

Universität Ulm  
Medizinische Fakultät

EMG-Biofeedbackverfahren bei  
chronischen Schulter-Nacken-  
Beschwerden: Biomechanische vs.  
psychophysiologische Aspekte

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der  
Humanbiologie der Medizinischen Fakultät der Universität  
Ulm

Martha Bethge-Koch  
Mainz  
2022

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth  
Erstgutachter: Prof. Dr. Steffen Walter  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Carmen Uhlmann  
Tag der Promotion: 27.04.2023

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit unterstützt haben.

Mein großer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. Steffen Walter, für seine Betreuung in den letzten Jahren, sein Ideen-Geben und Mitdenken und jedes spannende Gespräch.

Prof. Dr. Jörn von Wietersheim danke ich für seine Unterstützung in der Themenfindung und der passenden Betreuung.

Aufrichtig bedanken möchte ich mich auch bei Carsten Diers, Amira Basic und Marc Varel.

Dr. Michael Übele sowie den Lehrern der Physiotherapieschule am Pulverturm in Mainz, danke ich für das Legen einer wichtigen und wesentlichen Basis in meiner Bildung und Ausbildung zur Physiotherapeutin. Ich danke ihnen dafür, dass Sie mir ein kritisches, nachfragendes und neugieriges Therapeutendasein vorgelebt haben.

Ein herzlicher Dank gilt meinem Kollegen, Simon Steinberger, für sein interessiertes Zuhören und Mitdenken, den immer anregenden Austausch und den großen Spaß, den die Arbeit mit ihm macht.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Kolleginnen Daniela Böcherer und Julia Roor bedanken, die mir jederzeit den Rücken frei und damit Möglichkeiten offen halten.

Ein besonderer Dank gilt den Probanden, die an dieser Untersuchung teilgenommen haben sowie meinen Patienten, von denen ich täglich lerne.

Ich danke auch meinen Schwestern Anna Koch-Bader und Lea Brockmann, meinen drei Jungs, Julius, Sven und Felix Bethge, meiner weiteren Familie sowie meinen Freunden und Freundinnen für viele Jahre der Geduld und des Verständnisses für meine Lust an meiner Arbeit, der so manches Mal andere Dinge nachstehen.

Von Herzen bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, Ute und Michael Koch, für ihre unermüdliche Unterstützung, ihr immer vorhandenes, aufrichtiges Interesse und für so unendlich vieles mehr.

Mein tiefer Dank gilt meinem Mann, Prof. Dr. Jörg Bethge, für sein stets offenes Ohr, seine nie enden wollenden Ideen, seine Kreativität und Energie, seine Geduld, Kritik und die richtigen Worte zur richtigen Zeit.

Diesen drei Menschen – meinen Eltern und meinem Mann – ist diese Arbeit gewidmet.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 RELEVANZ DES THEMAS .....	1
1.2 BIOFEEDBACKVERFAHREN .....	5
1.2.1 Grundsätzliche Wirkweise von Biofeedbackverfahren .....	5
1.2.2 Gestaltung von Biofeedbackverfahren bei chronischen Schmerzsyndromen .....	6
1.3 DEFINITION UND URSACHEN CHRONISCHER SCHULTER-NACKEN-SCHMERZEN.....	9
1.3.1 Pathomechanismus der Aktivitätssteigerung M. trapezius pars descendens aus biomechanischen Gründen .....	12
1.3.2 Pathomechanismus der Aktivitätssteigerung M. trapezius pars descendens aus psychophysiologischen Gründen .....	16
1.4 ZUSAMMENFASSUNG UND HYPOTHESENBUILDUNG .....	18
<b>2 MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>20</b>
2.1 MATERIAL.....	20
2.1.1 Studienleitung.....	20
2.1.2 Ermittelte Fallzahl .....	20
2.1.3 Ein- und Ausschlusskriterien .....	20
2.1.4 Abbruchregelungen .....	21
2.1.5 Rekrutierung .....	24
2.1.6 Aufnahmeverfahren, Gesamtpopulation und Gruppenzuteilung.....	24
2.1.7 Ethikvotum .....	25
2.2 MESSINSTRUMENTE, ZIELGRÖßEN.....	25
2.2.1 Neck-Disability-Index.....	25
2.2.2 Oberflächen-Elektromyografie, Messung der Aktivität des M. trapezius pars descendens .....	26
2.2.3 Patient-Health-Questionnaire 9.....	27
2.3 PRÜFTHERAPIEN.....	27
2.3.1 Biomechanisch orientiertes EMG-Biofeedback.....	29
2.3.2 Psychophysiologisch orientiertes EMG-Biofeedback.....	36
2.4 ABLAUF DER UNTERSUCHUNG .....	40
2.5 STATISTISCHE METHODEN .....	42
2.5.1 Deskriptive Statistik .....	42
2.5.2 Analytische Statistik .....	44
<b>3 ERGEBNISSE .....</b>	<b>46</b>
3.1 ERGEBNISSE DER DESKRIPTIVEN STATISTIK .....	46
3.1.1 Verteilungsparameter, Test auf Normalverteilung .....	46
3.2 ERGEBNISSE DER ANALYTISCHEN STATISTIK .....	61
3.2.1 Mann-Whitney-U-Test .....	61
3.2.2 ANOVA Messwiederholung NDI, Gruppen gemeinsam.....	62
3.2.3 ANOVA Messwiederholung NDI, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback).....	63
3.2.4 ANOVA Messwiederholung NDI, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	64
3.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse des Neck-Disability-Index .....	64
3.3 ERGEBNISSE PATIENT-HEALTH-QUESTIONNAIRE 9; ENTWICKLUNG, STATISTISCHE SIGNIFIKANZ .....	65
3.3.1 Mann-Whitney-U-Test .....	65

3.3.2	ANOVA Messwiederholung PHQ-9, Gruppen gemeinsam.....	65
3.3.3	ANOVA Messwiederholung PHQ-9, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback).....	66
3.3.4	ANOVA Messwiederholung PHQ-9, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	67
3.3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse des PHQ-9 .....	67
3.4	RUHETONUS M. TRAPEZIUS LINKS UND RECHTS; ENTWICKLUNG, STATISTISCHE SIGNIFIKANZ ..	68
3.4.1	Mann-Whitney-U-Test .....	68
3.4.2	ANOVA Messwiederholung Ruhetonus links, Gruppen gemeinsam .....	69
3.4.3	ANOVA Messwiederholung Ruhetonus rechts, Gruppen gemeinsam .....	70
3.4.4	ANOVA Messwiederholung Ruhetonus links, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback).....	71
3.4.5	ANOVA Messwiederholung Ruhetonus links, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	71
3.4.6	ANOVA Messwiederholung Ruhetonus rechts, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback).....	72
3.4.7	ANOVA Messwiederholung Ruhetonus rechts, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	72
3.4.8	Zusammenfassung der Ergebnisse des Ruhetonus links und rechts.....	72
3.5	ROBUSTHEITSANALYSE .....	72
3.5.1	Robustheitsanalyse NDI, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback) ....	72
3.5.2	Robustheitsanalyse NDI, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	73
3.5.3	Robustheitsanalyse PHQ-9, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)	73
3.5.4	Robustheitsanalyse PHQ-9, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	73
3.5.5	Robustheitsanalyse RT-L, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback) ..	73
3.5.6	Robustheitsanalyse RT-L, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	73
3.5.7	Robustheitsanalyse RT-R, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback) ..	74
3.5.8	Robustheitsanalyse RT-R, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback).....	74
3.5.9	Zusammenfassung Ergebnisse Robustheitsanalyse .....	74
3.6	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE GESAMT .....	74
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>76</b>
4.1	METHODISCHE DISKUSSION .....	76
4.1.1	Einflussfaktoren und Limitationen .....	76
4.1.2	Validität der Elektromyografischen Untersuchung .....	77
4.1.3	Voruntersuchungen und Gestaltung der Prüftherapien .....	79
4.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....	80
4.2.1	Interpretation der Ergebnisse des Neck-Disability-Index .....	80
4.2.2	Interpretation der Ergebnisse des Patient-Health-Questionnaire 9 .....	84
4.2.3	Interpretation der Ergebnisse des Ruhetonus M. trapezius pars descendens .....	86
4.3	FAZIT UND AUSBLICK .....	90
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>95</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BWS	Brustwirbelsäule
BFB	Biofeedback
CI	Konfidenzintervall
Diff_NDIT5T1	Differenz des Gesamtscores im NDI von T5 zu T1
Diff_NDIT4T1	Differenz des Gesamtscores im NDI von T4 zu T1
Diff_NDIT5T4	Differenz des Gesamtscores von T5 zu T4
Diff_PHQT5T1	Differenz des Gesamtscores im PHQ-9 von T5 zu T1
Diff_PHQT4T1	Differenz des Gesamtscores im PHQ-9 von T4 zu T1
Diff_PHQT5T4	Differenz des Gesamtscores von T5 zu T4
Diff_RTTLT5T1	Differenz des RT-L von T5 zu T1
Diff_RTRT5T1	Differenz des RT-R von T5 zu T1
Diff_RTTLT4T1	Differenz des RT-L von T4 zu T1
Diff_RTRT4T1	Differenz des RT-R von T4 zu T1
Diff_RTTLT5T4	Differenz des RT-L von T5 zu T4
Diff_RTRT5T4	Differenz des RT-R von T5 zu T4
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyografie
HWS	Halswirbelsäule
Hz	Hertz
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
ID	Identifikationsnummer
IE	Item Ergebnis
M.	Musculus
MCIC	Minimal Clinical Important Change
MDC	Minimal Detectable Change

m/s	Meter pro Sekunde
mV	Mikrovolt
NDI	Neck-Disability-Index
NRS	Numeric Rating Scale
PHQ	Patient-Health-Questionnaire
PHQ-9	Patient-Health-Questionnaire, Depressionsmodul
PHQ-D	Patient-Health-Questionnaire, deutsche Version
QMW	Quadratischer Mittelwert
RMS	Root Mean Square
RT	Ruhtonus
RT-L	Ruhtonus links
RT-R	Ruhtonus rechts
SD	Standardabweichung
Seniam	Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles

# 1 Einleitung

## 1.1 Relevanz des Themas

Zur besseren Lesbarkeit wird für Personenbezeichnungen die männliche Form verwendet. Diese gilt für alle Geschlechter.

Laut eines Reviews, welches die Prävalenz von chronischen Schulter-Nacken-Schmerzen in der Weltbevölkerung fokussiert, besteht eine Lebenszeitprävalenz von im Mittel 48,5% bei Erwachsenen im Alter von 18 bis 84 Jahren (Fejer et al. 2006). In den USA gehören chronische Schulter-Nacken-Schmerzen neben Kreuzschmerzen, Depressionen, Angsterkrankungen oder anderen muskuloskelettalen Erkrankungen zu den Erkrankungen, bei denen die Summe der in Krankheit gelebten Jahre am größten ist (Murray, 2013).

Weiterhin scheinen in der Behandlung dieses Beschwerdebilds, welches unter die Kategorie der chronischen Schmerzsyndrome fällt, visuelle Biofeedbackverfahren die Intensität der Schmerzen gut beeinflussen zu können (Gaume et al., 2016). Eine Metaanalyse zur Effektivität von Biofeedbackverfahren weist darauf hin, dass diese gute Wirkungen in der Reduktion von Depressionen, von Behinderung, von Muskelspannung sowie in der Verbesserung kognitiver Coping-Strategien zeigen. Diese Annahme bezieht sich auf Patienten mit chronischen Schmerzen jeder Region des Rückens, demnach auch des Nackens (Sielski et al., 2017).

Bereits eine Erhebung im Jahr 2000 zum Besuch von Facharztpraxen durch Schmerzpatienten zeigte, „dass chronischer Schmerz in Facharztpraxen ein häufiges Problem ist und dass die Behandlungsmöglichkeiten für einen Teil der Patienten offensichtlich nicht ausreichend sind“ (Willweber-Strumpf et al., 2000). Gleichzeitig ergab dieselbe Befragung, dass der größte Anteil der betroffenen Patienten Hilfe im Bereich der Orthopädie suchte. Lediglich 5% der Betroffenen wurden dagegen psychologisch betreut. Eine Behandlung im Rahmen eines Aufenthalts in einer Schmerzlinik fand sogar nur in 1% der Fälle statt.

Es folgt eine Beschreibung der aktuellen Behandlungsstandards für chronische Schmerzsyndrome durch die Fachbereiche der Orthopädie, der Schmerztherapie, der Psychotherapie aber auch der Physiotherapie. Der Begriff „Schmerztherapie“ meint hierbei Fachärzte mit absolvierter Weiterbildung im Bereich der speziellen Schmerztherapie.

Patienten, bei denen die Applikation visueller Biofeedbackverfahren indiziert wäre, machen große Anteile des Gesamtpatientenklintel aus. Trotzdem ist bei dieser Patientengruppe die Anwendung von visuellen Biofeedbackverfahren in orthopädischen, aber auch in anderen Facharzt- und Physiotherapiepraxen kein üblicher Standard.

Die Ausbildung zum Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie existiert in dieser Form erst seit dem Jahr 2006. Bis dahin handelte es sich hierbei um zwei verschiedene Facharzttrichtungen: Den Facharzt für Orthopädie sowie den Facharzt für Unfallchirurgie. Eine kritische Betrachtung des Ausbildungscurriculums für den Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie zeigt, dass dort verhältnismäßig wenig Inhalte bezüglich der ursächlichen

Behandlung eines solchen Krankheitsbildes, wie es die vorliegende Arbeit in den Blick nimmt, vermittelt werden. So soll durch die Ausbildung zwar Kenntnis über die „Biomechanik der Bewegungsorgane“ sowie zu „technischen und biomechanischen Grundlagen operativer und konservativer Verfahren“ erlangt werden. Die dadurch zu erlangenden Fertigkeiten werden dann allerdings definiert als „wissenschaftlich begründete Gutachtenerstellung“ sowie „Einleitung und Durchführung von berufsgenossenschaftlichen Heilverfahren einschließlich Durchgangsarztverfahren“. Die Kenntnisse der Biomechanik werden also nicht zur Behandlung chronischer Schmerzsyndrome eingesetzt.

Im Bereich der konservativen Therapiemaßnahmen sollen Kenntnisse zu „Grundlagen manualmedizinischer Verfahren“ vermittelt werden, dies aber ebenfalls weniger um Fertigkeiten in der direkten Behandlung von Patienten mit chronischen und unspezifischen Schmerzsyndromen zu erlangen. Vielmehr zielt dies auf die „Indikationsstellung, Überwachung und Dokumentation von Verordnungen der physikalischen Therapie bei Erkrankungen der Stütz- und Bewegungsorgane, insbesondere zur Prävention“ sowie „zur Frühmobilisation und Rehabilitation“ ab. Zuletzt sollen hinsichtlich konservativer Therapiemaßnahmen Kenntnisse zu „Therapieoptionen einschließlich schmerztherapeutischer Maßnahmen“, jedoch bei „degenerativ-entzündlichen Erkrankungen“, sowie über nicht näher beschriebene, „Grundlagen alternativer Heilverfahren“ gelehrt werden. Weitere Inhalte der Ausbildung bilden beispielsweise „Lokalanästhesie und Schmerztherapie“, „Notfall- und Intensivmedizin“, „diagnostische Verfahren“, „Weichteilverletzungen und Wunden“, „Deformitäten und Reifungsstörungen“, „rheumatische Erkrankungen“ etc. (Bundesärztekammer, 2022).

Es wird also deutlich, dass ein ambulant tätiger Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie durch die Facharztausbildung kaum auf die ursächliche Behandlung von Patienten mit chronischen und unspezifischen Schulter-Nacken-Schmerzen vorbereitet wird, vielmehr liegt der Fokus im operativen Bereich. Zusätzlich hindernd ist für den Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie in der Behandlung chronischer Schmerzsyndrome ein Defizit an Ressourcen, hier vor allem Vergütung – aus deren Mangel sich dann ein Mangel an Zeit ergibt. Im Jahr 2022 wird ein Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie für die Behandlung eines einzelnen Patienten mit 22 Euro pro Quartal vergütet, unabhängig davon wie häufig der Patient die Praxis besucht (Deutscher Orthopäden- und Unfallchirurgenverband e.V., 2022). Es ergibt sich also die Notwendigkeit einer sehr zeiteffizienten Terminierung, welche die Applikation von zeitaufwändigen Verfahren wie Biofeedbackverfahren, zumindest durch den Arzt selbst, unmöglich macht.

So konzentrieren sich die ärztlichen Maßnahmen aus dem Bereich der Orthopädie und Unfallchirurgie häufig zunächst auf den durchaus notwendigen Ausschluss schwerwiegenderer struktureller Diagnosen. Eine solche Diagnose würde beispielsweise, je nach Lokalisation und Ausprägung, eine Fraktur von Knochen der Halswirbelsäule (HWS) oder auch ein Bandscheibenvorfall darstellen. Therapeutisch wirksame ärztliche Maßnahmen sind dann zumeist symptomatisch, nicht ursächlich orientiert. So kommt hier beispielsweise die Verordnung von Schmerzmitteln oder die Anwendung von physikalischen Maßnahmen, wie Stoßwellen- oder Ultraschalltherapien, in Frage. Auch die Verordnung physiotherapeutischer Maßnahmen ist ein probates Mittel.

Ein weiterer Fachbereich der mit der Behandlung chronischer Schmerzsyndrome konfrontiert ist, ist der derjenigen Ärzte die eine Weiterbildung im Bereich der speziellen

Schmerzmedizin absolviert haben. Diese sind in der Fachausbildung zumeist Fachärzte für Anästhesie.

Im Ausbildungscurriculum der speziellen Schmerzmedizin finden sich durchaus Inhalte, die in der Behandlung chronischer und unspezifischer Schulter-Nacken-Schmerzen notwendig sind, beispielsweise „neurophysiologische Grundlagen der Schmerzentstehung und Schmerzverarbeitung, einschließlich der Schmerzchronifizierung“ oder auch spezielles Wissen zu muskuloskelettalen Schmerzen (Deutsche Gesellschaft für Schmerzmedizin, 2022). So kann aus diesem Fachbereich also eine kausal orientierte Therapie des chronischen und unspezifischen Schulter-Nacken-Schmerz erwartet werden. Dennoch besteht auch die Betreuung aus dieser Fachrichtung in der Basis zumeist aus medikamentöser Schmerztherapie. Häufig wird dies ergänzt um das Erlernen von Entspannungsverfahren oder auch um die Initiierung tiefergehender psychotherapeutischer Begleitung. Beides findet ggf. nicht durch den Arzt selbst statt, sondern wird im Sinne einer delegierbaren Leistung an andere Mitbehandler weitergegeben. Dies gründet auch hier nicht zuletzt auf der Frage der Abrechnungsmöglichkeiten dieser zeitintensiveren Leistung, sicher aber auch auf den vorhandenen Ausbildungen des betreuenden Arztes.

Ebenfalls an der Behandlung von Patienten mit chronischen, unspezifischen Schmerzen beteiligt sind Psychotherapeuten. Diese konnten bislang ärztliche oder psychologische Psychotherapeuten sein. Voraussetzung für die Ausbildung zum Psychotherapeuten war also entweder ein abgeschlossenes Masterstudium der Psychologie oder ein bestandenenes Staatsexamen der Medizin. Seit dem Jahr 2020 greift das Ausbildungsreformgesetz für Psychotherapeuten, welches ermöglicht das Fach Psychotherapie in drei Jahren Bachelor- und zwei Jahren Masterstudium grundständig zu studieren (Bundesgesundheitsministerium, 2022). Die Curricula zur Ausbildung zum Psychotherapeuten, ob nun in Form eines Studienganges oder eines Aufbaustudiums, enthalten, abhängig von der Verfahrensrichtung, die Bereiche Entspannungs- und Biofeedbackverfahren.

Hinsichtlich der Betrachtung des Biofeedbacktrainings als valides Behandlungsinstrument in der Behandlung chronischer Schmerzen ist auffällig, dass, wie eingangs beschrieben, lediglich ein kleiner Teil der Patienten mit chronischen Schmerzsyndromen psychotherapeutische Betreuung erfahren. Ein elektromyografisches (EMG-)Biofeedbacktraining steht entsprechend grundsätzlich nur einer kleinen Gruppe Betroffener zur Verfügung.

Weiterhin findet die Behandlung chronischer Schmerzpatienten durch den Berufsstand der Physiotherapeuten statt. Der staatlichen Prüfung zum Physiotherapeuten geht in Deutschland eine dreijährige schulische Ausbildung voraus. Diese kann grundsätzlich an privaten oder staatlichen Schulen absolviert werden. Ausbildungscurricula haben für die konkrete Gestaltung der Ausbildungsgänge keinen bindenden, sondern empfehlenden Charakter (Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK), 2022). In weiten Teilen ausbildungsbegleitend, teilweise aber auch grundständig, sind Fachhochschulstudiengänge im Bereich der Physiotherapie möglich. Ob innerhalb der schulischen oder auch fachhochschulischen Ausbildung Biofeedbackverfahren gelehrt werden, ist hauptsächlich abhängig von der spezifischen Gestaltung des jeweiligen Ausbildungs- oder Studienganges.

Die sich im Rahmen einer physiotherapeutischen Behandlung ergebenden Behandlungsansätze für Patienten mit chronischen und unspezifischen Schulter-Nackenschmerzen sind vielfältig. Nicht selten ist die Frage, ob Biofeedbackverfahren durch Physiotherapeuten appliziert werden abhängig von der Institution in welcher die Behandlung stattfindet. Dies begründet sich auch hier durch die Abrechnungsmöglichkeiten im Rahmen dieser speziellen Leistung sowie die für eine einzelne Sitzung verfügbare Zeit.

Im ambulanten Behandlungssetting und im Rahmen der Abrechnung mit den gesetzlichen Krankenkassen ist durch den Einsatz eines wie auch immer gearteten Biofeedbacksystems keine Erhöhung der abzurechnenden Erlöse möglich. Dies macht eine Gegenfinanzierung des Anschaffungspreises für die notwendige Hardware unmöglich. Zusätzlich stellen die üblicherweise verordneten 20 bis 30-minütigen Behandlungseinheiten keine ausreichende Zeitressource zur Applikation eines Biofeedbacktrainings dar.

Gegensätzlich hierzu werden im Rahmen der Abrechnung mit den privaten Krankenkassen die Behandlungspreise nicht zwischen Physiotherapeut und Krankenkasse, sondern zwischen Therapeut und Patient vereinbart. Dies ermöglicht eine freie Preisgestaltung, innerhalb derer eine wirtschaftlich sinnvolle Applikation von Biofeedbacktraining grundsätzlich möglich wird. Dennoch spielt auch hier die Frage nach dem marktüblichen Preis und der Notwendigkeit Preise zu erheben, die der jeweilige Patient bereit ist zu zahlen, eine Rolle. Entsprechend der ökonomisch freieren Situation findet sich das Biofeedbacktraining im Setting der ambulanten Physiotherapie in Abrechnung mit den privaten Krankenkassen oder Selbstzahlern zwar vergleichsweise häufiger, trotzdem ist es immer noch keine übliche oder gar alltägliche Leistung – vor allem nicht im Bereich der Behandlung chronischer Schmerzen. Aufgrund des üblichen Einsatzes elektromyografischer Diagnostik im Bereich der Sportwissenschaften, beispielsweise zur Leistungsdiagnostik im Leistungssport, ist ein Einsatz von Biofeedbackverfahren im physiotherapeutisch ambulanten Bereich eher in der Rehabilitation von Sportlern als in der Behandlung von Patienten mit chronischen und unspezifischen Schmerzsyndromen zu finden.

Ein weiteres Setting in welchem Biofeedbackverfahren teilweise zu finden sind, ist das der stationären oder ambulanten Rehabilitationen. Aber auch hier ist sowohl die Frage nach seiner konkreten inhaltlichen Gestaltung hochgradig individuell und zudem abhängig von der Ausrichtung der Institution wie des Therapeuten, der das Training durchführt.

Es wird also deutlich, dass durch die häufigste Anlaufstelle für Patienten mit chronischen Schmerzsyndromen, nämlich Facharztpraxen für Orthopädie und Unfallchirurgie, keine Applikation von Biofeedbacktrainings stattfindet. Weiterhin sind Biofeedbackverfahren als üblicherer Bestandteil der Ausbildungscurricula ausschließlich im Bereich der Psychotherapie zu finden. Dies erklärt eine vermehrte Orientierung der Inhalte von Biofeedbackverfahren an psychischen Ursachen der Beschwerden. Potenzielle biomechanische Ursachen werden in der Fokussierung der Therapie demnach vernachlässigt. Findet Biofeedbacktraining auch in anderen Disziplinen statt ist aufgrund fehlender Standards nicht deutlich, welche Vorgehensweisen und Inhalte die Gestaltung der Behandlung prägen. Grund hierfür kann sein, dass konkrete Beschreibungen der innerhalb der Biofeedbacksitzungen anzuwendenden Vorgehensweisen fehlen (Heinrich et al., 2020) (Gaume et al., 2016). Innerhalb der Physiotherapie kommen erschwerend mangelnde Ressourcen, v.a. an Zeit und Gegenfinanzierung der Leistung, hinzu.

Es ist zusammenzufassen, dass eine Standardisierung der Inhalte sowie der Applikationsstruktur von Biofeedbackverfahren bei chronischen und unspezifischen Schulter-Nacken-Schmerzen sinnvoll ist.

Struktur dieser Arbeit soll es also sein, zunächst einen Überblick über übliche Inhalte von Biofeedbackverfahren zu erlangen. Die ermittelten Inhalte sollen dann hinsichtlich der Frage überprüft werden, ob mögliche Ursachen des Krankheitsbildes damit abgedeckt werden. Weiterhin soll daraus eine zukünftig mögliche standardmäßige Gestaltung von Biofeedbackverfahren beschrieben werden. Ziel der Standardisierung kann sein, dass Biofeedbackverfahren aufgrund einer verbesserten Delegierbarkeit an nicht ärztliches Personal auch im Setting der Facharztpraxis für Orthopädie und Unfallchirurgie applizierbar sind. Ebenfalls kann als Ziel der Standardisierung formuliert werden, dass Kostenträger den Begriff des Biofeedbacktrainings mit einem klar definierten, validen Vorgehen verbinden. Dies kann zum einen dazu beitragen, dass die Kosten der Leistung grundsätzlich, auch durch die gesetzlichen Krankenkassen, gedeckt werden. Zum anderen aber kann dies auch zu einer attraktiveren Vergütung des Biofeedbacktrainings und entsprechend zur flächendeckenderen Anwendung desselben beitragen.

