		-14,3		0,0		0,0	
	M. obliquus auriculae	0,0		0,0		0,0		0,0	
Mund spitzen	M. auricularis anterior	28,6	25,4 $\pm$ 15,6	28,6	31,7 $\pm$ 24,5	-71,4	-33,3 $\pm$ 23,7	14,6	-23,8 $\pm$ 20,2
	M. auricularis superior	57,3		-14,3		-42,9		0,0	
	M. auricularis posterior	14,3		57,2		-42,9		-28,6	
	M. tragicus	0,0		71,4		-57,2		-14,3	
	M. antitragicus	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	M. helicis major	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	M. helicis minor	28,6		42,9		-42,9		-28,6	
	M. transversus auriculae	14,3		28,6		-14,3		-28,6	

	M. obliquus auriculae	28,6		14,3		0,0		-42,9	
Nase rümpfen	M. auricularis anterior	14,3	23,8± 10,1	14,30	17,5±22,3	0,0	-4,8± 14,3	-28,6	-36,5± 16,1
	M. auricularis superior	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	M. auricularis posterior	42,9		14,3		-14,3		-42,9	
	M. tragicus	14,3		0,0		28,6		-42,9	
	M. antitragicus	28,6		-28,6		0,09		0,090	
	M. helicis major	28,6		14,3		-14,3		-28,6	
	M. helicis minor	14,3		42,9		0,0		-57,3	
	M. transversus auriculae	28,6		28,6		-14,3		-42,9	
	M. obliquus auriculae	14,3		42,9		-14,3		-42,9	
	Stirn hochziehen	M. auricularis anterior		14,3		19,0± 12,4		14,3	
M. auricularis superior		14,3	0,0	0,0	-14,3				
M. auricularis posterior		0,0	28,6	0,0	-28,6				
M. tragicus		14,3	14,3	-14,3	-14,3				
M. antitragicus		28,6	28,6	-57,2	0,0				
M. helicis major		42,9	-14,3	-14,3	-14,3				
M. helicis minor		28,6	14,3	-28,6	-14,3				
M. transversus auriculae		14,3	14,3	-42,9	14,3				
M. obliquus auriculae		14,3	-14,3	-14,3	14,3				
Augenbrauen zusammenziehen	M. auricularis anterior	42,9	28,6± 17,5	14,3	9,5± 16,0	-28,6	1,6± 25,2	-28,6	-15,9± 24,2
	M. auricularis superior	57,3		28,6		-28,6		-	
	M. auricularis posterior	42,9		14,3		-14,3		57,35	
	M. tragicus	0,0		14,3		0,0		-14,3	

	M. antitragicus	28,6		42,9		14,3		-85,7	
	M. helicis major	28,6		42,9		14,3		-85,7	
	M. helicis minor	28,6		28,6		28,6		-85,7	
	M. transversus auriculae	14,3		0,0		42,9		-57,3	
	M. obliquus auriculae	14,3		42,9		-14,3		-42,9	
Ipsilaterale laterale Augenbewegung	M. auricularis anterior	0,0	-1,6± 8,6	42,9	25,4± 15,0	0,0	7,9± 20,3	-42,9	
	M. auricularis superior	0,0		28,6		-28,6		0,0	
	M. auricularis posterior	14,3		-14,3		0,0		0,0	
	M. tragicus	-14,3		-14,3		14,3		14,30	
	M. antitragicus	0,0		14,3		14,3		-28,6	
	M. helicis major	0,0		14,3		28,6		-42,9	
	M. helicis minor	0,0		42,9		0,0		-42,9	
	M. transversus auriculae	-14,3		0,0		0,0		14,3	
	M. obliquus auriculae	0,0		-28,6		42,9		-14,3	
	Kontralaterale laterale Augenbewegung	M. auricularis anterior		0,0		-7,9± 17,7		0,0	
M. auricularis superior		14,3	0,0	-28,6	14,3				
M. auricularis posterior		0,0	-42,9	57,3	-14,3				
M. tragicus		-14,3	0,0	14,3	0,0				
M. antitragicus		0,0	-14,3	28,6	-				
M. helicis major		0,0	0,0	0,0	0,0				
M. helicis minor		0,0	0,0	-14,3	14,28				
M. transversus auriculae		-28,6	0,0	0,0	28,6				
M. obliquus auriculae		-42,9	0,0	28,6	14,3				

## 8.2 Danksagung

Abschließend möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. Orlando Guntinas-Lichius, dem Direktor der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena, für die freundliche Überlassung des Themas und sein stetes Engagement und die verlässliche Betreuung.

Außerdem möchte ich meinen Dank an Herrn PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk, Oberarzt Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde und Leiter des Fazialis-Nerv-Zentrums Jena, für seine kontinuierliche Unterstützung und Betreuung aussprechen, die mir in allen Phasen meiner Promotion zugutekam. Mein Dank gilt zudem apl. Prof. Dr. med. Christoph Anders, Facharzt für Pathophysiologie an der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Jena, für seinen Rat und die Unterstützung bei der Durchführung der Mehr-Kanal-Oberflächen-EMGs.

Weiterhin bedanke ich mich bei den Probanden und Patienten des Fazialis-Nerv-Zentrums Jena für ihre Zeit, Geduld und Anstrengungen bei der Durchführung der EMG-Messungen.

Nicht zuletzt danke ich auch meinen Eltern, meinen Freunden und Kalle, die mir all dies ermöglicht haben und in jeder Lebenslage an meiner Seite stehen.



### **8.3 Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Univ.-Prof. Dr. med. O. Guntinas-Lichius, PD Dr. med. habil. Gerd Fabian Volk, apl. Prof. Dr. med. Christoph Anders,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Münster, 26.06.2021

Hanna Rüsenschmidt