Aufgrund seiner hohen Relevanz soll innerhalb dieser Arbeit das Krankheitsbild des chronischen Schulter-Nacken-Schmerzes in seiner Reaktion auf Biofeedbackverfahren betrachtet werden.

## 1.2 Biofeedbackverfahren

### 1.2.1 Grundsätzliche Wirkweise von Biofeedbackverfahren

Biofeedbackverfahren sind definiert als Verfahren durch die einer Person Rückmeldung zu den Abläufen ihrer eigenen, aktuellen körperlichen Prozesse zur Verfügung gestellt werden können (Green et al., 1973). Die Prozesse können messbar werden durch die Darstellung folgender Parameter per elektromechanischer Instrumente: Muskelaktivität, Herzrate, Blutdruck, Schweißdrüsenaktivität, Haut- und Körpertemperatur, elektrophysiologische Prozesse des Gehirns, periphere Durchblutung, Durchmesser von Blutgefäßen und Atemfunktion (Rief & Birbaumer, 2011) (Khazan, 2013).

Ziel der Biofeedbackverfahren ist es, die Wahrnehmung eines oder mehrerer körperlicher Prozesse zu verbessern und die Fähigkeit zu entwickeln, unterschiedliche Stadien voneinander unterscheiden zu können. Hinzukommen soll das Erlernen der Beeinflussbarkeit dieser (Gaume et al., 2016) (Crevenna, 2010). Dazu „werden körperliche Funktionen den Patienten kontinuierlich zurückgemeldet (z.B. optisch oder akustisch) und positive Änderungen dieser Körperfunktionen verstärkt, sodass die Patienten lernen können, die Körperfunktionen zu beeinflussen (Rief & Birbaumer, 2011).

Die während des Biofeedbacktrainings ablaufende Reaktionskette beginnt damit, dass der Trainierende durch das Feedback Erkenntnis zu einem somatischen (körperlichen) Geschehen oder Verhalten erlangt. Diese Erkenntnis führt zu einer kortikalen (kognitiven) Verarbeitung der Information, die wiederum eine Reaktion des autonomen oder vegetativen Nervensystems (Beteiligung des Hypothalamus) und dann eine Reaktion des Körpers verursacht. Diese körperliche Reaktion führt wiederum zu einer Veränderung im

dargestellten Biofeedbackparameter, diese dann zuletzt zu einer neuen Erkenntnis über das aktuelle körperliche Verhalten (Green et al., 1973). Vereinfacht dargestellt handelt es sich also um einen Prozess, der mit der Wahrnehmung eines bestimmten Körpersignales beginnt und dann über das Verstehen der Möglichkeiten ihn zu beeinflussen – bspw. durch eine Haltung oder einen inneren Anspannungszustand – zur Veränderung desselben führen kann (Pirker-Binder, 2008).

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt sein, dass es sich bei dem hier beschriebenen Biofeedbacksignal um ein direktes Signal handelt. Davon abzugrenzen ist ein indirektes Signal, welches den gemessenen Parameter nicht unmittelbar darstellt, ihn aber zur Modulation anderer, virtueller Verfahren nutzt. Dies beispielsweise im Rahmen von Computerspielen (Champion & Dekker, 2011) (Nacke et al., 2011).

Um die Bedeutung der beschriebenen Reaktionskette besser zu verstehen ist es nötig, die Funktion des Cortex sowie des Hypothalamus genauer zu definieren: Die durch den Cortex beeinflussten Vorgänge sind unter anderem Funktionen wie Intelligenz, Vorausschau, Wahrnehmungsfähigkeiten und motorische Funktionen (Lawson-Kerr et al., 1991). Der Hypothalamus wiederum dient überwiegend der Steuerung vegetativer, unbewusst ablaufender Funktionen des autonomen Nervensystems, beispielsweise der Regulation der Körpertemperatur oder bestimmter Stoffwechselforgänge. Daneben beeinflusst er aber auch den Ausdruck von Emotionen, Stressreaktionen sowie diesen folgende Regulationsprozesse (Brooks, 1988). Hierdurch wird klar, dass Biofeedbackverfahren eben auf beiden Ebenen wirken können, auf der eher rationalen wie auch auf der emotionalen Ebene. Entscheidend ist, dass es innerhalb der beschriebenen Reaktionskette zu Erkenntnissen über den Zusammenhang zwischen emotionalen und körperlichen Vorgängen sowie zu entsprechenden Anpassungsvorgängen im Sinne eines veränderten Verhaltens oder einer veränderten Einstellung kommt.

### 1.2.2 Gestaltung von Biofeedbackverfahren bei chronischen Schmerzsyndromen

Während zwar grundsätzliche Ideen und Abläufe von Biofeedbackverfahren bei chronischen Schmerzsyndromen durch Lehrbücher vermittelt werden, fehlt eine durch die Literatur beschriebene einheitliche Vorgehensweise für ein EMG-Biofeedbackverfahren. Es kann kaum auf ein klar definiertes, valides Vorgehen geschlossen werden (Friedmann, 1977). Dennoch sollen hier zunächst vorhandene Grundlagen beschrieben werden.

Gestaltungsbasis für diese Art des Biofeedbacktrainings ist der Ansatz, ein als rein somatisch wahrgenommenes Krankheitsbild in eines mit Beteiligung der Psyche, also ein psychosomatisches Geschehen, zu überführen (Crevenna, 2010).

Bevor ein Biofeedbacktraining beginnen kann muss entschieden werden welcher sog. Parameter dargestellt wird. Ein Parameter meint dabei jeweils eine bestimmte physiologische Funktion. Zu den per Biofeedback darstellbaren Parametern gehören: Muskelaktivität, Herzrate, Blutdruck, Schweißdrüsenaktivität, Haut- und Körpertemperatur (Haus et al., 2016). Die empfohlene Zielsetzung für die Biofeedbacktherapie bei den Bewegungsapparat betreffenden Schmerzen ist es, durch die Behandlung „muskuläre Dysbalancen und erhöhte Muskelanspannung als Reaktion auf Stress in spezifischen Muskelgruppen zu beeinflussen“ (Rief & Birbaumer, 2011). Es wird also deutlich, dass für ein Biofeedbacktraining bei chronischen Schulter-Nacken-Schmerzen die muskuläre Aktivität der sich eignende Parameter ist. Dieser wird per Elektromyografie (EMG) visuell

dargestellt. Die visuelle Darstellung erfolgt meist durch Balken- oder Kurvendiagramme, an deren Höhe das Aktivierungsniveau des untersuchten Muskels abgelesen werden kann.

Hinsichtlich der Frage, welcher Muskel genau in seiner Aktivität sichtbar gemacht werden soll, wird ein sog. „Scanning“ empfohlen. Dies bedeutet eine Platzierung der Elektroden auf verschiedenen Muskeln und Vergleich der dadurch festgestellten Aktivitätsniveaus mit Normwerten (Rief & Birbaumer, 2011). Innerhalb der EMG-Biofeedbacktherapie soll dann die durch das Scanning als übermäßig aktiviert identifizierte Muskulatur im Vordergrund stehen.

Typischerweise geht dem eigentlichen Biofeedbacktraining dann eine Darstellung des Parameters innerhalb eines Stresstests voraus. Dies bedeutet eine Ableitung der muskulären Aktivität unter Exposition des Patienten mit bestimmten Stressoren wie beispielsweise der Aufforderung ein Lied zu singen, das Bild einer Spinne anzuschauen oder in Siebenerschritten von einhundert an rückwärts zu zählen. Hierdurch kann die vegetative Reaktions- und Verarbeitungsfähigkeit des Betroffenen genauer betrachtet werden. Grundlegende Idee hierbei ist, dass „Schmerz als einer der größten Stressoren zu werten, chronischer Schmerz dementsprechend als Dauerstressor“ zu verstehen ist (Haus et al., 2016). Es soll also letztlich dargestellt werden, wie intensiv die körperliche Reaktion auf Stress ausfällt

Anschließend soll das Biofeedbacktraining zur „Unterstützung der Psychoedukation“, als „generelles Entspannungstraining“ sowie als „gezielte Technik“ eingesetzt werden (Rief & Birbaumer, 2011).

Ziel der genannten Psychoedukation ist es, dass der jeweilige Patient ein grundlegendes Verständnis über den Zusammenhang zwischen seinem psychischen Zustand und dem körperlichen Empfinden erlangt.

Zur Unterstützung dieses Ziels dient prinzipiell die beschriebene Wirkweise des EMG-Biofeedbacktrainings selber. Konkret wird durch Visualisierung einer muskulären Aktivität für den Patienten zum ersten Mal greifbar, dass der schmerzhafte Bereich gegebenenfalls dysfunktionale Aktivierungsmuster zeigt. Weiterhin kann dann durch den Therapeuten die Reaktion der muskulären Aktivität auf Stress herangezogen werden, um eine Verbindung zwischen Stress und schmerzhafter Muskelverspannung herzustellen. Ausgangslage hierfür muss natürlich sein, dass ein Anstieg der muskulären Aktivität im Rahmen des Stresstests erfolgt. Mit diesem Vorgehen kann ein grundlegendes Verständnis dafür geschaffen werden, dass eine Fähigkeit zur Entspannung bzw. eine geringere Reaktion auf Stressoren mit einer Verringerung von Schmerzen einhergehen kann.

Als generelles Entspannungstraining, welches sich dann auf das Aktivitätsniveau der Muskulatur auswirkt, werden das autogene Training, die progressive Muskelentspannung, aber auch das Yoga empfohlen. Ziel aller Entspannungsverfahren ist die Regulierung bzw. Reduktion einer erhöhten Sympathikusaktivität (Crevenna, 2010). Die genaue Bedeutung dessen wird im Verlauf dieser Arbeit aufgegriffen.

Ein Review, welches die Anwendung von Entspannungstechniken und EMG-Biofeedbackverfahren bei angst- und stressbezogenen Krankheiten fokussiert, kommt zu dem Schluss, dass jede der Techniken ein valides Verfahren zur Behandlung von

muskuloskelettalen und das autonome Nervensystem betreffenden Störungsbildern darstellt. Weiterhin wird aber auch beschrieben, dass endgültige Schlussfolgerungen durch die Tatsache der festzustellenden, großen Variabilität von angewandten Techniken und Vorgehensweisen, die wenig systematisch aufgebaut scheinen, erschwert sind (Biondi & Valentini, 2014). Auch durch Martin & Rief (2009) wird die Kombination des Biofeedbacktrainings mit anderen therapeutischen Interventionen, bspw. Entspannungstrainings, empfohlen. Es bleibt hier also festzuhalten, dass Entspannungsverfahren im Setting der Behandlung von chronischen Schmerzen sinnvoll sind, jedoch auch hier unklar ist, wie genau deren Ausgestaltung im Rahmen einer EMG-Biofeedbacktherapie aussehen kann. Dies gibt der Ausrichtung dieser Arbeit weiterhin Gewicht.

Der Einsatz des Biofeedbacktrainings als gezielte Technik meint grundsätzlich, dass auch haltungsbedingte übermäßige Aktivierungen von Muskulatur, sog. muskuläre Dysbalancen, im Biofeedbacktraining berücksichtigt werden sollten. Hierzu findet jedoch keine konkrete Beschreibung aufzuarbeitender Defizite in Haltung und Bewegung statt. Stattdessen empfehlen Rief & Birbaumer (2011) in die Interventionen die folgenden Themenbereiche zu integrieren: Arbeit mit Triggerpunkten, Identifizierung und Abbau von Schonhaltungen, die Identifizierung von Muskelverspannung oder -verkürzung, EMG-Messungen in unterschiedlichen Haltungspositionen, dynamische EMG-Messungen, die Integration eines psychophysiologischen Stressprofils sowie die Analyse von Haltungs- und Bewegungsabläufen denen der Patient häufig, beispielsweise durch seinen Beruf, ausgesetzt ist. Diese Empfehlungen decken sich teilweise mit denen von Haus et al. (2016), wobei dort die Benennung der Therapieinhalte eher noch weniger konkret ist. Allgemein werden die Trainingsziele des EMG-Biofeedbacks ebenfalls in der Reduktion des Ruhetonus, in einer Entspannung der Muskulatur gesehen (Ince et al., 1985). Jedoch fehlen auch hier genauere methodische Hinweise. Es bleibt also letztlich bei einer Aufforderung, übermäßig angespannte Muskulatur zu entspannen und kommt nicht zu einer konkreteren Anweisung, wie dies erreicht werden kann.

Eine weitere, kritische Auseinandersetzung mit den genannten Inhalten eines EMG-Biofeedbacktrainings ergibt Folgendes: Triggerpunkte sind sowohl durch ihre klinische Darstellung als auch durch ihre Ursachen definierbar. Klinisch zeigen sie sich als irritierte Bereiche innerhalb eines Muskels die mit tastbaren, häufig schmerzhaften Knoten einhergehen (Donelli et al., 2019). Die an den Ursachen der Triggerpunkte orientierte Definition beschreibt diese als Ansammlung von elektrisch aktiven Orten im Verlauf des Muskels, einhergehend mit Kontraktion der beteiligten Muskelfasern (Donelli et al., 2019). Obwohl vor allem die zweite, ursachenbezogene Definition des Phänomens der Triggerpunkte die Vermutung nahe legt, dass oberhalb dieser durch das EMG-Biofeedback sichtbar zu machende vermehrte muskuläre Aktivität stattfindet, ist der Nutzen einer Ableitung oberhalb der palpierbaren Triggerpunkte für das EMG-Biofeedbacktraining nicht deutlich. Dies ist zum einen dadurch zu begründen, dass in der aktuellen Literatur die klinische Relevanz der Triggerpunkte unklar bleibt (Quintner et al., 2015), vor allem aber dadurch, dass elektromyografische Ableitungen schmerzhafter Muskeln keine Abnormalitäten im Bereich der Triggerpunkte gezeigt haben (Quintner & Cohen, 1994). Der elektromyografischen Darstellung von Triggerpunkten soll innerhalb dieser Arbeit also keine Bedeutung gegeben werden.

Die genauere Gestaltung der weiteren, in das EMG-Biofeedbacktraining zu integrierenden Bereiche wie die genannte Identifizierung und der Abbau von Schonhaltungen, die Identifizierung von Muskelverspannung oder -verkürzung, die EMG-Messungen in unterschiedlichen Haltungspositionen, die dynamischen EMG-Messungen sowie der Analyse von Haltungs- und Bewegungsabläufen soll grundsätzlich immer so ausfallen, dass durch das Biofeedback sichtbar eine Reduktion von muskulärer Aktivität in den schmerzhaften Bereichen stattfindet. Wie genau dies erreicht werden soll, wird durch die Literatur nicht ausgeführt. Zwar wird die Zielsetzung konkret benannt, nämlich als Erlangen von Kontrolle über Muskeln und Muskelentspannung (Rief & Birbaumer, 2011), dennoch bleibt die Beschreibung des Vorgehens unkonkret: „Unter Anleitung des Therapeuten lernt der Patient mit visueller oder akustischer Rückmeldung die Muskelspannung wahrzunehmen, zu steuern und zu senken“. Oder: „Wenn möglich sollten auch für den Patienten typische Arbeitshaltungen eingenommen und anhand der beobachteten muskulären Aktivität günstige Verbesserungen dieser Haltungen erarbeitet und eingeübt werden“ (Rief & Birbaumer, 2011). Letztlich handelt es sich also um ein Vorgehen nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum, in welchem der Patient gebeten wird zu probieren, wie er seine Körperhaltung so verändern kann, dass die gesehenen Signale eher dem vermeintlichen Soll entsprechen. Wie genau das Soll bzw. eine „günstige Verbesserung“ hierbei jedoch aussieht wird nicht definiert. Weiterhin bleibt zu kritisieren, dass hierbei die Pauschale angenommen wird, dass Schmerzen immer dann weniger wahrscheinlich sind, wenn das Aktivierungsniveau eines Muskels möglichst gering ist. Das gelte nicht nur für statische Haltungen, sondern auch für unterschiedliche Bewegungen in unterschiedlichen Tempi. Vor dem Hintergrund der auf Biomechanik beruhenden Notwendigkeit, in verschiedenen Haltungen und Bewegungen verschiedene Muskeln mehr oder weniger zu aktivieren, ist dieser Pauschale nicht zuzustimmen.

Beides, die Tatsache, dass Triggerpunkte als zu beachtender Inhalt des Biofeedbacktrainings beschrieben werden, sowie die Vorgehensweise nach Versuch und Irrtum in der Korrektur von Haltungs- und Bewegungsdefiziten unterstützt allerdings die Hypothese, dass eine Aufarbeitung der Inhalte des Biofeedbacktrainings und Prüfung derer auf Validität notwendig ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Inhalte des EMG-Biofeedbacktrainings zwar sowohl in ihrer somatischen als auch psychosomatischen Zielsetzung formuliert sind, jedoch für beide Bereiche klare Standards in Vorgehen und konkreter Zielsetzung der Inhalte fehlen. Erfolgte Validierungen von Biofeedbacktherapien sind fraglich, da auch hier keine detaillierten Beschreibungen von Vorgehen und Zielsetzungen innerhalb der jeweiligen Trainings stattfinden.

Folgend sollen eine Definition des chronischen Schulter-Nacken-Schmerzes erstellt sowie seine möglichen Ursachen beschrieben werden. Danach kann eine kritische Untersuchung der Frage erfolgen, welche Inhalte ein EMG-Biofeedbacktraining abdecken muss, sodass dann eine Gestaltung zu untersuchender Prüftherapien stattfinden kann.

### 1.3 Definition und Ursachen chronischer Schulter-Nacken-Schmerzen

Eine Abgrenzung der verschiedenen Arten von Schulter-Nacken-Schmerzen kann über die Kategorien spezifisch bzw. nicht-spezifisch gelingen. Spezifisch sind dabei diejenigen

Beschwerden, die auf Basis einer konkreten Erkrankung der HWS entstehen. Diese Beschwerden basieren auf einer strukturellen Schädigung, welche innerhalb einer bildgebenden Untersuchung, wie beispielsweise eine Magnetresonanz- oder Röntgenuntersuchung, darstellbar sind. Beispiele hierfür sind Bandscheibenveränderungen mit oder ohne Auswirkungen auf die Nervenwurzel, Arthrosen im Sinn einer Veränderung der knöchernen Gelenkflächen oder auch Stenosen, d.h. Verengungen der in der zervikalen Wirbelsäule physiologisch vorhandenen Durchtrittskanäle von Nerven oder Rückenmark. Üblicherweise führen strukturelle Veränderungen zu eindeutig mit diesen in Verbindung zu bringenden Symptomen oder Symptomkomplexen, bestehend aus Schmerzen, sensiblen Störungen der oberen Extremität, Kraftverlusten o.ä.

Die in dieser Arbeit thematisierten Schulter-Nacken-Schmerzen sind unspezifischer Art, was bedeutet, dass die Beschwerden eben keinem konkreten, strukturellen Grund zuzuordnen sind (Cohen & Hooten, 2017). Cohen & Hooten (2017) belegen die unspezifischen Schulter-Nacken-Schmerzen weiterhin mit dem Attribut der myofaszialen Schmerzen, was bedeutet, dass die Beschwerden hauptsächlich durch Schmerzen gekennzeichnet sind, welche sich aus der Muskulatur sowie dem faszialen System speisen. „Faszien“ sind eine bindegewebige Struktur, welche in verschiedenen Schichttiefen jede Struktur des Körpers bedeckt und beispielsweise zum Erhalt der Form von Organen beiträgt (Stecco et al., 2016).

Obwohl Faszien und Muskulatur beides ebenfalls Strukturen des Körpers sind, können Schmerzen die aufgrund deren dysfunktionalem Einsatz entstehen, kaum durch bildgebende Verfahren festgestellt werden. Begründend hierfür ist die Tatsache, dass die beschriebenen unspezifischen myofaszialen Schmerzen nicht auf einer strukturellen Schädigung von Muskulatur und Fasziensystem beruhen. Während Schmerzen üblicherweise als eine zwar multifaktoriell begründete Situation definiert wurden, die mit gegenwärtiger oder drohender Zerstörung von Strukturen einhergeht, wird diese Betrachtungsweise seit einiger Zeit kritisiert. Vor allem das Element der aktuellen oder drohenden Zerstörung von Strukturen ist nicht mehr haltbar und muss der Tatsache weichen, dass multiple Faktoren, entsprechend dem biopsychosozialen Modell, fernab von Strukturschäden Schmerzen verursachen können (Williams & Craig, 2016).

Im Folgenden soll eine erste Betrachtung potenziell schmerzauslösender Faktoren hinsichtlich des chronischen unspezifischen Schulter-Nacken-Schmerzes stattfinden. Das hier betrachtete Krankheitsbild soll der Einfachheit halber folgend nur mit „Schulter-Nacken-Schmerzen“ benannt werden. Handelt es sich um einen Schulter-Nacken-Schmerz, der nicht chronisch und unspezifisch ist, wird dies kenntlich gemacht.

Schulter-Nacken-Schmerzen sind in der Internationalen Statistischen Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (engl. International Classification of Diseases, ICD) mit dem Code M53.1 für Zervikobrachialgie, exklusive typischer struktureller Schäden wie dem zervikalen Bandscheibenschaden, belegt (Deutsches Institut für medizinische Dokumentation und Information, 2017). Sie werden dort als diffuse Schmerzen beschrieben, die sich über die gesamte Schulter-Nacken-Region erstrecken. Genauer gefasst handelt sich dabei um Beschwerden im Bereich des Occiput (des Hinterhauptansatzes) bis hin zu den Acromioclaviculargelenken (zu den oberen, äußeren Ecken der Schultergelenke), wobei die Beschwerden durch Positionsabhängigkeit,

Muskelverspannungen und Bewegungseinschränkungen der HWS charakterisiert (Hempelmann et al., 2002) und eben nicht spezifisch struktureller Natur sind. Das bedeutet sie basieren nicht auf einer Verletzung der Strukturen der Halswirbelsäule. Die genannte Definition, welche auch eine genaue Beschreibung der Lokalisation der Beschwerden enthält, ist vor der später folgenden Frage nach dem genauen, schmerzauslösenden Muskel an dieser Stelle relevant.

Während das Attribut der Chronizität der Definition anderer Erkrankungen, wie beispielsweise dem Diabetes Mellitus, dem Asthma o.ä., immanent ist, können Schulter-Nacken-Schmerzen ganz grundsätzlich auch einen nicht chronischen Verlauf aufzeigen. Hier wird der Zusatz „chronisch“ dann verwendet, wenn die im Zusammenhang mit den Schulter-Nacken-Schmerzen stehenden Beschwerden seit mindestens zwölf Wochen andauern (Scherer & Chenot, 2016) (Bernell & Howard, 2016).

Ursachen und damit auch prädisponierende Faktoren von Schulter-Nacken-Schmerzen können sowohl biologischer als auch psychosozialer Natur sein. Dies stimmt mit dem biopsychosozialen Modell von Krankheit und Gesundheit überein, welches Schmerzen als dynamisches Zusammenspiel zwischen biologischen, psychologischen und sozialen Faktoren betrachtet (Cohen & Hooten, 2017).

Als Endpunkt jedes Entstehungsweges des hier betrachteten Beschwerdebildes wird eine veränderte Arbeits- oder Aktivierungsweise des Musculus (M.) trapezius pars descendens sowie anderer in seiner direkten Nachbarschaft liegenden Muskeln genannt. „Verändert“ bedeutet hierbei eine Erhöhung des Aktivitätsniveaus des M. trapezius pars descendens. Der Zusammenhang zwischen Schmerzen und erhöhtem Aktivitätsniveau des M. trapezius pars descendens kann durch folgende Ergebnisse unterstützt werden: Per Oberflächen-Elektromyografie (EMG) konnte festgestellt werden, dass Probanden, die über einige Minuten in eine verstärkte Flexionsposition (Beugung) der Halswirbelsäule gebracht wurden, noch zwölf bis 24 Stunden nach Auflösung der Position über Beschwerden klagten, die mit einer per EMG gemessenen erhöhten Aktivität des M. trapezius pars descendens einher ging. Dies, obwohl die Position längst aufgelöst worden war (Harms-Ringdahl & Ekholm, 1986). Auch zeigen Patienten mit Schulter-Nacken-Schmerzen veränderte Muster muskulärer Kontrolle im Bereich der zervikalen Flexoren (Beuger) sowie des M. trapezius pars descendens während spezifischer Aufgaben. Fokussiert auf die Veränderungen des M. trapezius pars descendens ist dies beispielsweise eine „Unfähigkeit zu entspannen“, nach der Bewegungsausführung der HWS-Rotation bei Patienten mit Schulter-Nacken-Schmerzen, wobei die Unfähigkeit zu entspannen ebenfalls eine anhaltende erhöhte Aktivierung des Muskels bedeutet. Diese Veränderungen werden in verschiedenen Studien per EMG dargestellt und könnten auf abweichende muskuläre Stabilisationsmuster für Kopf und Nacken hinweisen (Johnston et al., 2008).

Eine detaillierte Beschreibung der biomechanischen wie auch der psychophysiologischen Pathomechanismen folgt diesem Kapitel.

Vor dem Hintergrund der anatomischen Lage des M. trapezius pars descendens, die der beschriebenen Lokalisation von Schulter-Nacken-Schmerzen (von Occiput zu Acromion) entspricht, ist dessen erhöhte Aktivierung als letztendlicher Auslöser von Schulter-Nacken-Schmerzen gemäß der in dieser Arbeit verwendeten Definition plausibel. Auch deshalb ist eine äquivalent zum Schulter-Nacken-Schmerz verwendete Bezeichnung des

Krankheitsbildes die Trapezius-Myalgie (Muskelschmerz, der den M. trapezius pars descendens betrifft) oder auch das Nacken-Spannungs-Syndrom (Sommerich et al., 2000).

Abschließend ist also festzuhalten, dass die bei Schulter-Nacken-Schmerzen empfundenen Beschwerden scheinbar mit einer per EMG nachweisbaren erhöhten Aktivität des M. trapezius pars descendens einher gehen. Therapeutische Verfahren müssen diese also in den Fokus nehmen.

Das Krankheitsbild der Schulter-Nacken-Schmerzen ist biopsychosozialer Natur (Cohen & Hooten, 2017). Das bedeutet, dass die Ursachen der erhöhten Aktivität des M. trapezius pars descendens biologischer, aber auch bzw. außerdem psychosozialer Natur sein können. Beiden Faktoren muss in einem EMG-Biofeedbacktraining also Bedeutung gegeben werden.

### 1.3.1 Pathomechanismus der Aktivitätssteigerung M. trapezius pars descendens aus biomechanischen Gründen

Ein erhöhtes Aktivitätsniveau des M. trapezius pars descendens geht potenziell mit einer veränderten Biomechanik, d.h. mit einer veränderten Haltung und Bewegung des Betroffenen einher. Auf Basis dieser kommt es zu von der Physiologie abweichenden räumlichen Situationen der Strukturen (im Wesentlichen Muskulatur und Faszien-system) des Schulter-Nacken-Komplexes und damit zu veränderten Arbeitsweisen derselben, welche dann ihrerseits wieder Schmerzen auslösen können (Ghaderi et al., 2019).

Eine Konkretisierung der Veränderung der Biomechanik führt zunächst zur Identifikation der gebeugten Sitzhaltung als mit Schulter-Nacken-Schmerzen in Verbindung stehende Position (Lee et al., 2016). Genauer ist hier die Flexion (Beugung) der Brustwirbelsäule (BWS) bzw. deren übermäßige Kyphose (Krümmung) gemeint, der eine besondere Bedeutung in der Entstehung von Schulter-Nacken-Schmerzen zugeschrieben wird. Aufgrund der knöchernen Verbindungen zwischen Wirbelsäule und Schulter-Nackenbereich wird durch eine kyphosierte BWS-Haltung die Muskellänge und die Fähigkeit der Muskulatur Spannung aufzubauen beeinflusst (Kebaetse et al., 1999). Wesentlich hierfür ist die in Folge entstehende Überaktivierung und darauf folgende Ermüdung des unteren M. Trapezius (M. trapezius pars ascendens) (Lee et al., 2016). Obwohl englischsprachige Studien die Begriffe unterer bzw. oberer M. trapezius verwenden, werden innerhalb dieser Arbeit die dafür stehenden lateinischen Namen des M. trapezius pars descendens (für den oberen Trapezius) und M. trapezius pars ascendens (für den unteren Trapezius) benutzt.

Im zweiten Schritt ist eine Assoziation zwischen der Kyphose der BWS und einer sog. Scapuladyskinesie (Schulterblattbewegungsstörung) als sich aus der Kyphose entwickelnde Problematik zu nennen (Finley & Lee, 2003). Um die Verbindung zwischen dem erst- (Ermüdung des M. Trapezius pars ascendens) und dem zweit- (Scapuladyskinesie) genannten Punkt herzustellen, ist Kenntnis darüber notwendig, dass die Funktion des M. Trapezius pars ascendens u.a. die Stabilisation der Scapula (Schulterblatt) in seiner korrekten Position ist (Lee et al., 2016). Während der M. Trapezius pars ascendens als Stabilisator der Scapula wirkt, funktioniert der M. Trapezius pars descendens als Aufwärtsrotator (Cools et al., 2002), die beiden Muskeln sind also Antagonisten (Gegenläufer). Es ist zu schließen, dass eine dauerhaft eingeschränkte

Stabilisation der Scapula, verursacht durch den bei BWS-Kyphose ermüdeten M. Trapezius pars ascendens, zum vermehrten Einsatz des M. Trapezius pars descendens führt. Dieser wurde zuvor, durch seine Überaktivierung, als letztendlicher, Schmerzauslöser bei Schulter-Nacken-Schmerzen identifiziert.

Die hier beschriebene, pathologische Haltung entspricht dem von Janda (1968) definierten oberen gekreuzten Syndrom, welches im Wesentlichen mit einer Schwäche des M. trapezius pars ascendens sowie einer Überaktivierung des M. Trapezius pars descendens einher geht. Diese Veränderung der funktionellen Situation benötigt eine neuromuskulär orientierte Korrektur (Page, 2011). Dies bedeutet eine Korrektur, in welcher durch Einbezug des zentralen, aber auch peripheren Nervensystems, Haltung und Bewegung in besserer, vermeintlich korrekter Weise ausgeführt und kontrolliert wird (Bayattork et al., 2020). Im Blick auf diese Lösungsstrategie sind mögliche psychophysiologische Ursachen, aber auch die Verbindung zwischen diesen und den biomechanischen Auslösern, noch ausgeklammert.

Folgend sollen die benannten Pathomechanismen „verstärkte thorakale Kyphose“ sowie „Scapuladyskinesie“ im Detail analysiert werden.

Szeto et al. (2001) verglichen per zweidimensionaler Haltungsanalyse die Positionen von Kopf, Hals und Schulter zwischen am Computer tätigen Personen mit und solchen ohne Nackenschmerzen. Hierzu wurden an den Probanden jeweils vier Markierungen aufgebracht: An der Stirn, dem Knorpel am Eingang zur Ohrmuschel (Tragus), dem siebten Halswirbel sowie dem Acromion (Schulterecke). Anschließend wurde definiert, welche aus diesen Markierungen ableitbaren Winkel in beiden Gruppen betrachtet werden sollten. Diese waren der zwischen der Linie von Tragus zum siebten Halswirbel und der y-Achse (im Folgenden Winkel a) sowie derjenige zwischen der Linie von Stirn zu Tragus und der y-Achse (im Folgenden Winkel b). Außerdem wurde die Verschiebung des Acromions auf der Y- sowie auf der x-Achse analysiert, hier in Referenz zum siebten Halswirbel. Die Betrachtung erfolgte aus der seitlichen (sagittalen) Ebene. Zum besseren Verständnis dient die folgende Abbildung.

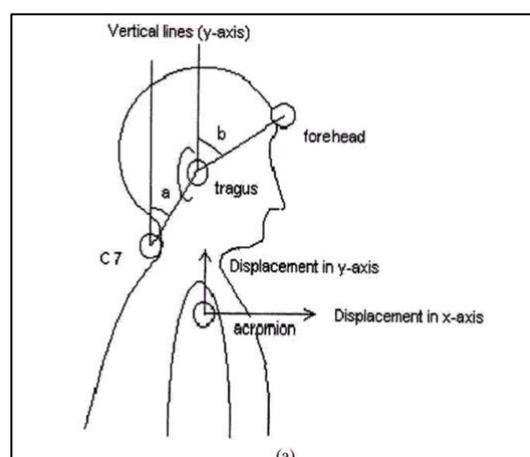


Abbildung 1: Darstellung der Gelenkwinkel von der Linie Tragus zu 7. Halswirbel und y-Achse (a), von der Linie Stirn zu Tragus und y-Achse (b) sowie der Verschiebung des Acromions auf der x-Achse. Quelle: Szeto et al. (2001), S. 77.

Es ergeben sich demnach vier Parameter zur Beschreibung der Haltung, drei davon unterschieden sich zwischen beiden Gruppen: Winkel a war in der Gruppe derjenigen mit Schulter-Nacken-Schmerzen im Mittel um 13%, Winkel b in derselben Gruppe im Mittel um 5% größer als in der Gruppe derjenigen ohne Schulter-Nacken-Schmerzen. Zwar stellt dies keinen signifikanten Unterschied dar, kann jedoch trotzdem als Trend beurteilt werden. Weiterhin beschreiben Szeto et al. eine leichte Verschiebung des Acromions auf der x-Achse in Richtung der vorderen Körperseite (ventral), eine eher abfallende Verschiebung des Acromions auf der y-Achse in Richtung Fußboden (caudal).

Zum besseren Verständnis der Positionsabweichungen zwischen beiden untersuchten Gruppen dient Abbildung drei. Hier ist in schwarz jeweils die Winkelstellung a und b innerhalb der Gruppe derjenigen Probanden ohne Nackenschmerzen, in grau die Winkelstellung a und b innerhalb der Gruppe derjenigen Probanden mit Nackenschmerzen dargestellt.

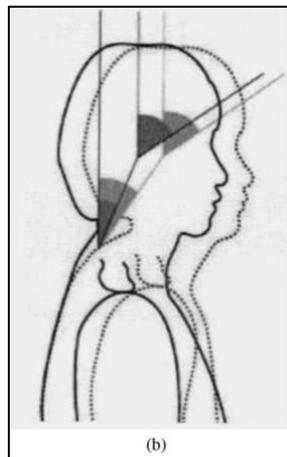


Abbildung 2: Darstellung der Abweichung der Winkelstellungen a und b (s. Abbildung zwei) in der Sitzposition von Probanden mit (grau) und ohne Nackenschmerzen (schwarz). Quelle: Szeto et al. (2001), S. 77.

Zusammengefasst lässt sich die mit Schulter-Nacken-Schmerzen zu verbindende Handlungsveränderung also durch folgende Punkte beschreiben:

Flexion der oberen und unteren Halswirbelsäule sowie Ventralisierung (Verschiebung Richtung der vorderen Körperseite) und Caudalisierung (Verschiebung Richtung Fußboden) des Acromions. Diese Handlungsabweichungen sind innerhalb eines manualisierten EMG-Biofeedbacktrainings aufzuarbeiten.

Caneiro et al. (2010) definierten als mögliche Basis für die oben beschriebene Handlungsabweichung drei Sitzpositionen und untersuchten deren Wirkung auf die Kopf- und Halswirbelsäulenhaltung sowie auf die Aktivitätsniveaus der thorako-zervikalen (die Brust- und Halswirbelsäule umgebende) Muskulatur. Die betrachteten Haltungsmuster waren das Sitzen mit rundem oberen Rücken, das Sitzen mit aufrechtem oberen Rücken sowie zuletzt das Sitzen mit rundem unteren Rücken. Durch die Untersuchung wird zu dem Schluss gekommen, dass das Sitzen mit gebeugtem oberen Rücken im Vergleich zum Sitzen mit aufrechtem oberen Rücken mit signifikant größerer Kopf- bzw. Halsflexion verbunden ist, wobei hierbei keine klare Definition des gemessenen Winkels, lediglich des genutzten Referenzpunktes, besteht. Der Referenzpunkt ist ebenso wie in der Untersuchung von Szeto et al. der siebte Halswirbel. Weiterhin ist die gebeugte Sitzhaltung mit einer signifikant größeren Translation des Kopfes nach ventral in Zusammenhang zu bringen. Zwar fand

durch Szeto et al. keine Betrachtung einer möglichen Translation des Kopfes statt. Dennoch kann hier festgehalten werden, dass die durch Caneiro et al. (2010) gefundene, sich auf Basis des runden oberen Rücken ergebende Kopf- und Halswirbelsäulenflexion derjenigen entspricht, die Szeto et al. (2001) als bei Schulter-Nacken-Schmerzen vorhandene Winkelstellungen darstellen.

Bevor nun eine genauere Betrachtung der in den beschriebenen Haltungen festzustellenden muskulären Aktivitäten stattfinden kann, muss zunächst beschrieben werden, welche Muskulatur unter Definition welcher Ableitpunkte des EMGs betrachtet wurde: Caneiro et al. (2010) benennen zur Betrachtung die Muskelgruppen der HWS-Extensoren (HWS-Strecker), die der BWS-Extensoren (BWS-Strecker) sowie die des M. trapezius pars descendens. Für die HWS-Extensoren wird der Ableitpunkt 2 cm seitlich (lateral) des Processus Spinosus des vierten Halswirbels, für die BWS-Extensoren der Ableitpunkt 5 cm lateral des Processus spinosus des vierten Brustwirbels angegeben. Die Ableitpunkte werden hier jeweils beidseitig angesetzt. Für den M. trapezius pars descendens wird der Ableitpunkt auf der Hälfte einer gedachten Linie zwischen Processus Spinosus des siebten Halswirbels und Acromion genannt, ebenfalls beidseits. Der letztgenannte Ableitpunkt entspricht damit dem für diese Studie definierten Ableitpunkt, sowohl für die Messung der Aktivität des M. trapezius pars descendens als auch für beide EMG-Biofeedbackverfahren.

Hinsichtlich der muskulären Aktivität zeigt der Vergleich zwischen der gebeugten (kyphosierten) und der aufrechten (extendierten) Sitzhaltung, dass die gebeugte Position mit signifikant größerer muskulärer Arbeit im Bereich der HWS-Extensoren sowie geringerer Aktivität im Bereich der Brustwirbelsäulen (BWS)-Extensoren verbunden ist. Auch die Aktivität des für diese Untersuchung relevanten M. trapezius pars descendens wurde betrachtet, hier finden sich zunächst keine Unterschiede zwischen den beiden Sitzpositionen.

Zusammengefasst ist nun folgende bei Schulter-Nacken-Schmerzen erwartete Haltungsveränderung und Veränderung der muskulären Aktivität zu beschreiben: Auf Basis einer in der Brustwirbelsäule kyphosierten Haltung entsteht eine verstärkte Flexion der oberen und unteren Halswirbelsäule, weiterhin eine Verschiebung des Acromions nach ventral. Diese Haltung geht mit einer gesteigerten Aktivität der HWS-Extensoren sowie einer verringerten Aktivität der BWS-Extensoren einher. Für das Aktivierungsniveau des M. trapezius pars descendens scheint diese Position zunächst irrelevant.

Die vermehrte Aktivität der HWS-Extensoren begründen Caneiro et al. (2010) mit einer Translationsbewegung des Kopfes nach ventral, bei Sitzen mit kyphosierter BWS. Nach Caneiro et al. (2010) bedeutet die Translationsbewegung des Kopfes nach ventral, dass die HWS-Extensoren das Gewicht des Kopfes halten müssen. Zur Begründung der verminderten Aktivität der BWS-Extensoren kann ein Blick auf die angeführte Begründung zur wiederum steigenden Aktivität derselben Muskelgruppe bei in der BWS aufgerichteter Position geworfen werden: Diese bedingt eine größere Muskelaktivität der BWS-Extensoren bei größerer BWS-Extension, was rückschließen lässt, dass eine verringerte BWS-Extension auch eine verringerte Aktivität der BWS-Extensoren bedingt (Caneiro et al., 2010).

Weiterführend soll die Tatsache genauer analysiert werden, dass innerhalb der Untersuchung von Caneiro et al. (2010) der M. Trapezius pars descendens bei einer mit Schulter-Nacken-Schmerzen in Verbindung zu bringenden Körperhaltung zunächst keine Veränderung in seiner Aktivierung zeigt, dessen Überaktivierung aber mit Schulter-Nacken-Schmerzen in Verbindung zu bringen scheint. Hierzu notwendig ist die Betrachtung der Scapulaposition und -beweglichkeit in Abhängigkeit zu den jeweiligen Körperhaltungen mit kyphosierter bzw. extendierter BWS: Die vermehrte Kyphose der BWS geht mit einer Verringerung der Bewegungsfähigkeit der Scapula nach hinten und unten einher (Finley & Lee, 2003). Obwohl die Annahme, dass eine anhaltend kyphosierte Körperhaltung mit einer Zunahme der Muskellänge des M. trapezius pars ascendens und damit mit einer Schwäche derselben einhergeht (Wang et al., 1999) in den letzten Jahren hinterfragt wurde, ist unstrittig, dass die in diesem Bereich liegenden Muskeln im Wesentlichen zur Stabilisation der Scapula nach hinten und unten beitragen. Gleichzeitig von Bedeutung ist, dass die Gegenbewegung hierzu, nämlich die Aufwärtsrotation der Scapula, hauptsächlich durch den M. trapezius (pars transversus und descendens) durchgeführt wird (Cools, et al., 2002). Auch innerhalb der Behandlung des durch Janda (1968) definierten oberen gekreuzten Syndroms stellt die Korrektur der Scapulaposition einen Grundpfeiler dar (Bayattork et al., 2020).

Die beschriebene Bewegungsstörung der Scapula findet ihren Ausgang nun also in einer kyphosierten BWS-Sitzhaltung, da diese bereits die Beweglichkeit nach hinten und unten einschränkt. Die muskulären Folgen hiervon kommen aber erst im Moment von Armbewegungen zum Tragen, da dann die fehlende Aktivierung des M. trapezius pars ascendens zu einer übermäßigen Aktivierung seines Gegenspielers, des M. trapezius pars descendens, führt: Eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Armbewegungen bei kyphosierter BWS-Sitzposition und der Bewegung der Scapula zeigte, dass bei kyphosierter BWS-Sitzposition die Scapula ein signifikant geringeres Bewegungsausmaß nach hinten unten zeigte als bei extendierter Sitzposition (Kebaetse et al., 1999), sodass von einer in diesem Moment entstehenden Überaktivierung des M. trapezius pars descendens als Gegenspieler der scapulastabilisierenden Muskulatur (M. trapezius pars ascendens) auszugehen ist.

Es wird hier also deutlich, dass verschiedene biomechanische Gegebenheiten in der Entstehung von Schulter-Nacken-Schmerzen bekannt sind. Diese bedingen sich teilweise gegenseitig und sind durch die vorhandene Literatur detailliert beschrieben. In den vorhandenen Beschreibungen der Inhalte von EMG-Biofeedbacktraining spielt eine mögliche Aufarbeitung dieser konkreten Veränderungen von Haltung und Bewegung bislang keine Rolle.

### 1.3.2 Pathomechanismus der Aktivitätssteigerung M. trapezius pars descendens aus psychophysiologischen Gründen

Neben biomechanischen Veränderungen zeigen Patienten mit Schulter-Nacken-Schmerzen außerdem eine statistisch signifikante Häufung von Depressionen oder Ängsten (Liu et al., 2018). Auch die Dauer der körperlichen Beschwerden scheint von Bedeutung zu sein. So ist beschrieben: „Je länger der Schmerz andauert, umso schwerer wird dieser und umso ängstlicher oder depressiver“ wird wiederum der Betroffene (Chen et

al., 2014). Die Chronizität der Beschwerden scheint also von Relevanz für die Frage, ob psychovegetative Faktoren eine Rolle spielen.

Die Frage der Wirkrichtung, sprich, ob Depressionen und Ängste zu Schulter-Nacken-Schmerzen oder andersherum Schulter-Nacken-Schmerzen zu Depressionen und Ängsten führen, kann nicht geklärt werden. Vielmehr scheint es so, dass das Vorhandensein eines der Faktoren Risiko für das Auftreten des jeweilig anderen ist (Zis et al., 2017). Eine Art verbindende Funktion zwischen beiden Faktoren könnten bestimmte Mechanismen in der Schmerzwahrnehmung und -verarbeitung sein, die im Sinne negativer Coping-Strategien wirken: Hier besteht Level-A-Evidenz für den Zusammenhang zwischen Schmerzen und Behinderung mit dem sog. Fear-Avoiding- sowie katastrophisierendem Verhalten. Grundsätzlich hat eine passive Verarbeitungsweise, aber auch die Selbstüberzeugung einer geringen Gesundheit negativen Einfluss auf die Entwicklung von Schulter-Nacken-Schmerzen (Linton, 2000).

Um den Zusammenhang zwischen Depressionen und Schulter-Nacken-Schmerzen genauer verstehen zu können muss bemerkt werden, dass seelische und körperliche Schmerzen im Gehirn nicht nur dieselben Bereiche aktivieren (Eisenberger et al., 2003) (Pfeifer et al., 2016), sondern Depressionen und Schmerzen auch biologische Wirkungspfade und Neurotransmitter teilen. Während grundsätzlich die Weiterleitung von Schmerzsignalen durch nozizeptive Fasern aus der Körperperipherie über das Hinterhorn des Rückenmarks zur Medulla oblongata, zum Mesencephalon, Hypothalamus, Thalamus, limbischen System, somatosensiblen Kortex und schließlich zur hinteren Parietallinde ausführlich erforscht ist, wächst die Bedeutung eines absteigenden, den Schmerz modulierenden Systems (Bair et al., 2003). Hierbei spielen verschiedene Neurotransmitter eine Rolle, welche als „on-Zellen“ die nozizeptive Wirkung des Hinterhorns fördern, als „off-Zellen“ dieselbe hemmen. Es ist davon auszugehen, dass dieser Mechanismus beispielsweise im Falle der Erwartung von Schmerzerleichterung aktiviert wird und so analgetische Wirkung haben kann. Gleichzeitig ist über die „on-Zellen“ die gegenteilige Wirkung möglich, sodass die wahrgenommene Schmerzintensität steigt. Hierdurch wird die Korrelation zwischen der Schmerzintensität bzw. Modulation des Schmerzes und der Stimmungslage sowie weiterer emotionaler Mechanismen wie Fokussierung auf den Schmerz und Erwartung von Schmerzen deutlich (Fields, 2000).

Weiterhin bedeutet eine angespannte psychische Situation eine Aktivierung des sympathischen Systems, welches Teil des vegetativen Nervensystems ist. Dies geht, im Sinne einer Fluchtvorbereitung, mit verbesserter Durchblutung und Erhöhung der Aktivität der Skelettmuskulatur einher (Haus, et al., 2016). Der Begriff der Skelettmuskulatur ist hier von dem der glatten Muskulatur abgegrenzt. Diese ist in unwillkürlich ablaufenden Organprozessen, wie beispielsweise der Verdauung, involviert und reagiert bei Aktivierung des sympathischen Systems grundlegend anders als die Skelettmuskulatur.

Hinsichtlich der Frage nach einer geeigneten Methode zur Reduktion von psychischen Anspannungszuständen und damit von muskulärer Spannung proklamieren Shapiro & Lehrer (1980), die sich mit den psychophysiologischen Effekten verschiedener Entspannungsverfahren beschäftigten, dass das autogene Training eine Methode ist durch die erlernt werden kann sich selbst zu regulieren um die Effekte von Stress zu mindern. Die Kombination des autogenen Trainings mit Biofeedbacktraining, welche auch „Autogenic Feedback Training“ genannt wird, führe „das Beste aus Beidem“ (Green et al., 1973) zusammen: Verschiedene Konzentrationsformen aus dem autogenen Training, auf die im

Späteren eingegangen werden soll, werden durch das Wissen um deren direkte Ergebnisse ergänzt. Dies entspricht der Idee, dass, die bis dahin unbewusste muskuläre Überaktivierung, im Sinne einer Stressreaktion, durch das EMG-Biofeedback bewusst und damit kontrollierbar wird (Green et al., 1973).

## 1.4 Zusammenfassung und Hypothesenbildung

Chronische und unspezifische Schulter-Nacken-Schmerzen sind ein relevantes Gesundheitsproblem. Sie sind definiert als länger als zwölf Wochen andauernde Schmerzen im Bereich vom Occiput bis zum Acromion. Ursache, im Sinne von letztendlicher Schmerzauslöser des Beschwerdebildes, kann eine übermäßige Aktivierung des M. trapezius pars descendens sein. Diese entsteht potenziell auf Basis biomechanischer Veränderungen, v.a. Haltungsveränderungen mit damit einhergehenden muskulären Überlastungen und Schwächen, aber auch auf Basis psychischer Gegebenheiten, v.a. Depressionen und damit einhergehender Veränderungen von Schmerzwahrnehmungs- und verarbeitungsstrategien.

Biofeedbackverfahren stellen sich als grundsätzlich valides Behandlungsverfahren dar. Hier scheinen jedoch Untersuchungen und Beschreibungen von standardisierten Verfahren innerhalb des Biofeedbacktrainings zu fehlen. Zwar wird deutlich, dass die muskuläre Arbeitsweise in verschiedenen Ausgangsstellungen in den Blick genommen, die Aktivität schmerzhafter Muskulatur gesenkt werden soll, jedoch ohne, dass dem Trainierenden konkrete Handlungsempfehlungen zu einer günstiger wirkenden Veränderung der Körperhaltung gegeben werden. Dies irritiert vor dem Hintergrund der durch die Literatur beschriebenen mit Schulter-Nacken-Schmerzen in Verbindung zu bringenden Fehlhaltung. Diese besteht zunächst aus einer kyphosierten BWS-Position mit reduzierter Aktivität des M. trapezius pars ascendens. Diese bedingt dann eine Scapuladyskinesie, einhergehend mit einer vermehrten schmerzhaften Aktivität des M. trapezius pars descendens.

Weiterhin sind Zusammenhänge zwischen Depressivität, Ängsten und negativen Coping-Strategien und Schulter-Nacken-Schmerzen bekannt. Als verbindendes Element wird eine vermehrte Aktivierung des vegetativen Nervensystems beschrieben. Obwohl auch hier Hinweise zu sinnvollen Interventionen bestehen, existieren dazu ebenfalls keine konkreten Handlungsempfehlungen für ein Biofeedbacktraining.

Inhalt dieser Untersuchung soll also sein, einen Ansatz des EMG-Biofeedbacktrainings zu entwickeln welcher sowohl biomechanische als auch psychophysiologische Ursachen von Schulter-Nacken-Schmerzen in den Fokus nimmt. Damit im Nachhinein eine Zuordnung von Methoden zu Wirkungen möglich ist, soll ein ausschließlich biomechanisch sowie ein ausschließlich psychophysiologisch orientiertes Verfahren gestaltet und parallel untersucht werden. Zunächst soll im Rahmen dieser Arbeit geprüft werden, ob einer der beiden Ansätze in einem der untersuchten Parameter günstiger wirkt. Beide Verfahren müssen daher in der grundlegenden Struktur möglichst vergleichbar sein. Außerdem soll der Aufbau der Sitzungen klar manualisiert sein, sodass wenig Raum für „Versuch und Irrtum“ bleibt.

Die sich ergebende Fragestellung lautet: Bestehen Unterschiede im Outcome durch das nach psychophysiologischen Gesichtspunkten aufgebaute EMG-Biofeedback und dem an biomechanischen Inhalten manualisierten EMG-Biofeedback hinsichtlich der primären

Zielgröße „schmerzabhängige Funktionalität“ und der sekundären Zielgröße „Ruhetonus“ des M. trapezius pars descendens? Für die Zielgröße „schmerzabhängige Funktionalität“ soll als Messinstrument der Fragebogen Neck-Disability-Index (NDI), für die Zielgröße „Ruhetonus“ die EMG-Messung des M. trapezius pars descendens verwendet werden, hier als diagnostisches Instrument außerhalb des eigentlichen EMG-Biofeedbacktrainings.

Folglich lautet die Nullhypothese: Es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der primären Zielgröße „schmerzabhängige Funktionalität“ (NDI Score) zwischen der Intervention des psychophysiologischen Biofeedbacks und des biomechanischen Biofeedbacks.

Die Alternativhypothese ist dann: Es besteht ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der primären Zielgröße „schmerzabhängige Funktionalität“ (NDI-Score) zwischen der Intervention des psychophysiologischen Biofeedbacks und des biomechanischen Biofeedbacks.

Als Nebenhypothese soll gelten: Es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der sekundären Zielgröße „Ruhetonus“ (EMG-Messung des M. trapezius pars descendens) zwischen der Intervention des psychophysiologischen Biofeedbacks und des biomechanischen Biofeedbacks.

Deskriptiv soll die Erhebung einer potenziellen Depressivität durch den Fragebogen Patient-Health-Questionnaire 9 (PHQ-9) vorgenommen werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Studienleitung

Die Leitung der Studie oblag Martha Bethge-Koch (Physiotherapeutin, M.A. Gesundheitsmanagement). Ort der Durchführung war die Privatpraxis für Physiotherapie (Wiesbaden) deren Inhaberin die Studienleitung selbst ist.

#### 2.1.2 Ermittelte Fallzahl

Die Berechnung der Fallzahl wurde auf Basis eines T-Tests mittels G-Power für unverbundene Stichproben durchgeführt.

Folgende Variablen wurden hierbei berücksichtigt:

$\alpha = 5\%$

Power = 80%

Zur Berechnung der Effektgröße (Jorritsma et al., 2012):

Mean Group 1: mittlere Differenz (post / prä NDI) Intervention 1

Mean Group 2: mittlere Differenz (post / prä NDI) Intervention 2

SD group 1: Standardabweichung der Differenz (post / prä NDI) Intervention 1

SD group 2: Standardabweichung der Differenz (post / prä NDI) Intervention 2

medizinisch relevante Differenz: 6

Es ergab sich eine notwendige Gruppengröße von  $n = 34$ .

#### 2.1.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Zu den Einschlusskriterien gehörten ein Ergebnis im NDI von mindestens 8% oder mehr als 8% (Jorritsma et al., 2012) sowie chronische und unspezifische Schulter-Nackenschmerzen entsprechend der eingangs beschriebenen Definition (lokalisiert im Bereich zwischen Occiput und Acromion, bestehend seit mindestens zwölf Wochen). Weitere Bedingung für die Teilnahme war ein Lebensalter von mindestens 18 Jahren sowie eine per Elektromyografie messbare muskuläre Aktivität des M. trapezius pars descendens, die auf oder über der Norm von  $2,2\mu\text{V}$  im Sitzen (Root Mean Square) lag (Cram et al., 2011).

Zu den Ausschlusskriterien gehörten demnach ein Ergebnis im NDI von unter 8%, ein Lebensalter von unter 18 Jahren sowie eine muskuläre Aktivität des M. trapezius pars descendens von weniger als  $2,2\mu\text{V}$  im Sitzen. Außerdem fand kein Einschluss in die Studie statt, wenn zum Zeitpunkt des Untersuchungsbeginnes oder während der Untersuchung eine Behandlung mit den die Muskelaktivität regulierenden Medikamenten, bspw. Muskelrelaxanzien, durchgeführt wurde. Auch das regelmäßige, isolierte Krafttraining des M. trapezius pars descendens führte zum Ausschluss aus der Studie, genau so wie das Vorhandensein von Symptomen, die als Red oder Yellow Flags gewertet werden konnten (Caneiro, et al., 2010).

#### 2.1.4 Abbruchregelungen

Die Teilnahme an der Studie wurde abgebrochen, wenn ein Proband Symptome zeigte die sich in die Klassifikationen der Red oder Yellow Flags einordnen ließen. Hierbei wurden rote Flaggen als „Warnsignale für ernsthafte (ärztlich behandlungsbedürftige) Pathologien“ definiert. Gelbe Flaggen meinten „das Vorhandensein psychosozialer Faktoren“ (Lüdtke et al., 2020). Cohen und Hooten (2017) klassifizieren Ursachen von Schulter-Nackenschmerzen, die auf Basis „neoplastischer, entzündlicher oder infektiöser“ Geschehen entstanden oder eines „vaskulären, endokrinologischen oder neurologischen Ursprungs“ sind, als Beschwerden, die dem Bereich der Red Flags zugeordnet werden müssen.

Irritierend kann in diesem Zusammenhang sein, dass traumatologische Ursachen nicht genannt werden. Hierzu muss gesagt sein, dass Traumata in der Chronologie noch eine Stufe weiter zurückliegen als dann beispielsweise neurologische Folgeerscheinungen des Traumas. Für die Untersuchungssituation relevant war das Symptom, nicht die Ursache des Symptoms.

Die folgende Tabelle dient zur Übersicht der möglichen Symptome und deren Spezifikationen, deren Einordnung in eine Red- oder Yellow-Flag-Klassifikation sowie die dazugehörige Darstellungsart in der Untersuchungssituation. Wichtig ist hierbei zu betonen, dass die Inhalte der Tabelle keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben. Auch die klare Abgrenzung der aufgeführten Symptome in Spezifikationen und Ursachenbereich kann aufgrund üblicherweise vorhandener Vermischungen nicht gelingen.

Tabelle 1: Abbruchkriterien nach Red und Yellow Flags

Klassifikation	Symptomfeststellung	Symptom	Symptomspezifikation	Ursachenbereich
Red Flag	befundlich	Sensibilitäts- und Kraftstörungen der oberen Extremität, Bewusstseins- und Vigilanzstörungen	Instabilitäten der oberen Halswirbelsäule, Knochendysplasien, knöcherne Verletzungen, Kopfverletzungen	neurologisch, traumatisch
	anamnestisch	Stürze, Nackentraumata, Kopfverletzungen, Osteoporose		
Red Flag	anamnestisch	Sensibilitäts- und Kraftstörungen der oberen Extremität, anhaltende Nackenschmerzen	Radikulopathien, Bandscheibenvorfälle, Nervenwurzelentzündungen	neurologisch, entzündlich
Red Flag	anamnestisch	Sensibilitäts- und Kraftstörungen der oberen Extremität, anhaltende Nackenschmerzen, Steifigkeitsgefühl	Bandscheibenvorfälle, Raumforderungen des Spinalkanals, Myelopathien	neurologisch, neuroplastisch, entzündlich, infektiös

	befundlich	gestörte Propriozeption, Spastizitäten, verminderte motorische Kontrolle der Hände		
Red Flag	anamnestisch	Fieber, Gewichtsverlust	allgemeine Hinweise auf bösartige Neubildungen	neoplastisch
Red Flag	anamnestisch	Immunsuppression, Drogenmissbrauch, Hinweise auf AIDS oder andere Infektionen	allgemeine Hinweise auf Infektionen oder Entzündungen	infektiös, entzündlich
Red Flag	anamnestisch	Schwindel und Blackouts, Fallneigung	allgemeine Hinweise auf Gefäßinsuffizienzen	vaskulär
Yellow Flag	befundlich	reduzierter Allgemeinzustand	Metabolisches Syndrom, Unter- bzw. Übergewicht	psychosoziale Faktoren
	befundlich	Niedergeschlagenheit, Wahnhaftigkeit	Depressionen, Psychosen	

Bei vorliegenden Symptomen aus dem Klassifikationsbereich der Red oder Yellow Flags wurde die Studienteilnahme abgebrochen und dem Probanden eine umgehende Vorstellung beim behandelnden Arzt empfohlen (Kress, 2010).

#### 2.1.5 Rekrutierung

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über ortsansässige Hausarzt- und Arztpraxen im Umkreis von ca. 15 Kilometern um den Studienort herum. Den betreffenden Ärzten wurden durch einen Flyer Informationen zu Ziel und Ablauf der Studie mitgeteilt. Die Flyer wurden wiederum in den Praxen ausgelegt, sodass interessierte Patienten Kontakt zur Studienleitung aufnehmen konnten.

#### 2.1.6 Aufnahmeverfahren, Gesamtpopulation und Gruppenzuteilung

Nach Interessensbekundung des Probanden wurde mit diesem ein Ersttermin vereinbart. An einem Ersttermin teilgenommen haben insgesamt 35 Interessenten. Hierbei handelte es sich um 33 weibliche sowie zwei männliche potenzielle Probanden. Einer der männlichen Probanden wurde aufgrund vorhandener Symptome aus dem Bereich der Red Flags ausgeschlossen. Hiernach bestand die Untersuchungsgruppe aus den benötigten  $n = 34$ . Innerhalb des Ersttermins fand zunächst eine Aufklärung zum Ablauf der Studie sowie zum Datenschutz statt. Diese Aufklärung erfolgte papiergebunden, durch Unterschrift erklärte der Proband seine Einwilligung. Anschließend wurde das Vorhandensein von Ausschlusskriterien abgefragt. Sofern dies positiv ausfiel erhielt der Proband den Fragebogen NDI und füllte diesen aus. Ergab sich hier ein Ergebnisscore von mindestens 8%, wurde der Proband in die Studie eingeschlossen. Es folgten die Messungen anhand des Fragebogens PHQ-9 sowie die EMG-Messung des M. trapezius pars descendens beidseits, sodass T1 vollständig abgeschlossen war und die Termine für T2 bis T5 vereinbart werden konnten. Dem Probanden wurde nach diesem Termin eine persönliche Identifikationsnummer (ID) zugeordnet. Ab diesem Zeitpunkt wurden seine Daten unter dieser ID, nicht mehr unter seinem Namen geführt. Vor T2 erfolgte die randomisierte Gruppenzuteilung des per ID pseudonymisierten Probanden. Jeder Proband wurde entweder Gruppe eins, welche das biomechanisch orientierte Biofeedbacktraining oder Gruppe zwei, welche das psychophysiologisch orientierte Biofeedbacktraining erhielt, zugeteilt.

Die Randomisierung erfolgte hierbei innerhalb einer Exceltabelle durch die Formel

Zufallsbereich(1;2)

Die genauen Inhalte und Wege zur Ermittlung der Ergebnisse der Messparameter NDI, PHQ-9 und EMG des M. trapezius pars descendens werden im Verlauf der Arbeit dargestellt.

### 2.1.7 Ethikvotum

Das Ethikvotum wurde am 25.03.2019 unter der Ethikkommissionsvorlagennummer 2018-05 durch die Ethikkommission an der Physio-Akademie des Deutschen Verbands für Physiotherapie erteilt.

## 2.2 Messinstrumente, Zielgrößen

### 2.2.1 Neck-Disability-Index

Der NDI, Messinstrument zur Feststellung von alltäglichen Beschwerden und Einschränkungen durch Schulter-Nacken-Schmerzen, wurde erstmals 1991 veröffentlicht und hat sich seitdem zum Goldstandard in diesem Bereich entwickelt (Vernon H., 2008). Basierend auf dem Oswestry Low back Pain Questionnaire (Wlodyka-Demaille, et al., 2002) besteht der Fragebogen heute aus zehn Items. In jedem Item wird eine Behauptung aufgestellt, die durch den Probanden selbst weniger (0 Punkte) oder mehr (bis zu 5 Punkte) bestätigt wird. Die Items betreffen die Bereiche „Schmerzintensität“, „persönliche Körperpflege“, „Heben“, „Lesen“, „Kopfschmerzen“, „Konzentration“, „Arbeit“, „Auto fahren“, „Schlafen“ und „Freizeitaktivität bzw. Erholung“. Die maximal erreichbare Punktzahl liegt bei einem Summenscore von 50, wobei dieser durch die Formel  $(\text{Summenscore} \div 50) \cdot 100\%$  in einen Prozentwert umgerechnet wird. Der maximal erreichbare Wert liegt demnach bei 100%.

Der NDI wurde in mehrere Sprachen übersetzt. Die deutsche Version wurde hinsichtlich ihrer psychometrischen Daten im Jahr 2014 an 558 Patienten mit chronischen Nackenschmerzen getestet. Dort wurden gute Ergebnisse erzielt, sodass Cramer et al. zu dem Schluss kamen, dass die deutsche Version des NDI ein sinnvolles Messinstrument für die Höhe der Einschränkungen bei Patienten mit Schulter-Nacken-Schmerzen darstellt (Cramer et al., 2014). Die durch Cramer et al. (2014) validierte deutsche Version ist die in dieser Arbeit verwendete. Deren Nutzungsbedingungen entsprechen den hier einzusehenden: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Es handelt sich hierbei also nicht um ein Instrument welches ausschließlich die Schmerzintensität prüft, auch wenn dies eine Fragenkategorie darstellt. Vielmehr stellt der NDI den Grad der alltäglichen funktionellen Einschränkungen durch die Schulter-Nacken-Schmerzen dar. Innerhalb dieser Arbeit soll der durch ihn insgesamt gemessene Parameter daher mit „schmerzabhängige Funktionalität“ bezeichnet werden.

Der Ergebnisscore des NDI wird ab einem Wert von 8% relevant (Jorritsma et al., 2012). Weiterhin eignet sich der NDI besonders gut zur Beschreibung eines Verlaufs. Dies wird durch das Vorliegen validierter Daten zum Minimal Detectable Change (MDC) sowie zum Minimal Clinical Important Change (MCIC) begründet.

Die Höhe des MDC, also die minimal messbare Veränderung, liegt laut Vernon et al. bei 5 Punkten bzw. 10% (Vernon & Mior, 1991). Der MCIC, also der Wert für die kleinste klinisch relevante Veränderung, variiert in unterschiedlichen Quellen und bewegt sich zwischen 3 und 9,5 Punkten bzw. 7% und 19% (Schellingerhout et al., 2012). Verschiedene Untersuchungen beschäftigten sich mit dem innerhalb dieser Spanne korrekten MCIC.

Dabei wurde deutlich, dass für Patienten mit akuten, eher strukturell bedingten Beschwerden höhere, für Patienten mit chronischen, eher unspezifischen oder funktionell bedingten Beschwerden niedrigere Werte für den MCIC in Frage kommen. Da die innerhalb dieser Studie untersuchten Probanden eher der zweiten Gruppe zuzuordnen waren, wurde sich hier für einen MCIC von 3,5 Punkten, also 7%, entschieden (Pool et al., 2010). Folgend sollen Ergebnisse und Veränderungen im NDI ausschließlich in Prozentwerten angegeben werden.

### 2.2.2 Oberflächen-Elektromyografie, Messung der Aktivität des M. trapezius pars descendens

Bei der zur Darstellung der Aktivität des M. trapezius pars descendens verwendeten Technik handelt es sich hardwareseitig um ein vierkanaliges Sensormodul, softwareseitig um die Version Dicam 3.13.1.0. der Firma Diers International GmbH. Die Messfrequenz betrug 200 bis 2000 Hertz (HZ), die Übertragung erfolgte via Bluetooth.

Um möglichst reliable Ergebnisse zu erzielen fand eine Standardisierung des Messablaufs statt: Hierzu wurden zur Definition der Parameter des Interelektroden-Abstandes sowie der Elektrodenpositionierung die Empfehlungen des SENIAM-Protokolls (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles, europäischer Zusammenschluss aus biomedizinischen Gesundheits- und Forschungsprogrammen der europäischen Union) berücksichtigt. Diese lauten: Um bei Messungen kleinerer Muskeln fehlerhafte Aufnahmen durch zu große Nähe zu Sehnenstrukturen oder Motorendplatten zu vermeiden, sollen die Elektroden durch ihre Platzierung ein Viertel der Muskellänge nicht überschreiten. Es wird ein Interelektroden-Abstand von 20 mm empfohlen (Hermens, 2021) (Farina et al., 2002). Um diesen in jeder Messung gewährleisten zu können wurden Doppelelektroden (HEX Dual Electrodes, Noraxon) verwendet, welche genau diese Distanz vorgaben. Die Platzierung der Elektroden wird als optimal definiert, wenn sie auf der gemessenen Mitte zwischen der äußeren Knochenkante des Acromions bis zum Dornfortsatz des siebten Halswirbels stattfindet (Farina et al., 2002). Eine Referenzelektrode wurde auf dem nächsten Knochenpunkt, dem Acromion, platziert. Vor Platzierung der Sensoren wurde die Haut durch Abreiben mit Ethylalkohol von Fett und Schweiß befreit (Veiersted et al., 1993). Durch die Hautvorbereitung konnte vermieden werden, dass die Ableitbedingungen verändert werden. Dies wäre beispielsweise der Fall gewesen, wenn die Haut des Probanden durch Schwitzen sehr feucht gewesen wäre.

In einem zweiten Schritt muss die Ausgangsstellung des Patienten, in welcher die Messung durchgeführt wurde, betrachtet werden. Cram et al. (2011) empfehlen, dass der Proband ohne Rückenlehne auf einem Stuhl sitzt, welcher eine Knieflexion von 90° erlaubt. Weiterhin soll eine möglichst neutrale Anweisung für den Messzeitraum den Patienten in seiner Haltung möglichst wenig beeinflussen. Hier wird „Sitzen Sie komfortabel!“ als handhabbares Beispiel angeführt (Cram et al., 2011). Die Position wurde über einen Zeitraum von zehn Sekunden gehalten, in diesem fand auch die Messung der muskulären Aktivität statt. Hierbei wurde sich an Lee et al. orientiert, die diesen Zeitraum für statische Messungen angelegt haben (Lee et al., 2016).

Die muskuläre Aktivität wurde anschließend durch ein im späteren Verlauf dieser Arbeit beschriebenes Verfahren in einen Mittelwert pro Seite umgerechnet. Der Wert wird in der Einheit Mikrovolt angegeben.

Der Normwert für die muskuläre Aktivität des M. trapezius pars descendens liegt laut Cram et al. (2011) bei 2,2µV. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen sein, dass die Definition eines Normwertes der muskulären Aktivität gemessen per EMG kritisch gesehen werden muss. Dies wird im Verlauf der Arbeit aufgegriffen.

### 2.2.3 Patient-Health-Questionnaire 9

Da Schulter-Nacken-Schmerzen offenbar regelmäßig nicht nur mit physischen Einschränkungen, sondern auch mit Veränderungen in allen Dimensionen des mentalen Lebens (Cramer et al., 2014) verbunden sind und zumindest ein Teil der untersuchten Maßnahmen im Wesentlichen auf psychische Vorgänge abzielte, soll im Rahmen der hier thematisierten Studie auch die Betrachtung des mentalen Gesundheitszustand der Probanden Raum finden. Hierzu wurde sich für den Fragebogen PHQ-9 entschieden, welcher das Depressionsmodul des umfassenderen Patient-Health-Questionnaire (PHQ) darstellt. Beim PHQ-D handelt es sich um die autorisierte deutsche Version des Prime-MD Patient Health Questionnaire (Spitzer et al., 1999).

Verschiedene Studien beschäftigen sich mit den wissenschaftlichen Gütekriterien des PHQ-9 und kommen zu dem Schluss, dass es sich bei diesem Messinstrument um ein, zur Messung des Schweregrades von Depressionen geeignetes, d.h. valides und reliables Instrument handelt. Durch seine außerdem kurze Anwendungs- und Auswertungszeit wurde der PHQ-9 zu einem sinnvollen und zielgerichteten Messinstrument im klinischen und wissenschaftlichen Bereich (Kroenke et al., 2001).

Der PHQ-9 stellt, systematisch ähnlich dem NDI, neun Behauptungen auf, die durch den Patienten weniger (null Punkte) oder mehr (drei Punkte) bestätigt werden. Die Auswertung des Fragebogens erfolgte über die Berechnung des Skalensummenwerts welcher zwischen null und 27 Punkten variieren kann. Hierbei ist definiert, dass ein Punktwert von unter fünf, „praktisch immer dem Fehlen einer depressiven Störung“ entspricht. „Ein Punktwert zwischen fünf und zehn wird zumeist bei Patienten mit leichten oder unterschwellig depressiven Störungen gefunden und entspricht einem milden Schweregrad. Bei Patienten mit Major Depression ist ein Punktwert von zehn und höher zu erwarten, wobei von einem mittleren (10-14), ausgeprägten (15-19) und schwersten (20-27) Ausmaß der Störung auszugehen ist“ (Löwe et al., 2002).

Da der PHQ-9, anders als der zugrunde liegende Prime-MD, pro Item mehr Antwortkategorien zur Auswahl stellt als „ja“ oder „nein“, eignet er sich nicht nur zur Stellung einer ersten Diagnose, sondern auch zur Verlaufsbeurteilung (Spitzer et al., 1999).

Die im Rahmen dieser Arbeit verwendete Version des PHQ-9 ist die deutsche Übersetzung (Löwe et al., 2002) der englischen Originalversion (Kroenke et.al., 2001). Sie steht unter der Lizenz Creative Commons BY-NC 3.0, es wurden keine Änderungen am Fragebogen vorgenommen.

## 2.3 Prüftherapien

Für beide Prüftherapien wurde die gleiche grundlegende Struktur beschlossen: Es wurde eine Anzahl von insgesamt drei Sitzungen von jeweils ca. 60 Minuten angesetzt. Die Anzahl

orientierte sich an einem Review zur Wirkung von Biofeedbacktraining bei Migräne und Kopfschmerzen vom Spannungstyp, welches feststellte, dass die Anzahl der Biofeedbacksitzungen sich zwischen drei und 24, bzw. vier und 20 Sitzungen bewegt (Nestoriuc et al., 2008) (Martin & Rief, 2009). Aus Gründen der Machbarkeit wurde hier die geringstmögliche Anzahl gewählt.

Weiterhin wurde für beide EMG-Biofeedbackverfahren der gleiche Inhalt der jeweiligen Sitzungen definiert, wobei dies nur für die oberflächliche Struktur gilt und der besseren Vergleichbarkeit diene. Die exakte inhaltliche Ausgestaltung wich dann entsprechend der beschriebenen Orientierung des Trainings voneinander ab.

Folgend eine kurze Beschreibung der Ziele jeder Trainingseinheit, dies wird im Verlauf dieser Arbeit konkretisiert:

Sitzung eins diene der Vermittlung des Krankheitsverständnisses. Im biomechanisch orientierten EMG-Biofeedbacktraining sollten Vorgänge der Haltungs- und Bewegungsänderung herangezogen werden, um eine veränderte muskuläre Aktivität des M. trapezius pars descendens zu begründen.

Im psychophysiologisch orientierten EMG-Biofeedbacktraining bedeutet dies, dass ein Krankheitsverständnis vermittelt wurde, welches den Zusammenhang zwischen psychischem Erleben und körperlich empfundenen Schmerzen in den Fokus stellt. Hiernach wurden die Probanden beider Gruppen aufgefordert das Feedbacksignal zu nutzen um selbst zu probieren, wie der M. trapezius pars descendens in eine größere Entspannung gebracht werden kann. Basierend auf dem zuvor vermittelten Krankheitsverständnis wurde erwartet, dass eine Gruppe dies durch Veränderungen der Haltung, die andere vor allem durch Veränderungen des inneren Zustands, des Stresslevels versuchen wird. In einem letzten Schritt innerhalb der ersten Sitzung wurde den Probanden eine Anleitung zur Veränderung der muskulären Aktivität gegeben. Dies war dann entweder eine schrittweise Veränderung der Haltung oder aber ein Entspannungsverfahren in Form des autogenen Trainings.

Die zweite und dritte Sitzung wurde jeweils zum Training sowie zur Konsolidierung des im ersten Termin Erlernen genutzt. Dies bedeutet eine Generalisierung des Gelernten sowie ein Transfer dessen in den Alltag (Rief & Birbaumer, 2011) (Martin & Rief, 2009). Hierzu erfolgte zunächst ein sukzessives Abbauen der Kontrolle des Übungserfolgs durch das EMG-Biofeedbacksignal. Die hier beschriebene Struktur des Aufbaus der Sitzungen folgt den Empfehlungen von Rief & Birbaumer (2011) aber auch den diesen entsprechenden von Martin & Rief (2009). Auch andere Autoren bemerken in der kritischen Auseinandersetzung mit Biofeedbackverfahren, dass dem Abbau des regelmäßigen Feedbacksignals besondere Aufmerksamkeit zukommen soll. So beschreiben Buchanan & Wang (2012), dass das Überwinden des „Anleitungs-Effekts“ (engl. Guidance Effect) gerade dann notwendig ist, wenn es sich bei der durch das Biofeedback unterstützten Fähigkeit um eine motorische Fähigkeit handelt. Dies sei notwendig um dem Patienten die Möglichkeit zu geben das Erlernte auch mit einer körperlichen intrinsischen Rückmeldung zu verbinden (Winstein & Schmidt 1990).

Zuletzt wurde der Proband gebeten, das Erlernte auch in belastenden, den Nackenschmerz erfahrungsgemäß eher triggernden Situationen durchzuführen. Diese Empfehlung orientiert sich an Nestoriuc et al. (2008), die für die Biofeedbackbehandlung von

Kopfschmerzpatienten eine um 20% erhöhte Wirkung und außerdem länger anhaltende Wirkung des Biofeedbacktrainings festgestellt haben, wenn Heimübungen integriert wurden.

Ein sog. „Scanning“ der Muskulatur hinsichtlich der Frage, welche Muskulatur per EMG-Biofeedback darzustellen ist, erfolgte nicht. Die Empfehlung durch dieses Vorgehen zu lokalisieren, welche Muskulatur betroffen ist, stellt sich vor dem Hintergrund der beschriebenen möglichen biomechanischen Ursachen von Schulter-Nacken-Schmerzen als problematisch dar: Während durch ein Scanning zwar der als letztendlicher Schmerzauslöser identifizierte M. trapezius pars descendens auffällt, muss der jedoch eben auf Basis der Haltungsveränderung vermindert aktivierte, weil überlastete und dann abgeschwächte M. trapezius pars ascendens unbeachtet bleiben. Entsprechend findet durch ein Scanning keine Integration dessen in die therapeutische Intervention statt, sodass diese immer im Bereich der symptomatischen Behandlung bleibt und wenig ursächlich wirken kann, zumindest hinsichtlich einer biomechanischen Betrachtung.

Stattdessen fand für beide EMG-Biofeedbackverfahren eine elektromyografische Ableitung und Darstellung des M. trapezius pars descendens beidseits statt. Für das psychophysiologisch orientierte EMG-Biofeedback blieb es bei diesen zwei verwendeten Ableitpunkten.

Im biomechanisch orientierten EMG-Biofeedback wurden zusätzlich die Ableitpunkte M. trapezius pars ascendens beidseits verwendet, sodass dem Probanden, neben der Aktivität des M. trapezius pars descendens, auch die Aktivität des M. trapezius pars ascendens dargestellt werden konnte. Es handelte sich also um die Darstellung von Agonist und Antagonist. Begründend hierfür ist die bereits beschriebene, mit Schulter-Nacken-Schmerzen in Verbindung zu bringende muskuläre Dysbalance. Diese basiert auf einer verminderten Aktivität des M. trapezius pars ascendens, was dann eine vermehrte Aktivität des M. trapezius pars descendens zur Folge hat. Entsprechend schien es sinnvoll, beide Muskeln in das EMG-Biofeedbacktraining zu integrieren.

In beiden Biofeedbackverfahren erfolgte die Darstellung der jeweiligen muskulären Aktivitäten durch Balkendiagramme, es handelte sich demnach um ein visuelles Feedback.

Gruppe eins erhielt das biomechanisch orientierte Biofeedbacktraining, Gruppe zwei das auf psychophysiologischen Gesichtspunkten basierende EMG-Biofeedbacktraining.

Vor Platzierung der zur Ableitung des EMG-Signals notwendigen Elektroden wurde die Haut der Probanden beider Gruppen durch Abreiben mit Ethylalkohol von Fett und Schweiß befreit (Veiersted, Westgaard, & Andersen, 1993). Durch die Hautvorbereitung konnte vermieden werden, dass die Ableitbedingungen verändert werden.

Im Folgenden sollen die Inhalte der jeweiligen Prüftherapien detailliert beschrieben werden.

### 2.3.1 Biomechanisch orientiertes EMG-Biofeedback

Nachdem, wie beschrieben, eine Hautvorbereitung und Platzierung der Elektroden stattfand, begann das biomechanisch orientierte EMG-Biofeedbacktraining mit der Vermittlung eines biomechanischen Krankheitsverständnisses. Es wurde erläutert, dass

eine bestimmte Haltung zur Veränderung von muskulären Aktivitäten und damit potenziell zu Schmerzen führt. Konkret bedeutet dies, dass dem Probanden erläutert wurde, dass eine in der BWS gekrümmte (kyphosierte) Sitzposition mit einem Vorschub des Kopfes und der Schultern verbunden ist. Weiterhin, dass der Vorschub des Kopfes zunächst die Nackenmuskulatur, der Vorschub der Schultern dann bei Armbewegungen auf Basis dieser Haltung auch die obere Schultermuskulatur schmerzhaft überlastet. Diese Haltung sowie das damit verbundene, per EMG sichtbar gemachte Balkendiagramm werden in Abbildung drei und vier gezeigt. Abbildung vier stellt durch die beiden oberen Balken die übermäßige Aktivität des M. trapezius pars descendens, durch die beiden unteren Balken die geringe Aktivität des M. Trapezius pars ascendens dar (mögliche Asymmetrien in der Aktivierung der Muskulatur basieren auf Individualitäten des dargestellten Probanden und sind an dieser Stelle irrelevant).



Abbildung 3: Ausgangsposition Proband biomechanisch orientiertes Biofeedback, Ansicht von seitlich und hinten

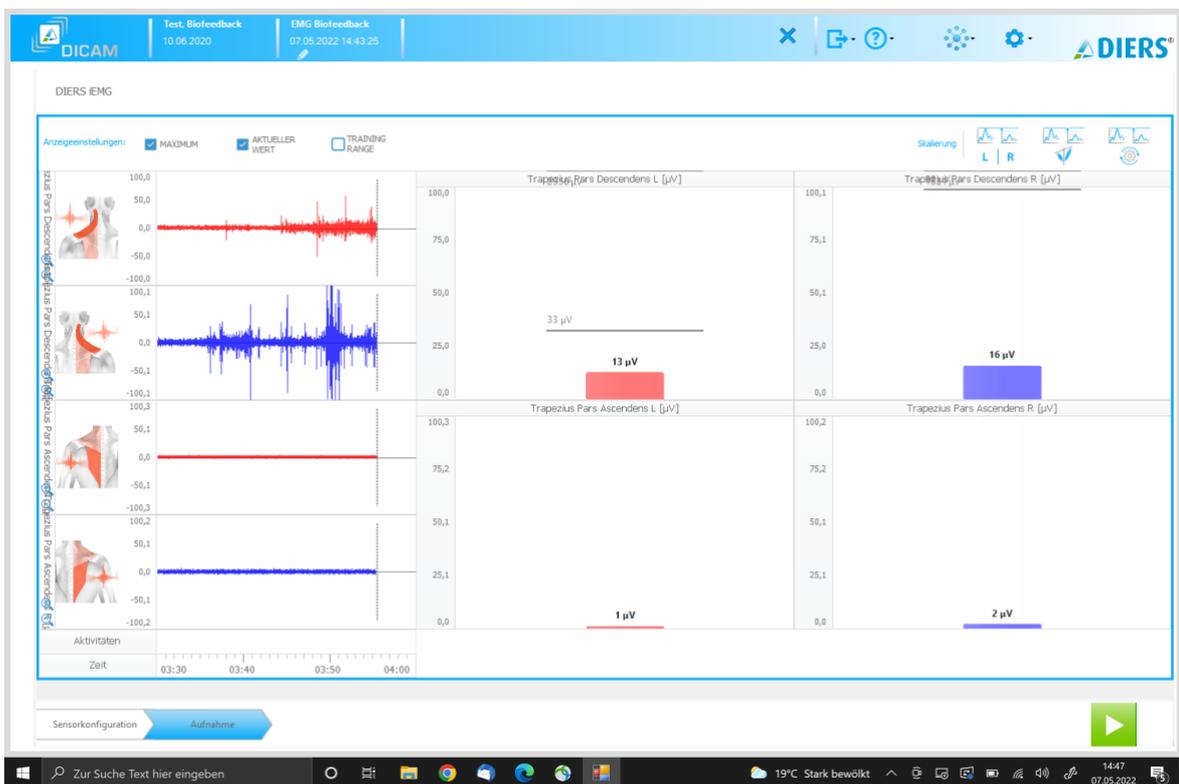


Abbildung 4: Ausgangssituation EMG-Bildschirm biomechanisch orientiertes Biofeedback. Mit freundlicher Genehmigung der DIERS International GmbH.

Der Proband wurde aufgefordert durch eine Veränderung seiner Haltung selbst die Auswirkung auf die muskuläre Aktivität, die durch ein Balkendiagramm dargestellt wird, zu beobachten. Hierdurch sollte ein erstes Verständnis zur Beeinflussbarkeit des körperlichen Status gewonnen werden.

Aus der beschriebenen Haltungsveränderung ergaben sich dann die folgenden, konkreten Ziele:

1. Extension (Aufrichtung) der Brustwirbelsäule im Sinne einer Verringerung der Kyphose durch Herbeiführen einer vermehrten Aktivität der BWS-Extensoren im Sitzen ohne Armbewegung.
2. Stabilisation der Scapulae nach hinten und unten (posterior und caudal) durch Herbeiführen einer vermehrten Aktivität der Scapulastabilisatoren (v.a. M. trapezius pars ascendens) und verringerten Aktivität des M. trapezius pars descendens während Armbewegungen.

Dem Probanden wurde also erklärt, dass Ziel ist, diese Haltung hin zu einer aufrechten (der Begriff der BWS-Aufrichtung wird nun äquivalent zum Begriff der BWS-Extension verwendet) aufzulösen, auf Basis derer die Scapulastabilisatoren bei Armbewegung einer übermäßigen Aktivierung des M. trapezius pars descendens entgegen wirken.

Im ersten Schritt war hierzu notwendig die geringe Aktivität der BWS-Extensoren in eine höhere Aktivität zu verändern, dabei die BWS selbst in eine geringere Kyphosierung zu bringen. Das Aktivitätsniveau der BWS-Extensoren war hierbei durch die Balkendiagramme sichtbar. Die Anweisung für den Probanden lautete: „Verändern Sie Ihre Haltung so, dass die beiden unteren Balkendiagramme ansteigen.“ Die entsprechende Zielposition in der Haltung ist in Abbildung fünf gezeigt.

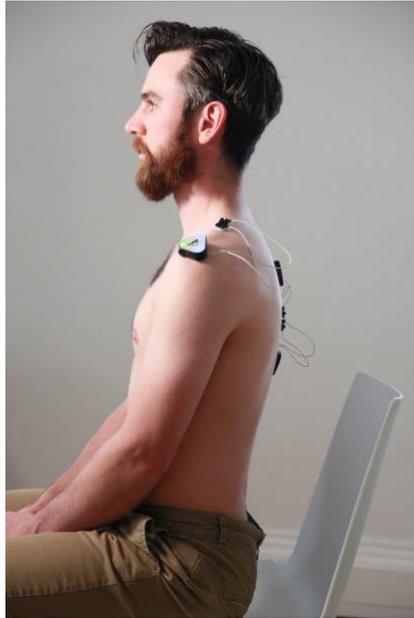


Abbildung 5: Zielposition Proband biomechanisch orientiertes Biofeedback, Ansicht von seitlich

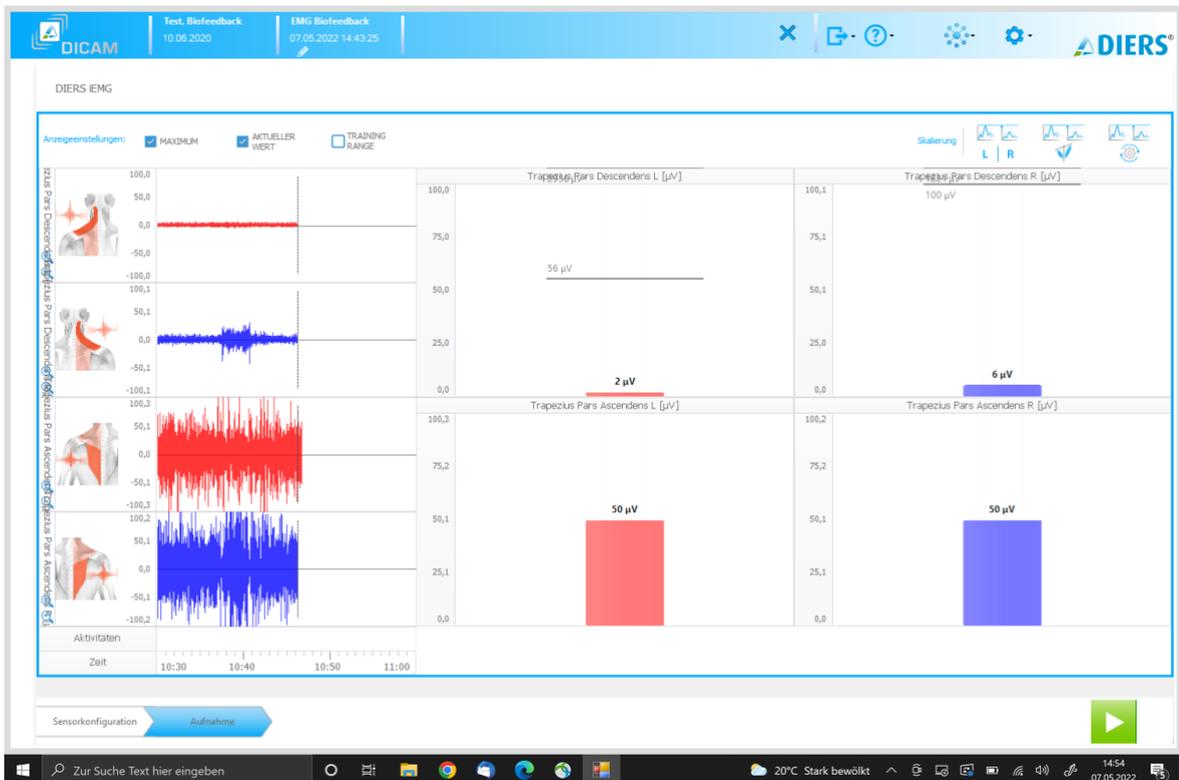


Abbildung 6: Zielsituation EMG-Bildschirm biomechanisch orientiertes Biofeedback  
Mit freundlicher Genehmigung der DIERS International GmbH.

Die Zielsituation der per EMG sichtbar gemachten Balkendiagramme wird in Abbildung sechs dargestellt. Die Zuordnung von Balkendiagrammen zu Muskeln entspricht der für die Abbildung vier beschriebenen. Dies gilt auch für die noch in diesem Kapitel folgenden Abbildungen sieben und acht.

In einem zweiten Schritt wurde dem Probanden die übermäßige Aktivierung des M. trapezius pars descendens bei BWS-Kyphosierung im Sitzen gezeigt. Die Anweisung lautete: „Heben Sie bei gekrümmter (der Begriff der BWS-Krümmung wird nun äquivalent zum Begriff der BWS-Kyphose verwendet) Sitzposition den Arm an und beobachten Sie

dabei den Anstieg der beiden oberen Balkendiagramme.“ Der Proband sah, dass das Aktivitätsniveau des M. trapezius pars descendens ansteigt. Zum besseren Verständnis dienen die Abbildungen sieben und acht. Eine asymmetrische Aktivierung der Muskulatur, wie in Abbildung acht dargestellt, ist nun durch die asymmetrische Bewegung zu begründen. Dies gilt auch für die in Abbildung zehn dargestellte muskuläre Aktivierung.

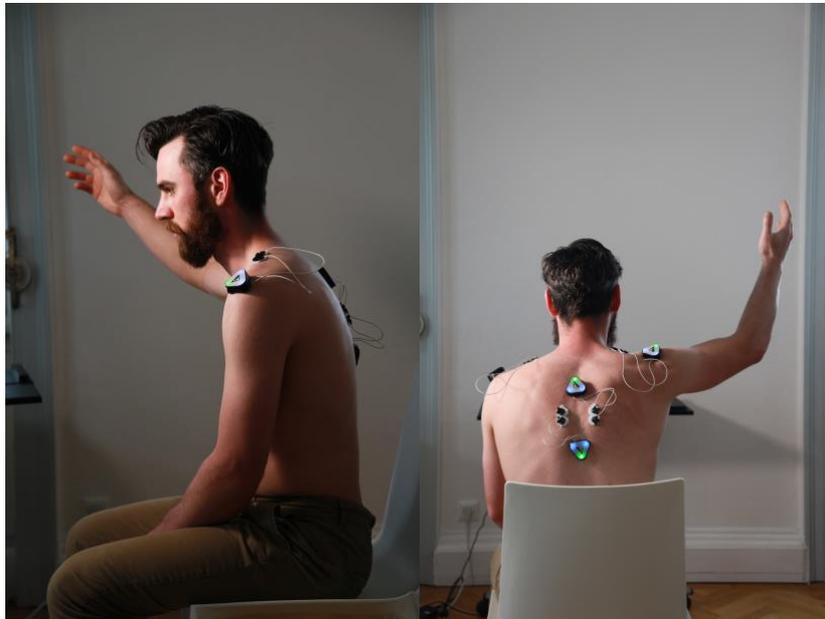


Abbildung 7: Ausgangsposition Proband biomechanisch orientiertes Biofeedback mit angehobenem Arm, Ansicht von seitlich und hinten



Abbildung 8: Ausgangssituation EMG-Bildschirm biomechanisch orientiertes Biofeedback mit angehobenem Arm

Mit freundlicher Genehmigung der DIERS International GmbH.

Danach lautete die Anweisung: „Verändern Sie Ihre Haltung so, dass die beiden unteren Balkendiagramme ansteigen, heben Sie dann erneut den Arm an und beobachten Sie dabei den Anstieg der beiden oberen Balkendiagramme.“ Der Proband sah, dass das Aktivitätsniveau der beiden oberen Balkendiagramme geringer bleibt als bei Armbewegungen auf Basis einer thorakal gekrümmten Sitzposition. Zum besseren Verständnis dienen hier Abbildung neun und zehn.

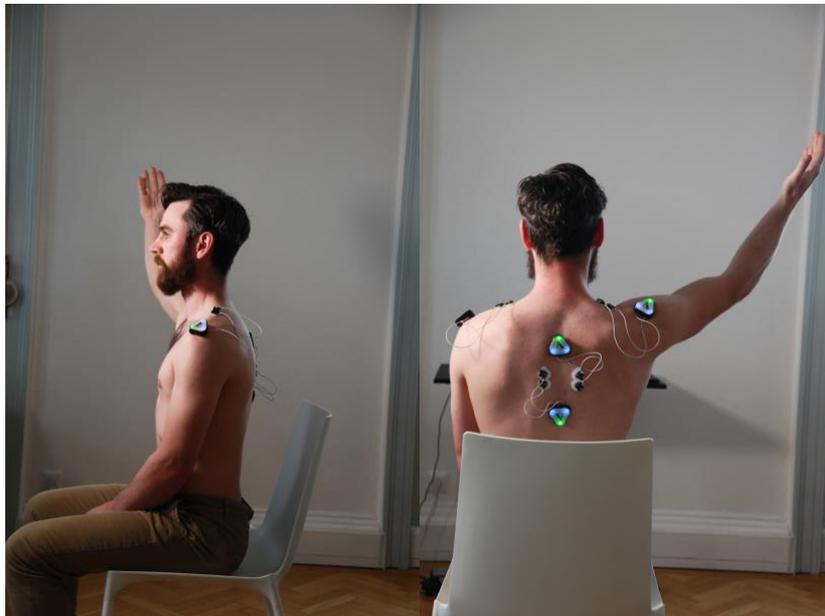


Abbildung 9: Zielposition Proband biomechanisch orientiertes Biofeedback mit angehobenem Arm, Ansicht von seitlich und hinten



Abbildung 10: Zielsituation EMG-Bildschirm biomechanisch orientiertes Biofeedback mit angehobenem Arm  
Mit freundlicher Genehmigung der DIERS International GmbH.

Zusammengefasst wurde in der ersten Sitzung also eine aufgerichtete Sitzhaltung sowie auf dieser Basis eine Armbewegung bei nach hinten und unten geführtem Schulterblatt geübt.

Sitzung zwei und drei dienten der Generalisierung des Therapieerfolgs sowie der Übertragung des Gelernten in den Alltag. Hierzu wurde zunächst die in Sitzung eins eingeübte Haltungs- und Bewegungsveränderung immer wieder auch ohne zeitgleiche Hilfe durch das EMG-Biofeedback eingenommen, d.h. der Patient wurde gebeten die korrigierte Haltung einzunehmen, auch den Arm unter dieser zu bewegen, erst dann wurde ihm die Darstellung der muskulären Aktivitäten durch das Balkendiagramm zur Gegenkontrolle des Erfolgs zur Verfügung gestellt.

Zuletzt wurden mit dem Probanden in seinem Alltag stattfindende Situationen gefunden, in denen die Wahrscheinlichkeit hoch ist, über einen längeren Zeitraum gekrümmt zu sitzen, eventuell sogar auf Basis dieser Sitzhaltung die Arme zu bewegen. Beispiele hierfür sind das Arbeiten am Computer oder Haus- und Handarbeiten die im Sitzen stattfinden wie Bügeln und Nähen, aber auch das Lesen, das Füttern von Kleinkindern etc. Der Proband wurde gebeten, das Erlernte im Alltag in eben jenen Situationen umzusetzen.

### 2.3.2 Psychophysiologisch orientiertes EMG-Biofeedback

Ebenso wie das biomechanisch orientierte EMG-Biofeedback begann das an psychophysiologischen Ursachen ausgerichtete EMG-Biofeedback mit der Vermittlung des in diesem Falle psychosomatischen bzw. psychophysiologischen Krankheitsverständnisses (Rief & Birbaumer, 2011): Es wurde erläutert, dass eine erhöhte Sympathikusaktivität die Muskelspannung erhöht, weiterhin, dass das sympathische Nervensystem Teil des vegetativen Nervensystems ist und im Wesentlichen vom psychischen Erleben, beispielsweise von Stress, gesteuert ist. So dient der Sympathikus der Bereitstellung von Energie und Arbeitsleistung, versetzt den Körper in einen Zustand in welchem er fähig zu Kampf und Flucht ist. Hierzu gehört auch die vermehrte Durchblutung und Aktivierung der Skelettmuskulatur. Weiterhin wurde erklärt, dass Anspannungszustände mit einer vermehrten Sympathikusaktivität korrelieren sowie, dass als Gegenspieler der Parasympathikus bei Entspannung auch wieder zur Gegenregulation eben jener körperlicher Reaktionen führt (Haus et al., 2016).

Für die innerhalb dieser Arbeit vorgestellte Studie wurde sich für das autogene Training als Entspannungsmethode innerhalb des konventionellen EMG-Biofeedbacktrainings entschieden. Begleitet wurde das autogene Training durch EMG-Biofeedback des M. trapezius pars descendens. Auf die Darstellung der Aktivität weiterer Muskeln wurde an dieser Stelle verzichtet. Basis für diese Entscheidung ist die Annahme, dass die erhöhte muskuläre Aktivität des M. trapezius pars descendens nicht im Zusammenspiel mit anderen, dysfunktional arbeitenden Muskeln, sondern im Rahmen eines psychovegetativen Erregungszustands entsteht.

Die Zielformulierungen für die drei aufeinander folgenden Sitzungen sollen folgend in ihrer detaillierten Ausgestaltung genauer beschrieben werden:

Nachdem in der ersten Sitzung ein grundsätzliches Krankheitsverständnis geschaffen wurde, wurden den Probanden dieses EMG-Biofeedbacktrainings die verschiedenen Schritte zur vegetativen Selbstregulation durch autogenes Training vermittelt. Hierzu wurden zunächst externe, potenziell ablenkende Umgebungsreize reduziert: Die Lichtsituation des Raumes wurde angepasst, der Proband wurde gebeten störende, eventuell beengende Kleidung abzulegen, in sitzender Position wurde er gebeten, die Augen zu schließen (Luthe, 1963). Anschließend wurde zunächst die Autosuggestion der Schwere, dann die der Wärme geübt. Das subjektive Schweregefühl sollte durch die vom Behandler ausgesprochene, Formel „mein rechter Arm ist schwer“ erreicht werden, welche dann sukzessive auch auf den linken Arm sowie beide Beine ausgeweitet wurde. Diese Übung sollte spezifisch die muskuläre Relaxation verändern (Luthe, 1963). Anschließend wurde durch die Formel „mein rechter Arm ist warm“ die passive Konzentration auf Wärme, damit Gefäßerweiterung, gelenkt (Luthe, 1963). Als letzte Übung wurde dem Probanden durch die Formel „meine Stirn ist kühl“ suggeriert, dass dieser Bereich des Körpers eine andere Temperatur als der übrige Körper hat (Luthe, 1963). Die Übung wurde beendet durch die Bitte die Arme zu bewegen, tief durchzuatmen und die Augen zu öffnen.

Die Übung dauerte insgesamt ca. vier bis fünf Minuten. In der ersten Sitzung wurde sie vier Mal wiederholt, zwischen den Wiederholungen fand jeweils eine ca. einminütige Pause statt (Luthe, 1963). Abschließend wurde der Proband gebeten, die Augen während eines letzten Übungsdurchganges geöffnet zu halten und die Entwicklung des Balkendiagrammes zu beobachten, welches das Aktivitätsniveau des M. trapezius pars descendens anzeigt. „Ziel dieser Sitzung ist, den Patienten für die Wahrnehmung von geringfügigen Veränderungen in der Höhe seiner Muskelanspannung zu sensibilisieren und seine Kontrolle über diese minimalen Veränderungen zu erhöhen“ (Rief & Birbaumer, 2011).

Wie im biomechanisch orientierten Biofeedback ging es, beginnend in der zweiten, dann aber vor allem auch in der dritten Sitzung darum, den Therapieerfolg zu konsolidieren und das Gelernte in den Alltag zu transferieren. Hierzu wurde der Proband immer wieder aufgefordert, ohne Rückmeldung durch den Computer durch das dann nicht angeleitete autogene Training eine Entspannung des M. trapezius pars descendens herzustellen. Sobald er den Eindruck hatte einen guten Wert erlangt zu haben wurde ihm das Feedback zur Gegenkontrolle wieder zur Verfügung gestellt. Er wurde gebeten, die Entspannung für 30 Sekunden beizubehalten. Das Herstellen von Entspannung und das Beibehalten über einen bestimmten Zeitraum wurde dem Patienten als Hausaufgabe mitgegeben. Er sollte dies gerade auch in emotional belastenden Situationen durchführen, sodass auch hier der Effekt von Heimübungen, welcher von Nestoriuc et al. (2008) betont wird, genutzt werden konnte.

Die Ausgangshaltung der Probanden entsprach hier derjenigen im biomechanisch orientierten EMG-Biofeedback und wird daher nicht nochmal bildhaft dargestellt. Die Ausgangssituation der Balkendiagramme entsprach mit einer Erhöhung der beiden oberen Balken (Darstellung des M. trapezius pars descendens) in Teilen der Ausgangssituation im manualisierten EMG-Biofeedback. Da im konventionellen EMG-Biofeedback kein Bezug zur Aktivität des M. trapezius pars ascendens hergestellt werden sollte, wurde dessen Aktivität nicht gemessen und nicht dargestellt. Zum besseren Verständnis dient Abbildung 11. Die verbleibenden beiden Sensoren wurden auf den Tisch gelegt, sodass sie im EMG-Bildschirm eine Nulllinie produzierten. Dies diente der Angleichung von Wirkfaktoren zwischen beiden Gruppen. Etwaige Spannungsanstiege sind durch Aufnahme von

Umgebungsspannung zu begründen. Eine asymmetrische Aktivierung der Muskulatur ist hier wieder individuell für den Probanden und an dieser Stelle irrelevant.

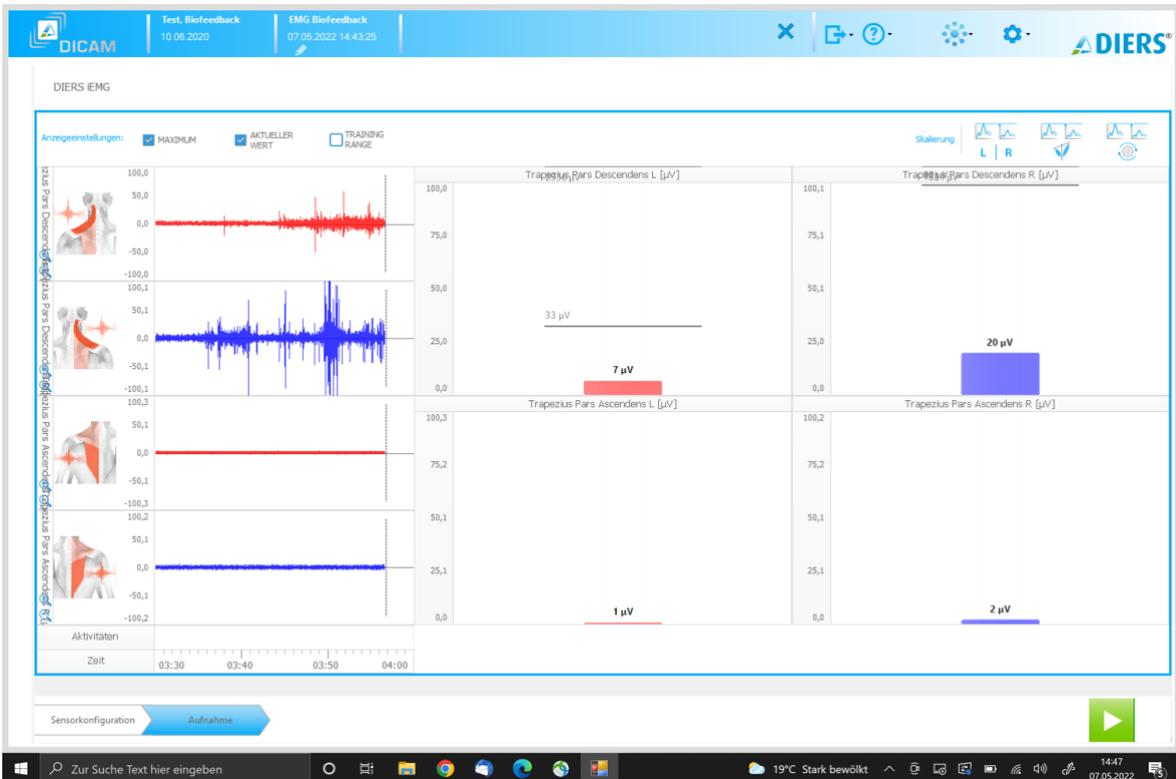


Abbildung 11: Ausgangssituation EMG-Bildschirm psychophysiologisch orientiertes Biofeedback  
Mit freundlicher Genehmigung der DIERS International GmbH.

Die Darstellung der Zielposition sowie die Zielsituation im EMG-Bildschirm folgt in Abbildung zwölf und 13. Diese zeigen damit die Sitzposition während des autogenen Trainings sowie das dadurch zu erreichende Balkendiagramm. Auch hier lagen die beiden nicht auf den Probanden aufgetragenen Sensoren auf dem Tisch, sodass eine Nulllinie produziert wurde.



Abbildung 12: Zielposition Proband psychophysiologisch orientiertes Biofeedback, Ansicht von hinten und seitlich

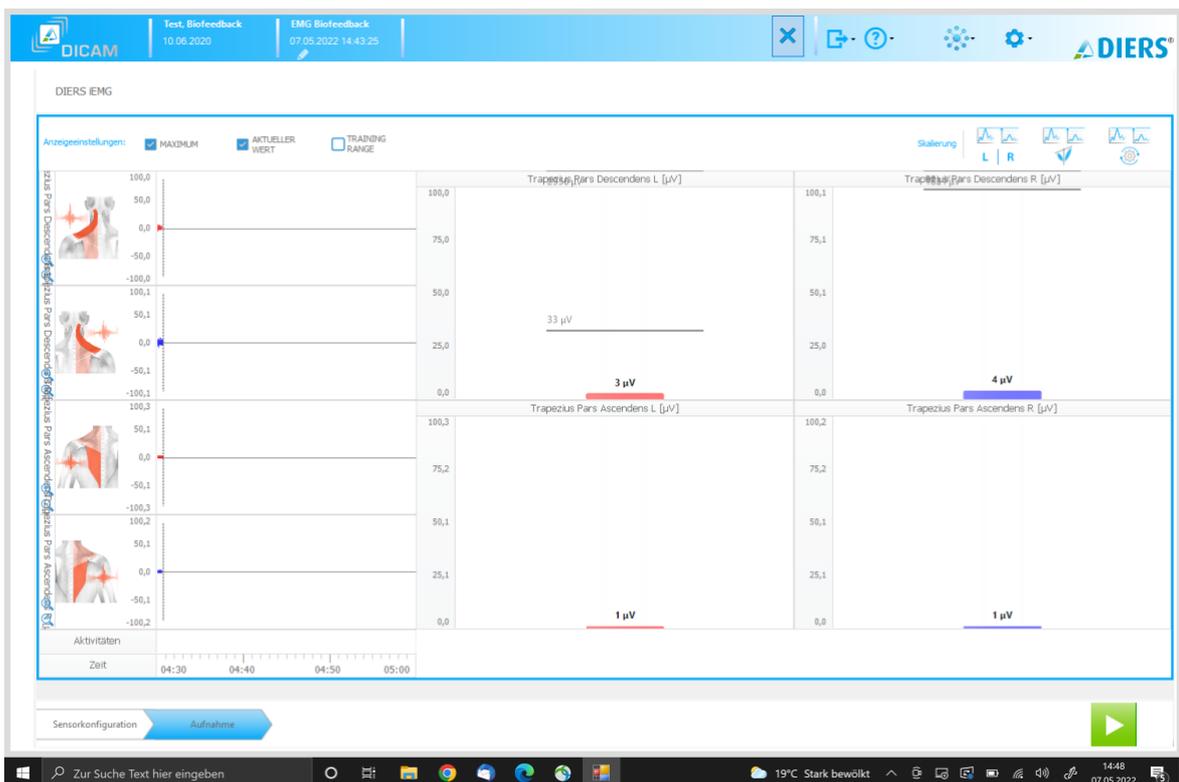


Abbildung 13: Zielsituation EMG-Bildschirm psychophysiologisch orientiertes Biofeedback Mit freundlicher Genehmigung der DIERS International GmbH.

## 2.4 Ablauf der Untersuchung

Für beide Gruppen waren insgesamt drei Sitzungen EMG-Biofeedback vorgesehen. Die Interventionen wurden im Abstand von ca. einer Woche appliziert. Nach jeder Intervention fand jeweils eine erneute Messung des Ruhetonus statt. Die Messungen durch die Fragebögen NDI und den PHQ-9 fanden innerhalb T1 (Messzeitpunkt eins), also vor den Interventionen, nur noch nach der dritten Intervention (T4) statt. Nach einem Zeitraum von vier Wochen erfolgte ein Follow-Up in welchem die genannten Messungen wiederholt wurden. Das Follow-Up stellt T5 dar. Zum einfacheren Verständnis dient die folgende Darstellung

Tabelle 2: Darstellung der Mess- und Interventionszeitpunkte

		Messzeitpunkte und Interventionen im zeitlichen Verlauf								
		T1	keine Wartezeit	T2, Biofeedbacksitzung 1	Wartezeit (1 Woche)	T3, Biofeedbacksitzung 2	Wartezeit (1 Woche)	T4, Biofeedbacksitzung 3	Wartezeit (4 Wochen)	T5
Mess-instrumente	biomechanisch orientiertes Biofeedbacktraining	NDI, EMG- Ruhetonus, PHQ9		EMG-Ruhetonus		EMG-Ruhetonus		NDI, EMG- Ruhetonus, PHQ9		NDI, EMG- Ruhetonus, PHQ9
	psychophysiologisch orientiertes Biofeedbacktraining	NDI, EMG- Ruhetonus, PHQ9		EMG-Ruhetonus		EMG-Ruhetonus		NDI, EMG- Ruhetonus, PHQ9		NDI, EMG- Ruhetonus, PHQ9

## 2.5 Statistische Methoden

### 2.5.1 Deskriptive Statistik

#### 2.5.1.1 Datenaufnahme und -verarbeitung NDI und PHQ-9, Berechnung der Ergebniswerte

Die Fragebögen NDI und PHQ-9 wurden vom Probanden jeweils händisch zu den Messzeitpunkten T1, T4 und T5 ausgefüllt. Das Ausfüllen der Unterlagen erfolgte in einem gesonderten Raum ohne Anwesenheit der Studienleitung. Die Fragebögen wurden im Rahmen des Praxisbetriebs vom Probanden abgegeben und mit der Probanden-ID, bestehend aus dem Geburtsdatum des Patienten in aneinanderhängender Zahlenfolge, gekennzeichnet und gesammelt.

Nach Aufnahme sämtlicher Daten fand eine Übertragung der Werte pro Einzelitem und Fragebogen in ein Excel-Datenblatt statt. In „Excel Probandendaten gesamt“ wurde die Berechnungsformel für das Gesamtergebnis beider Fragebögen hinterlegt, sodass die Berechnung des Gesamtergebnisses beider Fragebögen automatisiert erfolgen konnte. Für den NDI bedeutete dies zur Berechnung des Ergebniswertes in Prozent:

$$(\text{Summe aller Einzelwerte} \div 50) \cdot 100$$

Für den PHQ-9 bedeutete dies zur Berechnung des Summenscores:

$$\text{Summe aller Einzelwerte}$$

Dieser Vorgang wurde pro Proband und Messzeitpunkt durchgeführt, sodass letztlich für jeden Probanden zu drei verschiedenen Zeitpunkten je zwei Ergebniswerte aus zwei verschiedenen Fragebögen feststanden.

#### 2.5.1.2 Datenaufnahme und -verarbeitung EMG-Ruhetonus, Berechnung der Mittelwerte

Um über die Messzeitpunkte T1 bis T5 die potenzielle Veränderung der durch die Elektromyografie gemessenen muskulären Arbeit beschreiben und beurteilen zu können, wurde zunächst definiert, dass der zu beurteilende Zielwert der über den Messzeitraum von jeweils zehn Sekunden gemessene durchschnittliche Mikrovolt-Wert ist. Dieser „reflektiert die mittlere Leistung des Signals“. Hierfür wurde als „standardmäßig empfohlener Glättungsalgorithmus“ der Root Mean Square (RMS), übersetzt das Quadratische Mittel (QMW) empfohlen (Konrad, 2005).

Folgender Vorgang diente der Ermittlung des RMS:

Aus der Software DICAM wurde jede Messung aus dem Programm exportiert, wobei sich die Daten zum M. trapezius pars descendens rechtsseitig und linksseitig in einer Messung befinden. Es entstand pro Messung eine Textdatei (.ini), in welcher entsprechend der verwendeten Hertz (Hz) -Zahlen pro Frequenz in zehn Sekunden ein Mikrovoltwert ( $\mu\text{V}$ ) gemessen wurde. Da mit 200 bis 2000Hz gemessen wurde, bedeutete das 2000 bis 20.000 Einzeldaten pro Messung und Körperhälfte. Um diese in den einzelnen Zielwert des

Ruhtonus pro Körperhälfte umzurechnen wurden die Textdateien zunächst in Excel überführt. In diesem Zuge erfolgte die Berechnung der RMS per folgender Formel:

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum x_i^2}$$

Im Ergebnis steht der RMS jeder Körperhälfte zu jedem Messzeitpunkt.

#### 2.5.1.3 Zusammenführung der Ergebnisse aus allen Messparametern

Nach Durchführung der bis hierher beschriebenen Berechnungen zur Ermittlung der Ergebnisse aus allen Messparametern wurden die Werte des Ruhtonus jedes Probanden zu jedem Messzeitpunkt in die „Excel Probandendaten gesamt“ eingefügt. Im Ergebnis entstand dann ein Datenblatt, welches sämtliche Ergebnisparameter enthält und Basis zur weiteren statistischen Verarbeitung war.

Zur Darstellung und weiteren statistischen Verarbeitung der Ergebnisse aus allen Messparametern wurde die Tabelle „Excel Probandendaten gesamt“ in das Programm SPSS Version 27 importiert. Danach sollten zunächst Mittelwert, Minimum, Maximum sowie die Standardabweichung aller Messparameter, d.h. aus dem NDI, dem PHQ-9 sowie der Messung des RT beider Seiten, zu den Zeitpunkten T1 bis T5 übersichtlich dargestellt werden. Basierend waren hier die gruppenweisen Zusammenfassungen der Ergebniswerte der Fragebögen zu jedem Messzeitpunkt.

Zum besseren Verständnis soll eine beispielhafte Benennung eines der betrachteten Parameter erfolgen: Für den Messzeitpunkt T1 wurden die NDI-Summenscores aller Probanden einer Gruppe mit „T1-NDI-IE“ („IE“ als Abkürzung für Item Ergebnis) benannt. Selbiges erfolgte für die Ergebnisse aus dem Fragebogen PHQ-9. Für die Messung des Aktivitätsniveaus des M. trapezius pars descendens erfolgte die Benennung ebenfalls per Messzeitpunkt, dann seitenweise, sodass T1-RT-L bzw. T1-RT-R („RT“ als Abkürzung für Ruhtonus, „L“ als Abkürzung für links, „R“ für rechts) entstand.

#### 2.5.1.4 Verteilungsmaße, Test auf Normalverteilung

Der Darstellung der Verteilungsmaße aller Messparameter gemeinsam folgt eine Darstellung der Verteilungsmaße für jeden Messparameter einzeln. Hierbei wird sowohl eine tabellarische als auch eine Darstellung per Boxplotdiagramm vorgenommen.

Hiernach wurde zunächst ein Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung vorgenommen. Dies erfolgte für jeden Messparameter und jeden relevanten Messzeitpunkt. Demnach bedeutet dies die Überprüfung der Normalverteilung für die Ergebnisse des NDIs zu T1, T4 und T5, für die Ergebnisse des PHQ-9 zu T1, T4 und T5 sowie für den Ruhetonus des M. trapezius pars descendens rechts- und linksseitig zu T1, T4 und T5. Der Begriff „Ergebnisse“ meint, dass an dieser Stelle das per beschriebener Formel errechnete Gesamtergebnis eines jeden Fragebogens, nicht der Punktwert einzeln abgefragter Items verwendet wurde.

Ab diesem Moment der statistischen Verarbeitung wurden die Messzeitpunkte T3 und T4 nicht weiter integriert. Diese sind nur für den Messparameter „Ruhetonus des M. trapezius pars descendens“ vorhanden. Dies dient der Reduktion von Komplexität.

Der Shapiro-Wilk-Test, welcher im Vergleich zu anderen Testverfahren zur Untersuchung der Normalverteilung besonders zur Anwendung an kleineren ( $n < 50$ ) Stichproben geeignet ist (Seier, 2002), wurde an dieser Stelle als Vortest zu den dann folgenden Testverfahren gewählt.

#### 2.5.2 Analytische Statistik

##### 2.5.2.1 Zielgrößen

Als primäre Zielgröße wurde der Vergleich der Differenz des Scores im NDI prä und post Intervention zwischen Gruppe eins und Gruppe zwei definiert.

Als sekundäre Zielgrößen wurde der Vergleich der Differenz des Ruhetonus des M. trapezius pars descendens prä und post Intervention zwischen Gruppe eins und Gruppe zwei, gemessen durch EMG, definiert. Außerdem als sekundäre Zielgröße bestimmt wurde der Vergleich der Differenz des Summenwerts des PHQ-9 prä und post Intervention zwischen Gruppe eins und Gruppe zwei.

##### 2.5.2.2 Statistische Verfahren

Zur weiteren Analyse der Ergebnisse sollten nun die Veränderungen der Gesamtscores in beiden Gruppen zu den Messzeitpunkten T1, T4 und T5 aller Messparameter berechnet werden (Zielgrößen). Als Variablen wurden hierzu definiert: Die Differenz des Gesamtscores von T5 zu T1, die Differenz des Gesamtscores von T4 zu T1, sowie die Differenz des Gesamtscores von T5 zu T4. Für den NDI konnte danach zunächst beurteilt werden, ob die Entwicklung der Ergebnisse zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten innerhalb jeweils einer Gruppe relevant ist. Da für die Messparameter PHQ-9 sowie Ruhetonus des M. trapezius pars descendens keine Definition des Minimal Clinical Important Change (MCIC) existiert, konnte diese Beurteilung für beide Messungen nicht stattfinden.

Anschließend wurde per Man-Whitney-U-Test untersucht, ob ein signifikanter Unterschied in den Ergebnissen zwischen beiden Gruppen vorliegt. Der verteilungsunabhängige und nichtparametrische Test wurde aufgrund der geringen Stichprobengröße gewählt.

Um weiterhin die Wirkung der Faktoren Gruppe und Zeit genauer beurteilen zu können wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen zu jedem Messzeitpunkt (T1, T4 und T5) und jedem Messparameter durchgeführt. Dies erfolgte zunächst für beide Untersuchungsgruppen gemeinsam, dann nochmal für jede Gruppe einzeln. Die ANOVA mit Messwiederholung stellt sich auch bei nicht normal verteilten Daten als robustes Instrument dar (Vasey & Thayer, 1987).

Vorbereitend hierzu wurde ein Mauchly-Test zur Untersuchung der Sphärizität durchgeführt. Bei Verletzung derselben wurde für die Beurteilung der Innersubjekt Faktoren eine Greenhouse-Geisser-Korrektur der Freiheitsgrade angewendet.

Um die Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA hinsichtlich der Normalverteilungsannahme zu überprüfen wurden Robustheitstests durchgeführt. Dazu wurde die Hypothese H1 („zwischen den Zeitpunkten T1, T4 und T5 gibt es Unterschiede bezüglich des Endpunktes NDI, PHQ-9, RT-L bzw. RT-R innerhalb jeder Behandlungsgruppe“) zusätzlich mit dem nichtparametrischen Friedmann-Test überprüft. Im Falle signifikanter Unterschiede wurden post-hoc paarweise Vergleiche zweier Zeitpunkte mit dem Wilcoxon-Test durchgeführt. Um hinsichtlich der Alpha-Fehler-Kumulierung zu korrigieren, wurde das Signifikanzniveau bei den Post-hoc-Tests nach Bonferroni auf  $5\% : 3 = 1,66\%$  herabgesenkt. Diese manuelle Korrektur war notwendig, da die p-Werte nicht von der Software (SPSS) automatisch nach dem Bonferroni-Verfahren korrigiert werden, wie dies im Rahmen der Post-hoc-Tests in der ANOVA Funktion durchgeführt wird.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der deskriptiven Statistik

Tabelle drei ist die Darstellung von Mittelwert, Maximum, Minimum und Standardabweichung jedes Ergebnisparameters zu jedem Zeitpunkt. Die Benennung der Ergebnisparameter erfolgt hierbei wie im vorherigen Kapitel beschrieben.

Tabelle 3: Übersichtsdarstellung Ergebnisse NDI, PHQ-9, RT rechts und links zu T1 bis T5

	Gruppe							
	1				2			
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung
T1-NDI-IE	24,44	44	10	9,86	21,5	36	8	7,68
T1-PHQ9-IE	5,61	16	1	4,13	7,94	16	1	4,84
T1-RT-L	7,58	16,47	3,34	3,08	18,82	136,73	4,24	32,38
T1-RT-R	6,71	18,73	2,47	4,88	8,06	22,97	3,09	6,12
T2-RT-L	6,53	15,96	1,33	3,1	8,15	13,25	4,74	2,88
T2-RT-R	5,47	11,37	1,24	2,4	4,86	9,03	1,48	2,28
T3-RT-L	6,44	9,54	3,44	1,81	8,9	17,99	4,59	3,34
T3-RT-R	5,63	17,41	2,21	3,5	5,08	17,56	2,78	3,56
T4-NDI-IE	16,22	40	2	9,75	14,53	40	4	11,43
T4-PHQ9-IE	3,89	15	0	3,53	5,47	13	1	3,76
T4-RT-L	7,43	17,51	4,07	3,69	8,34	17,82	4,5	3,71
T4-RT-R	5,42	10,98	2,98	2,58	4,35	9,32	2,25	1,92
T5-NDI-IE	14,11	36	0	8,61	12,88	38	0	13,04
T5-PHQ9-IE	3,72	8	0	2,63	5,25	13	0	4,16
T5-RT-L	7,56	15,63	3,8	2,76	10,28	35,12	4,21	7,74
T5-RT-R	6,05	14,56	3,57	2,98	6,59	27,28	2,78	5,97

##### 3.1.1 Verteilungsparameter, Test auf Normalverteilung

Um hieraus einen Eindruck zur Entwicklung zunächst der einzelnen Messparameter, erlangen zu können, folgt eine Darstellung von Mittelwert, Median, Minimum, Maximum und Standardabweichung der Messparameter NDI, PHQ-9 sowie RT links und rechts getrennt voneinander, ebenfalls zu den Messzeitpunkten T1 bis T5 (RT links und rechts) bzw. T1, T4, und T5 (NDI und PHQ-9). Außerdem dargestellt werden Ausreißer, Schiefe sowie oberes und unteres Quartil.

###### 3.1.1.1 NDI

Vor der Beschreibung der Verteilungsmaße des NDI soll nochmal darauf hingewiesen werden, dass dieser ab einem Ergebnisscore von 8% als klinisch relevant eingeschätzt wird.

Der Darstellung der genannten Verteilungsmaße folgt jeweils die graphische Darstellung der Verteilung des jeweiligen Parameters per Boxplot-Diagramm.

Tabelle 4: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter NDI-IE zu T1

		Standard Fehler		
		Statistik		
T1-NDI-IE	Mittelwert		23,27	1,56
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	20,10	
		Obergrenze	26,44	
	Median		22,00	
	Varianz		79,96	
	Standard Abweichung			8,94
				8,00
	Minimum		8,00	
	Maximum		44,00	
	Spannweite		36,00	
	Interquartilbereich		11,00	
	Schiefe		0,42	0,41
	Kurtosis		-0,32	0,80

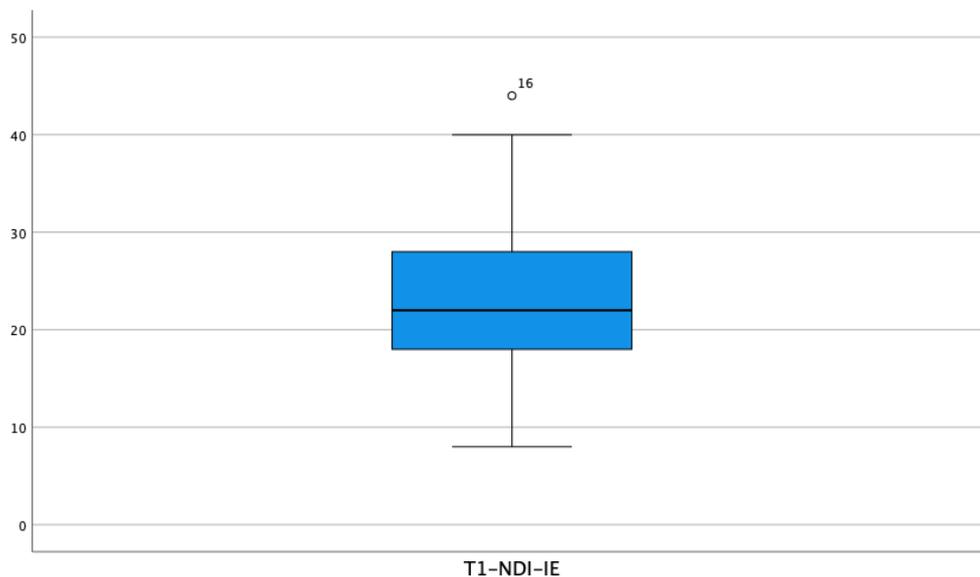


Abbildung 14: Boxplot zur Darstellung der Verteilung NDI-IE zu T1

Der Median für T1-NDI-IE liegt bei 22, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 8, der größte bei 44.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt NDI-IE Werte an T1 auf, die kleiner oder gleich 18 sind, ein weiteres Viertel NDI-IE Werte, die größer/gleich 28 sind.

Ein Wert (NDI-IE = 44, ID 16) liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (11) vom Median (22) entfernt und wird deshalb als potenzieller Ausreißer dargestellt (Kreis). Kein

Punkt befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 23,27 (SE = 1,56). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 0,42 leicht rechtsschief bzw. linkssteil (<0 = linksschief/rechtssteil, >0 = rechtsschief/linkssteil)

Tabelle 5: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter ND-IE zu T4

	Statistik		Standard Fehler
	Mittelwert		15,45
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	11,76	
	Obergrenze	19,14	
Median		14,00	
Varianz		108,32	
Standard Abweichung		10,41	
Minimum		2,00	
Maximum		40,00	
Spannweite		38,00	
Interquartilbereich		14,00	
Schiefe		0,99	0,41
Kurtosis		0,28	0,80

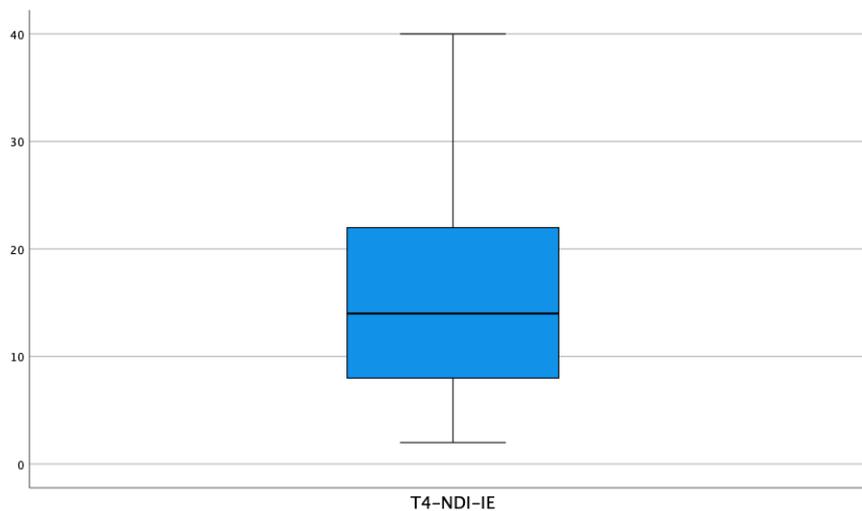


Abbildung 15: Boxplot zur Darstellung der Verteilung NDI-IE zu T4

Der Median für T4-NDI-IE liegt bei 14, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 2, der größte bei 40.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt NDI-IE Werte an T4 auf, die kleiner oder gleich 8 sind, ein weiteres Viertel NDI-IE Werte, die größer/gleich 22 sind.

Kein Punkt liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (14) vom Median (14) entfernt (Ausreißer, Punkt). Kein Punkt befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 15,45 (SE = 1,81).

Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 0,99 etwa symmetrisch (<0 = linksschief/rechtssteil, >0 = rechtsschief/linkssteil)

Tabelle 6: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter NDI-IE zu T5

		Standard Fehler			
		Statistik			
T5-NDI-IE	Mittelwert		13,76	1,89	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	9,91		
		Obergrenze	17,60		
	Median		12,00		
	Varianz		117,69		
	Standard Abweichung			10,85	
				0,00	
	Minimum		0,00		
	Maximum		38,00		
	Spannweite		38,00		
	Interquartilbereich		16,00		
	Schiefe		0,78	0,41	
	Kurtosis		-0,02	0,80	

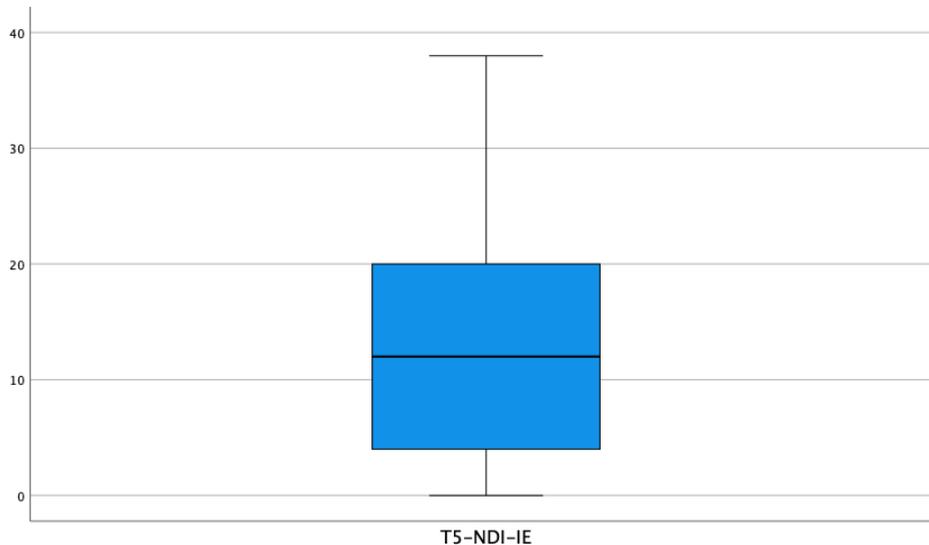


Abbildung 16: Boxplot zur Darstellung der Verteilung NDI-IE zu T5

Der Median für T5-NDI-IE liegt bei 12, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 0, der größte bei 38.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt NDI-IE Werte an T5 auf, die kleiner oder gleich 4 sind, ein weiteres Viertel NDI-IE Werte, die größer/gleich 20 sind.

Kein Punkt liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (16) vom Median (12) entfernt (Ausreißer, Punkt). Kein Punkt befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 13,76 (SE = 1,89).

Die Verteilung ist mit einer Schiefe von - 0,78 leicht linksschief bzw. rechtssteil (<0 = linksschief/rechtssteil, >0 = rechtsschief/linkssteil)

Ein Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung des NDI-IE ergibt eine Verletzung der Normalverteilung für den Messzeitpunkt T4 sowie T5 ( $p = ,005$ ). Hier wurde von  $df = 33$  ausgegangen. Dies ist begründet durch den Dropout eines Probanden dessen Angaben im NDI zu einem Zeitpunkt unvollständig waren. Obwohl der Shapiro-Wilk-Test eine unterschiedliche Angabe des Stichprobenumfangs zu verschiedenen Messzeitpunkten toleriert, soll hier konsequenterweise zu jedem Messzeitpunkt von  $n = 33$  ausgegangen werden. Das vor allem, weil das in der analytischen Statistik verwendete Messverfahren der ANOVA keine unterschiedlichen Angaben von der Anzahl der Beobachtungen zu unterschiedlichen Messzeitpunkten toleriert.

*Tabelle 7: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung NDI-IE zu T1, T4 und T5*

Shapiro-Wilk			
	Statistik	df	Signifikanz (p)
T1-NDI-IE	0,97	33	0,491
T4-NDI-IE	0,899	33	0,005
T5-NDI-IE	0,904	33	0,007

### 3.1.1.2 PHQ-9

In selber Weise wie für den NDI-IE folgt eine Darstellung der Daten für den Parameter PHQ-9-IE.

Vor der Beschreibung der Verteilungsmaße des PHQ-9 soll erneut auf die Einteilung der Schweregrade einer untersuchten Depression hingewiesen werden. Dies vor allem, um die nun folgenden Daten hinsichtlich der Frage, wie schwer die Probanden in diesem Messparameter betroffen sind, einschätzen zu können.

Ein Punktwert von unter fünf wird als Fehlen einer depressiven Störung definiert. Ein Punktwert zwischen fünf und zehn zeigt eine milde Depression. Ab einem Punktwert von zehn wird die Diagnose der Major Depression gestellt. Diese wird dann nochmal unterteilt in die mittlere (10-14 Punkte), ausgeprägte (15-19 Punkte) und schwerste (20-27 Punkte) Depression.

Tabelle 8: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter PHQ-9 zu T1

		Standard Fehler		
		Statistik		
T1-PHQ9-IE	Mittelwert		6,88	0,82
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5,20	
		Obergrenze	8,55	
	Median		6,00	
	Varianz		21,60	
	Standard Abweichung		4,65	
	Minimum		1,00	
	Maximum		16,00	
	Spannweite		15,00	
	Interquartilbereich		7,00	
	Schiefe		0,63	0,41
	Kurtosis		-0,59	0,81

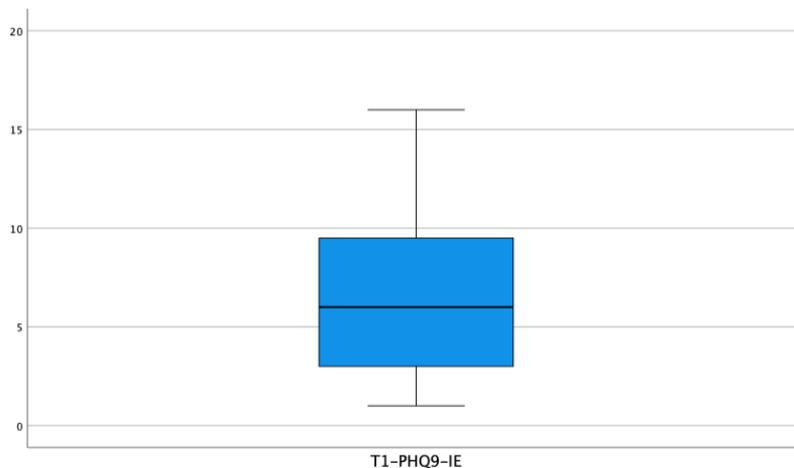


Abbildung 17: Boxplot zur Darstellung der Verteilung PHQ-9 zu T1

Der Median für T1 PHQ-9 IE liegt bei 6, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 1, der größte bei 16.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt PHQ-9 IE Werte an T1 auf, die kleiner oder gleich 3, ein weiteres Viertel PHQ-9 Werte, die größer/gleich 9 sind.

Kein Punkt liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (7) vom Median (6) entfernt (Ausreißer, Punkt). Kein Punkt befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 6,88 (SE = 0,82). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 0,63 leicht rechtsschief bzw. linkssteil (< 0 = linksschief/rechtssteil, > 0 = rechtsschief/linkssteil).

Tabelle 9: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter PHQ-9 zu T4

		Standard Fehler			
		Statistik			
T4-PHQ9-IE	Mittelwert		4,50	0,65	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		3,18	
		Obergrenze		5,82	
	Median		3,50		
	Varianz		13,48		
	Standard Abweichung				
				3,67	
	Minimum		0,00		
	Maximum		15,00		
	Spannweite		15,00		
	Interquartilbereich		4,00		
	Schiefe		1,17	0,41	
	Kurtosis		1,14	0,81	

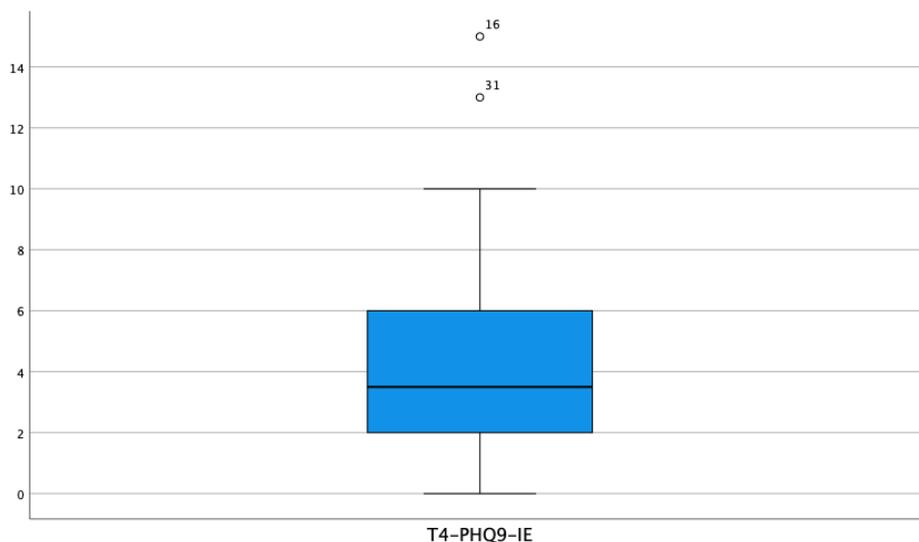


Abbildung 18: Boxplot zur Darstellung der Verteilung PHQ-9 zu T4

Der Median für T4 PHQ-9 IE liegt bei 3,5, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 0, der größte bei 15.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt PHQ-9 IE Werte an T4 auf, die kleiner oder gleich 2, ein weiteres Viertel PHQ-9 Werte, die größer/gleich 6 sind.

Zwei Punkte (PHQ-9 IE = 13 bzw. 15, ID 32 bzw. 16) liegen mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (4) vom Median (3,5) entfernt (Ausreißer, Punkt). Kein Punkt befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 4,50 (SE = 0,65). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 1,17 leicht rechtsschief bzw. linkssteil (<0 = linksschief/rechtssteil, >0 = rechtsschief/linkssteil)

Tabelle 10: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter PHQ-9 zu T5

			Statistik	Standard Fehler
			Mittelwert	
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		3,13	
	Obergrenze		5,62	
Median			4,00	
Varianz			11,98	
Standard Abweichung			3,46	
Minimum			0,00	
Maximum			13,00	
Spannweite			13,00	
Interquartilbereich			6,00	
Schiefe			0,57	0,41
Kurtosis			-0,19	0,81

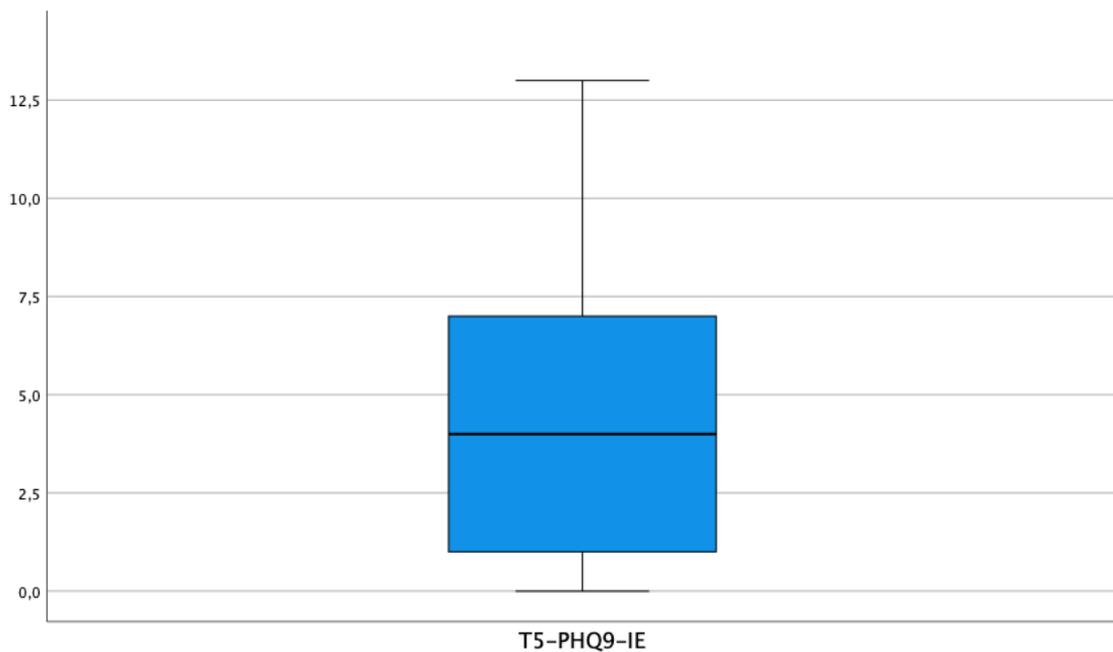


Abbildung 19: Boxplot zur Darstellung der Verteilung PHQ-9 zu T5

Der Median für T5 PHQ-9 IE liegt bei 4, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 0, der größte bei 13.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt PHQ-9 IE Werte an T5 auf, die kleiner oder gleich 1 sind, ein weiteres Viertel PHQ-9 Werte, die größer/gleich 7 sind.

Kein Punkt liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (6) vom Median (4) entfernt (Ausreißer, Punkt). Kein Punkt befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 4,38 (SE = 0,61).

Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 0,57 leicht rechtsschief bzw. linkssteil (<0 = linksschief/rechtssteil, >0 = rechtsschief/linkssteil).

Ein Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung des PHQ-IE ergibt eine Verletzung der Normalverteilung für den Messzeitpunkt T1 (p = ,019) sowie T4 (p = ,002). Auch hier wird mit einer von n = 34 abweichenden Gesamtgruppengröße gearbeitet, nämlich mit n = 32. Die Begründung entspricht der für den NDI.

Tabelle 11: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung PHQ-IE zu T1, T4 und T5

	Shapiro-Wilk		Signifikanz (p)
	Statistik	df	
T1-PHQ9-IE	0,918	32	0,019
T4-PHQ9-IE	0,882	32	0,002
T5-PHQ9-IE	0,939	32	0,072

### 3.1.1.3 RT-L

Auch vor Darstellung der Verteilungsmaße des Ruhetonus soll nochmal darauf hingewiesen werden, dass der vermeintliche Normwert für diesen Messparameter sich bei 2,2µV befindet. Dies gilt sowohl für die rechte als auch für die linke Körperhälfte.

Anschließend eine Darstellung der Daten für den Parameter RT-L.

Tabelle 12: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter RT-L zu T1

		Standard Fehler		
		Statistik		
T1-RT-L	Mittelwert	13,13	4,00	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	4,99	
		Obergrenze	21,27	
	Median	8,02		
	Varianz	527,43		
	Standard Abweichung	22,97		
	Minimum	3,34		
	Maximum	136,73		
	Spannweite	133,39		
	Interquartilbereich	3,71		
	Schiefe	5,21	0,41	
	Kurtosis	28,38	0,80	

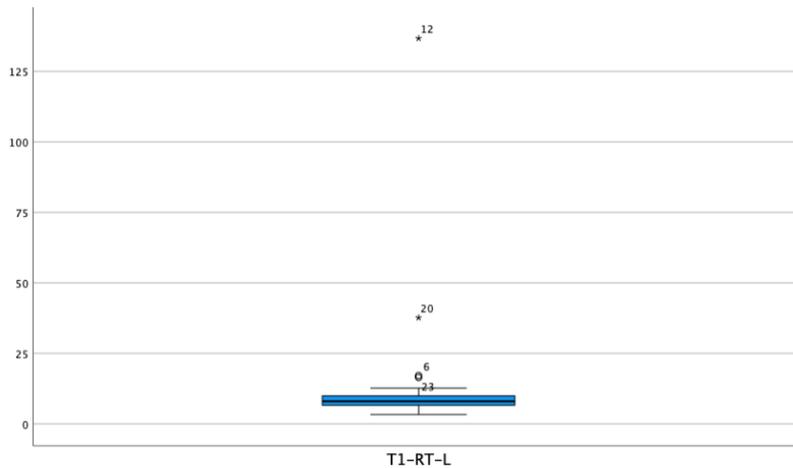


Abbildung 20: Boxplot zur Darstellung der Verteilung RT-L zu T1

Der Median für T1 RT-L liegt bei 8,03, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 3,34, der größte bei 136,73.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt RT-L Werte an T1 auf, die kleiner oder gleich 7 sind, ein weiteres Viertel RT-L Werte, die größer/gleich 9 sind.

Ein Punkt (RT-L = 11, ID = 6) liegt genau 1,5-mal dem Interquartilsabstand (3,71) vom Median (8,02) entfernt (Ausreißer, Punkt). Zwei Punkte (RT-L = 37,5 bzw. 136, ID = 20 bzw. 12) befinden sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 13,13 (SE = 4,0). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 5,21 rechtsschief bzw. linkssteil (< 0 = linksschief/rechtssteil, > 0 = rechtsschief/linkssteil).

Tabelle 13: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter RT-L zu T4

		Statistik	Standard Fehler	
T4-RT-L	Mittelwert	7,85	0,64	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			
		Untergrenze	6,55	
		Obergrenze	9,15	
	Median	6,59		
	Varianz	13,47		
	Standard Abweichung	3,67		
	Minimum	4,07		
	Maximum	17,82		
	Spannweite	13,75		
	Interquartil bereich	2,74		
	Schiefe	1,65	0,41	
	Kurtosis	2,13	0,80	

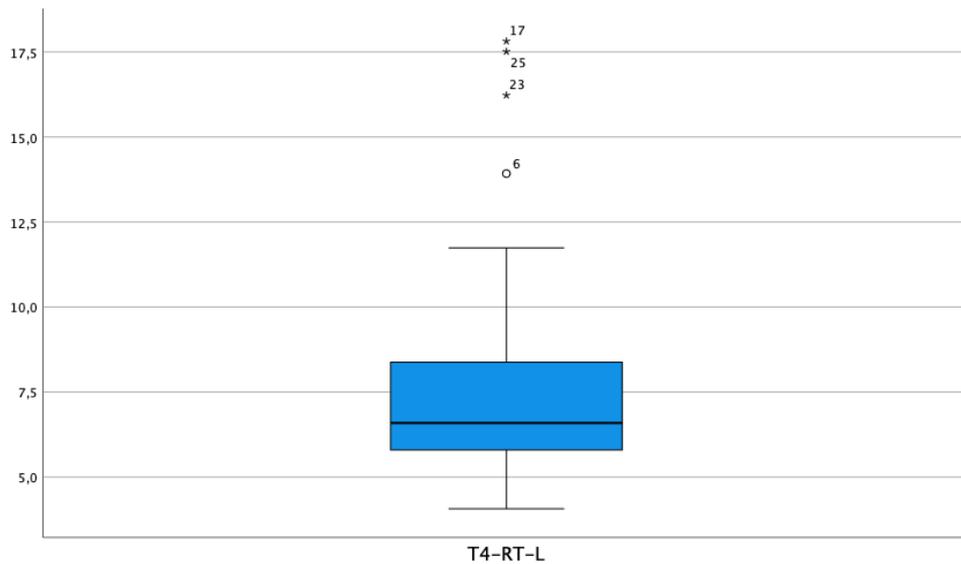


Abbildung 21: Boxplot zur Darstellung der Verteilung RT-L zu T4

Der Median für T4 RT-L liegt bei 6,59, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 4,07, der größte bei 17,82.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt RT-L Werte an T4 auf, die kleiner oder gleich 5,5 sind, ein weiteres Viertel RT-L Werte, die größer/gleich 8 sind.

Ein Punkt (RT-L = 13, ID = 6) liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (2,74) vom Median (6,59) entfernt (Ausreißer, Punkt). Drei Punkte (RT-L = 16 bzw. 17,5 bzw. 17,8, ID = 23 bzw. 25 bzw. 17) befinden sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 7,85 (SE = 0,64). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 1,65 rechtsschief bzw. linkssteil (< 0 = linksschief/rechtssteil, > 0 = rechtsschief/linkssteil)

Tabelle 14: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter RT-L zu T5

T5-RT-L			Statistik	Standard Fehler
	Mittelwert			8,90
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		6,83	
	Obergrenze		10,97	
Median			7,03	
Varianz			33,98	
Standard Abweichung			5,83	
			3,80	
Minimum			3,80	
Maximum			35,12	
Spannweite			31,32	
Interquartilbereich			5,03	
Schiefe			3,11	0,41
Kurtosis			12,57	0,80

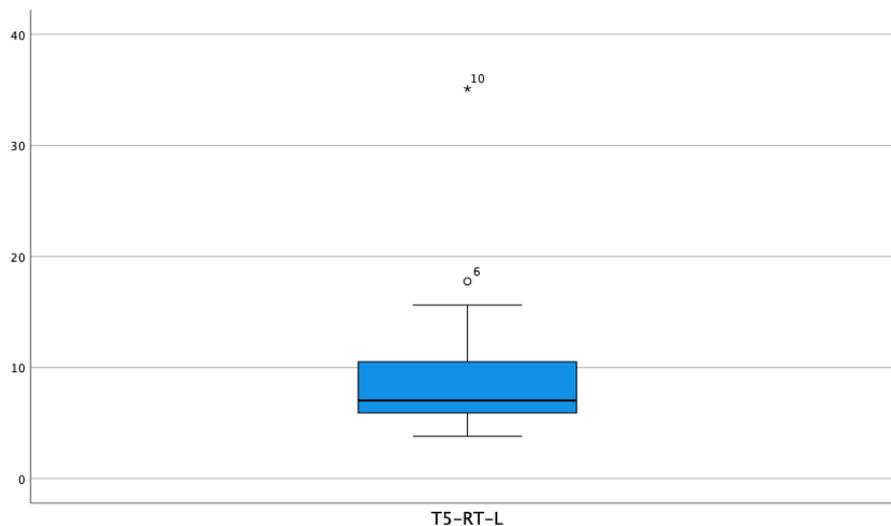


Abbildung 22: Boxplot zur Darstellung der Verteilung RT-L zu T5

Der Median für T5 RT-L liegt bei 7,03, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 3,8, der größte bei 35,12.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt RT-L Werte an T5 auf, die kleiner oder gleich 8 sind, ein weiteres Viertel RT-L Werte, die größer/gleich 10,5 sind.

Ein Punkt (RT-L = 16, ID = 6) liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (5,03) vom Median (7,03) entfernt (Ausreißer, Punkt). Ein Punkt (RT-L = 35, ID = 10) befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 8,90 (SE = 1,01). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 3,11 rechtsschief bzw. linkssteil (<0 = linksschief/rechtssteil, >0 = rechtsschief/linkssteil).

Ein Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung des RT-L ergibt eine Verletzung der Normalverteilung für den Messzeitpunkt T1, T4 sowie T5 (jeweils  $p < ,001$ ). Wiederum wird mit einer von  $n = 34$  abweichenden Gesamtgruppengröße gearbeitet, nämlich mit  $n = 33$ . Die Begründung entspricht der für den NDI und den PHQ-9.

Tabelle 15: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung RT-L zu T1, T4 und T5

Shapiro-Wilk			
	Statistik	df	Signifikanz (p)
T1-RT-L	0,324	33	<0
T4-RT-L	0,797	33	<0
T5-RT-L	0,689	33	<0

#### 3.1.1.4 RT-R

Zuletzt die deskriptive Darstellung der Verteilungsmaße für den Parameter RT-R.

Tabelle 16: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter RT-R zu T1

		Standard Fehler		
		Statistik		
T1-RT-R	Mittelwert	7,38	0,96	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			
		Untergrenze	5,42	
		Obergrenze	9,34	
	Median	4,91		
	Varianz	30,64		
	Standard Abweichung	5,54		
	Minimum	2,47		
	Maximum	22,97		
	Spannweite	20,50		
	Interquartilbereich	4,67		
	Schiefe	1,57	0,41	
	Kurtosis	1,33	0,80	

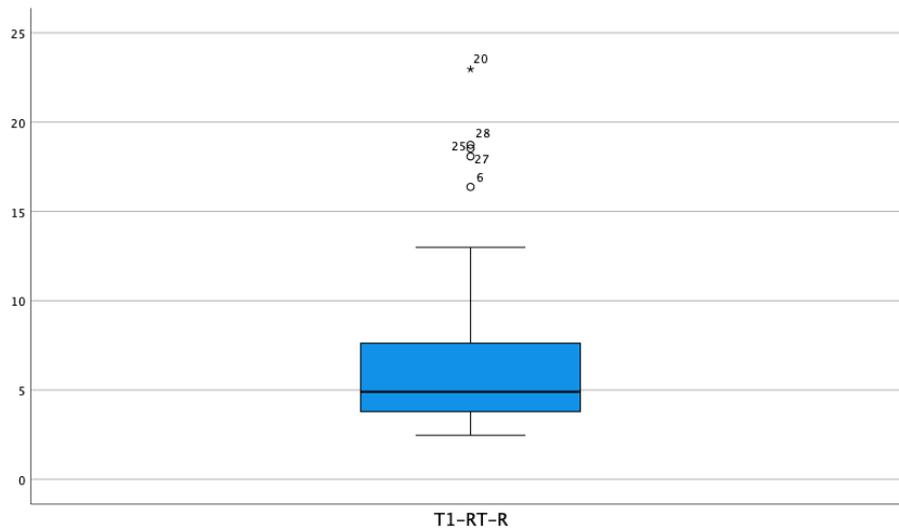


Abbildung 23: Boxplot zur Darstellung der Verteilung RT-R zu T1

Der Median für T1 RT-R liegt bei 4,91, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 2,47, der größte bei 22,97.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt RT-R Werte an T1 auf, die kleiner oder gleich 4 sind, ein weiteres Viertel RT-L Werte, die größer/gleich 8 sind.

Vier Punkte (RT-R = 16, 17 bzw. 17,5 bzw. 18, ID = 6 bzw. 27 bzw. 25 bzw. 28) liegen mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (4,67) vom Median (4,91) entfernt (Ausreißer, Punkt). Ein Punkt (RT-R = 24, ID = 20) befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 7,38 (SE = 0,96). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 1,57 rechtsschief bzw. linkssteil (< 0 = linksschief/rechtssteil, > 0 = rechtsschief/linkssteil)

Tabelle 17: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter RT-R zu T4

	Statistik		Standard Fehler	
T4-RT-R	Mittelwert	4,93	0,41	
	Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	4,11	
		Obergrenze	5,76	
	Median	4,03		
	Varianz	5,44		
	Standard Abweichung	2,33		
	Minimum	2,25		
	Maximum	10,98		
	Spannweite	8,73		
	Interquartil bereich	2,08		
	Schiefe	1,40	0,41	
	Kurtosis	1,18	0,80	

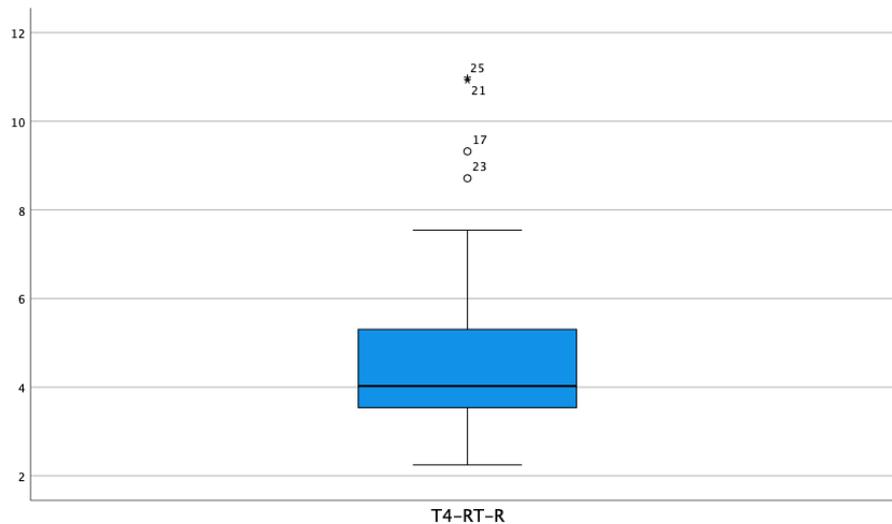


Abbildung 24: Boxplot zur Darstellung der Verteilung RT-R zu T4

Der Median für T4 RT-R liegt bei 4,03, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 2,25, der größte bei 10,98.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt RT-R Werte an T4 auf, die kleiner oder gleich 3,5 sind, ein weiteres Viertel RT-L Werte, die größer/gleich 5,5 sind.

Zwei Punkte (RT-R = 8,5; 9,2, ID = 23; 17) liegen mehr 1,5-mal dem Interquartilsabstand (2,08) vom Median (4,03) entfernt (Ausreißer, Punkt). Zwei Punkte (RT-L = 11, ID = 21;25) befinden sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 4,93 (SE = 0,41). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 1,40 rechtsschief bzw. linkssteil ( $< 0$  = linksschief/rechtssteil,  $> 0$  = rechtsschief/linkssteil).

Tabelle 18: Übersichtsdarstellung Verteilungsparameter RT-R zu T5

		Standard Fehler		
		Statistik		
T5-RT-R	Mittelwert		6,41	0,80
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	4,78	
		Obergrenze	8,04	
	Median		4,80	
	Varianz		21,13	
	Standard Abweichung		4,60	
	Minimum		2,78	
	Maximum		27,28	
	Spannweite		24,50	
	Interquartil bereich		4,23	
	Schiefe		3,25	0,41
	Kurtosis		13,23	0,80

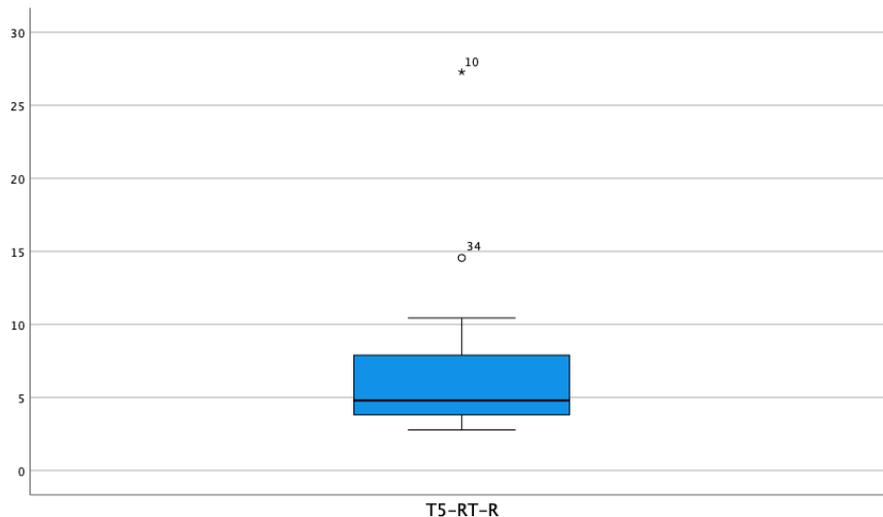


Abbildung 25: Boxplot zur Darstellung der Verteilung RT-R zu T5

Der Median für T5 RT-R liegt bei 4,8, der kleinste beobachtete Wert in der Stichprobe liegt bei 2,78, der größte bei 27,28.

Ein Viertel der Teilnehmer zeigt RT-L Werte an T5 auf, die kleiner oder gleich 4,5 sind, ein weiteres Viertel RT-L Werte, die größer/gleich 8 sind.

Ein Punkt (RT-R = 14,9, ID = 34) liegt mehr als 1,5-mal dem Interquartilsabstand (4,23) vom Median (4,8) entfernt (Ausreißer, Punkt). Ein Punkt (RT-R = 27, ID = 10) befindet sich mehr als den dreifachen Interquartilsabstand vom Median entfernt (extreme Ausreißer, Stern). Der Mittelwert liegt bei 6,41 (SE = 0,8). Die Verteilung ist mit einer Schiefe von 3,250 deutlich rechtsschief bzw. linkssteil ( $< 0$  = linksschief/rechtssteil,  $> 0$  = rechtsschief/linkssteil).

Ein Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung des RT-R ergibt eine Verletzung der Normalverteilung für den Messzeitpunkt T1, T4 sowie T5 (jeweils  $p < ,001$ ). Auch hier wird mit einer von  $n = 34$  abweichenden Gesamtgruppengröße gearbeitet, nämlich mit  $n = 33$ . Die Begründung entspricht der für den NDI, den PHQ-9 sowie den Messparameter RT-L.

Tabelle 19: Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung RT-R zu T1, T4 und T5

Shapiro-Wilk			
	Statistik	df	Signifikanz (p)
T1-RT-R	0,749	33	<0
T4-RT-R	0,824	33	<0
T5-RT-R	0,649	33	<0

## 3.2 Ergebnisse der analytischen Statistik

### 3.2.1 Mann-Whitney-U-Test

Zur weiteren Analyse der Ergebnisse sollen nun die Veränderungen der Gesamtscores in beiden Gruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten des NDI berechnet werden. Als Variablen werden hierzu definiert: Die Differenz des Gesamtscores von T5 zu T1 (benannt

mit Diff\_NDIT5T1), die Differenz des Gesamtscores von T4 zu T1 (benannt mit Diff\_NDIT4T1) sowie die Differenz des Gesamtscores von T5 zu T4 (benannt mit Diff\_NDIT5T4).

Die genannten drei Variablen werden folgend wieder mit Mittelwert, Minimum, Maximum und Standardabweichung dargestellt.

Tabelle 20: Darstellung der Entwicklung der Ergebnisse des NDI von T1 zu T5, T1 zu T4, T4 zu T5

	Gruppe							
	1				2			
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung
DIFF_NDIT5T1	-10,33	0	-24	8,18	-8,62	8	-26	9,29
DIFF_NDIT4T1	-8,22	6	-26	8,48	-7,33	6	-22	8,02
DIFF_NDIT5T4	10,22	21	-7	7,22	7,87	32	-7	12,3

Folgende Verläufe werden beschrieben: In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt sich zwischen T1 und T5 eine Reduktion des Gesamtscores um 10,33 (SD = 8,18), in Gruppe zwei (psychophysiologisches, im Folgenden psychophys. BFB) für denselben Zeitraum um 8,62 (SD = 9,29). Für den Zeitraum zwischen T1 und T4 zeigt sich in Gruppe eins (biomech. BFB) eine Reduktion des Gesamtscores um 8,22 (SD = 8,48), in Gruppe zwei (psychophys. BFB) um 7,88 (SD = 8,02). Für den letzten Zeitraum, den von T4 zu T5, zeigt sich in Gruppe eins (biomech. BFB) ein Anstieg des Gesamtscores um 10,22 (SD = 7,22), in Gruppe zwei (psychophys. BFB) ein Anstieg um 7,87 (SD = 12,30).

Bei Berücksichtigung des MCIC von 7% im Gesamtscore (Pool et al., 2010) zeigt sich eine relevante Verbesserung in beiden Gruppen zu allen Messzeitpunkten, da die beobachteten Differenzen höher liegen als der MCIC.

Um nun zu prüfen, ob der Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Entwicklung des Gesamtscores zwischen den benannten Messzeitpunkten signifikant ist, wird ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

Bezüglich der Veränderung zwischen T1 und T5 konnte kein signifikanter Gruppenunterschied festgestellt werden ( $U = 136$ ;  $p = ,791$ ). Auch die Veränderungen von T1 zu T4 ( $U = 127$ ;  $p = ,782$ ) sowie T4 und T5 ( $U = 97$ ;  $p = ,174$ ) konnten statistisch nicht bestätigt werden.

### 3.2.2 ANOVA Messwiederholung NDI, Gruppen gemeinsam

Zunächst soll hier angemerkt sein, dass von insgesamt 34 Probanden in die ANOVA mit Messwiederholung für den Messparameter NDI nur 33 Probanden eingeschlossen wurden. Dies liegt darin begründet, dass in dieses Messverfahren nur vollständige Datensätze integriert werden können. Der Fragebogen NDI jedoch lag bei einem Probanden nicht vollständig zu jedem Messzeitpunkt vor.

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität zwischen den drei Messzeitpunkten festgestellt werden ( $p = ,010$ ). Daher wird für die Beurteilung der

Innersubjektfaktoren die Greenhouse-Geisser-Korrektur der Freiheitsgrade (df) angewendet.

Eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen signifikanten Zeiteffekt,  $F(1,58; 49) = 28,32$ ,  $p < ,001$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,48 und zeigt damit einen starken Effekt an.

Hinsichtlich des Faktors Gruppe konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen nachgewiesen werden  $F(1; 31) = 0,27$ ,  $p = ,605$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,01 und zeigt damit einen geringen/keinen Effekt an.

Bezüglich der Interaktion Gruppe\*Zeit, also dem zeitlichen Verlauf zwischen den beiden Gruppen ergibt sich mit  $F(1,58; 49) = 0,23$ ,  $p = ,746$  kein signifikanter Effekt. Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,01 und zeigt damit einen geringen/keinen Effekt an. Zum besseren Verständnis dient die folgende Abbildung.

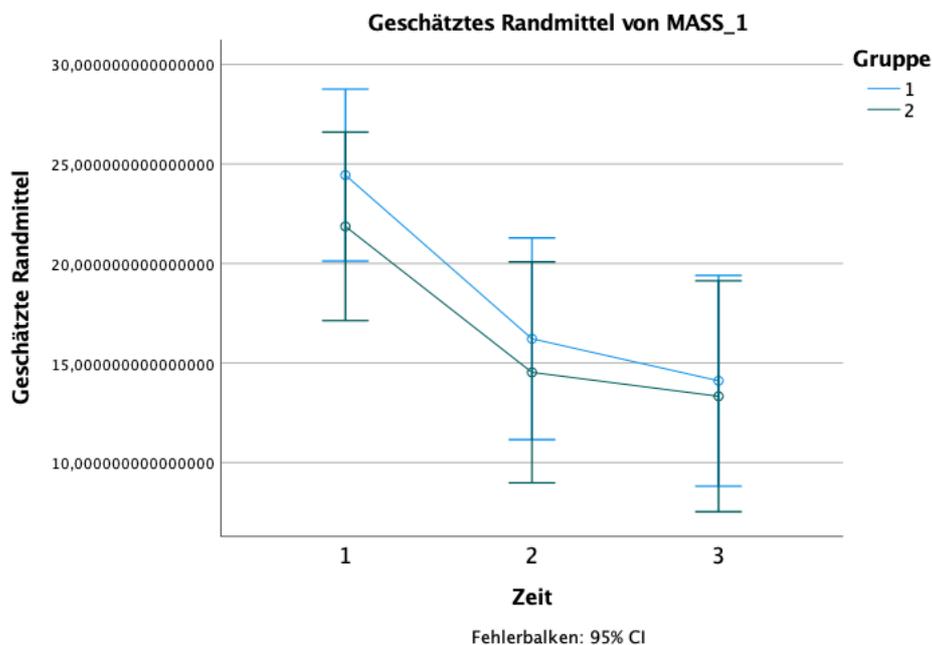


Abbildung 26: Profilplot NDI Messwiederholung zu T1, T4 und T5 im Gruppenvergleich (n = 33) (CI = Konfidenzintervall)

Die Nullhypothese kann für den NDI hinsichtlich des Faktors Zeit abgelehnt werden.

### 3.2.3 ANOVA Messwiederholung NDI, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität nicht nachgewiesen werden ( $p = ,152$ ).

Bei Gruppe eins (biomech. BFB) konnte ein zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(2; 34)=18,97$ ;  $p < ,001$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,53 und zeigt einen sehr starken Effekt an.

In den Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Korrektur lassen sich signifikante Unterschiede zwischen Zeitpunkt T1 und T4 (Mittelwertsdifferenz = 8,22, 95% KI [2,91; 13,53];  $p = ,002$ ) und T1 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 10,33, 95% KI [5,21; 15,45];  $p < ,001$ ) nachweisen, nicht jedoch zwischen T4 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 2,11, 95% KI [-1,36; 5,59];  $p = ,375$ ).

### 3.2.4 ANOVA Messwiederholung NDI, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly Test konnte eine Verletzung der Sphärizität nachgewiesen werden ( $p = ,042$ ), weshalb eine Greenhouse-Geisser-Korrektur vorgenommen wird.

Bei Gruppe zwei (psychophys. BFB) konnte ein zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(1,44; 20,21) = 10,47$ ;  $p = ,002$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,43 und zeigt einen sehr starken Effekt an.

In den post-hoc Tests mit Bonferroni-Korrektur lassen sich signifikante Unterschiede zwischen Zeitpunkt T1 und T4 (Mittelwertsdifferenz = 7,33, 95% KI [1,70; 12,96];  $p = ,010$ ) und T1 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 8,53, 95% KI [1,79; 15,27];  $p = ,012$ ) nachweisen, nicht jedoch zwischen T4 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 1,20, 95% KI [-2,43; 4,83];  $p > ,999$ ).

### 3.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse des Neck-Disability-Index

Hinsichtlich des MCIC sind in beiden Gruppen jegliche Veränderungen zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten relevant.

Die Prüfung durch den Mann-Whitney-U-Test dahingehend, ob die Unterschiede in den Verläufen zwischen Gruppe eins und zwei signifikant sind zeigt, dass keine signifikanten Abweichungen in den Ergebnissen zwischen beiden Gruppen vorliegen.

Folglich kann die Nullhypothese „es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der primären Zielgröße NDI Score zwischen der Intervention des konventionellen Biofeedbacks und des manualisierten EMG-Biofeedbacks“ zunächst nicht abgelehnt werden. Auch eine ANOVA mit Messwiederholung bestätigt diese Annahme.

Hinsichtlich des Faktors Zeit zeigt eine ANOVA mit Messwiederholung für beide Gruppen einen signifikanten Zeiteffekt. Dieser ist mit einem Eta-Quadrat-Wert von ,48 als sehr stark zu definieren. Die Nullhypothese kann für den NDI hinsichtlich des Faktors Zeit abgelehnt werden.

Eine ANOVA mit Messwiederholung für beide Gruppen getrennt bestätigt jeweils den signifikanten Zeiteffekt. Dieser ist in Gruppe eins (biomech. BFB) mit einem Eta-Quadrat-Wert von ,53 sehr stark. Dasselbe gilt für Gruppe zwei (psychophys. BFB), in welcher der Eta-Quadrat-Wert mit ,43 ebenfalls einen sehr starken Effekt anzeigt.

In beiden Gruppen zeigt sich kein signifikanter Effekt von T4 zu T5, d.h. von letzter Intervention zu Follow-Up-Messung.

### 3.3 Ergebnisse Patient-Health-Questionnaire 9; Entwicklung, statistische Signifikanz

#### 3.3.1 Mann-Whitney-U-Test

In selber Struktur wie für den NDI werden jetzt die Veränderungen der Gesamtscores in beiden Gruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten des PHQ-9 berechnet. Auch hier werden dazu Variablen definiert, diese entsprechen denen zur Verlaufsbeschreibung des NDI-definierten Variablen: Die Differenz des Gesamtscores von T5 zu T1 (benannt mit Diff\_PHQT5T1), die Differenz des Gesamtscores von T4 zu T1 (benannt mit Diff\_PHQT4T1) sowie die Differenz des Gesamtscores von T5 zu T4 (benannt mit Diff\_PHQT5T4).

Die genannten drei Variablen werden folgend wieder mit Mittelwert, Minimum, Maximum und Standardabweichung dargestellt.

Tabelle 21: Darstellung der Entwicklung der Ergebnisse des PHQ-9 von T1 zu T5, T1 zu T4, T4 zu T5

	Gruppe							
	1				2			
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung
DIFF_PHQT5T1	-1,89	3	-8	3,05	-2,69	4	-11	4,66
DIFF_PHQT4T1	-1,72	1	-7	2,32	-2,8	3	-9	3,38
DIFF_PHQT5T4	-0,17	4	-7	2,46	0	6	-4	2,62

Folgend die Beschreibung der durch Tabelle 21 vorliegenden Ergebnisse: In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt sich zwischen T1 und T5 eine Reduktion des Skalensummenwerts um 1,89 Punkte (SD = 3,05), in Gruppe zwei für denselben Zeitraum um 2,69 Punkte (SD = 4,66). Für den Zeitraum zwischen T1 und T4 zeigt sich in Gruppe eins (biomech. BFB) eine Reduktion des Skalensummenwerts von 1,72 Punkten (SD = 2,32), in Gruppe zwei (psychophys. BFB) von 2,80 Punkten (SD = 3,38). Für den letzten Zeitraum, den von T4 zu T5, zeigt sich in Gruppe eins (biomech. BFB) eine weitere Reduktion des Skalensummenwerts von 0,17 Punkten (SD = 2,46), in Gruppe zwei (psychophys. BFB) findet an gleicher Stelle keine weitere Veränderung im Skalensummenwert (SD = 2,62) statt. Da eine Definition des MCIC im Skalensummenscore für den PHQ-9 fehlt, kann eine nähere Betrachtung der Einzelwerte auf Relevanz nicht vorgenommen werden.

Mittels Mann-Whitney-U-Test erfolgt auch hier eine Prüfung der Unterschiede zwischen beiden Gruppen auf Signifikanz, mit folgenden Ergebnissen: Bezüglich der Veränderung zwischen T1 und T5 konnte keine signifikante Veränderung festgestellt werden (U = 134; p = ,738). Auch die Veränderungen von T1 zu T4 (U = 105; p = ,290) sowie T4 und T5 (U = 131; p = ,893) konnten statistisch nicht bestätigt werden.

#### 3.3.2 ANOVA Messwiederholung PHQ-9, Gruppen gemeinsam

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität zwischen den drei Messzeitpunkten festgestellt werden (p = ,006). Daher wird für die Beurteilung der

Innersubjektfaktoren die Greenhouse-Geisser-Korrektur der Freiheitsgrade (df) angewendet.

Eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte einen signifikanten Zeiteffekt,  $F(1,54; 46,21) = 14,26$ ,  $p < ,001$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,33 und zeigt damit einen starken Effekt an.

Hinsichtlich des Faktors Gruppe konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen nachgewiesen werden  $F(1; 30) = 2,44$ ,  $p = ,129$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,08 und zeigt damit einen mittleren Effekt an.

Bezüglich der Interaktion Gruppe\*Zeit, also dem zeitlichen Verlauf zwischen den beiden Gruppen ergibt sich mit  $F(1,54; 46,21) = 1,17$ ,  $p = ,309$  kein signifikanter Effekt. Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,04 und zeigt damit einen geringen Effekt an. Zum besseren Verständnis dient die folgende Abbildung .

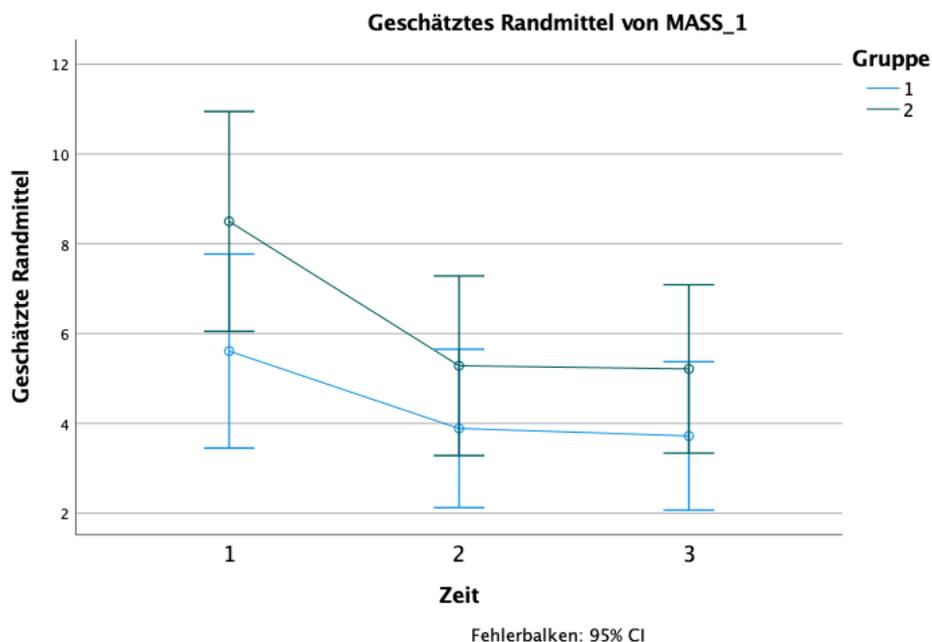


Abbildung 27: Profilplot PHQ-9 Messwiederholung zu T1, T4 und T5 im Gruppenvergleich ( $n = 34$ ) (CI = Konfidenzintervall)

Die Nullhypothese kann für den PHQ-9 hinsichtlich des Faktors Zeit abgelehnt werden.

### 3.3.3 ANOVA Messwiederholung PHQ-9, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität nicht nachgewiesen werden ( $p = ,353$ ). Bei Gruppe eins (biomech. BFB) konnte eine zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(2; 34) = 5,71$ ;  $p = ,07$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,25 und zeigt einen starken Effekt an.

In den Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Korrektur lassen sich signifikante Unterschiede zwischen Zeitpunkt T1 und T4 (Mittelwertsdifferenz = 1,72, 95% KI [0,27; 3,17];  $p = ,018$ )

nicht jedoch zwischen T1 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 1,89, 95% KI [-0,02; 3,80];  $p = ,053$ ) nachweisen, sowie nicht zwischen T4 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 0,17, 95% KI [-1,37; 1,70];  $p > ,999$ ).

### 3.3.4 ANOVA Messwiederholung PHQ-9, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität nachgewiesen werden ( $p = ,019$ ), weshalb eine Greenhouse-Geisser-Korrektur vorgenommen wird. Bei Gruppe zwei (psychophys. BFB) konnte ein zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(1,35; 17,53) = 7,75$ ;  $p = ,008$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,37 und zeigt einen starken Effekt an.

In den Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Korrektur lassen sich signifikante Unterschiede zwischen Zeitpunkt T1 und T4 (Mittelwertsdifferenz = 3,21, 95% KI [0,04; 5,49];  $p = ,006$ ) nachweisen, nicht jedoch zwischen T1 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 3,29, 95% KI [-0,11; 6,69];  $p = ,060$ ) und zwischen T4 und T5 (Mittelwertsdifferenz = 0,07, 95% KI [-1,89; 2,03];  $p > ,999$ ).

### 3.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse des PHQ-9

In beiden Gruppen zeigt sich von T1 zu T5 sowie von T1 zu T4 eine Verbesserung der Skalensummenwerte. Diese fallen in Gruppe zwei (psychophys. BFB) größer aus als in Gruppe eins (biomech. BFB). In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt sich auch von T4 zu T5 eine geringe Verbesserung, in Gruppe zwei (psychophys. BFB) bleibt dieser Messzeitraum ohne Veränderung.

In der Prüfung dahingehend, ob die Unterschiede in den Verläufen zwischen Gruppe eins (biomech. BFB) und zwei (psychophys. BFB) signifikant sind zeigt sich, dass keine signifikanten Gruppenunterschiede bestehen. Folglich kann auch hier die Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

Hinsichtlich des Faktors Zeit zeigt eine ANOVA mit Messwiederholung für beide Gruppen auch im PHQ-9 einen signifikanten Zeiteffekt. Dieser ist mit einem Eta-Quadrat-Wert von ,33 als stark zu definieren. Die Nullhypothese kann für den PHQ-9 hinsichtlich des Faktors Zeit abgelehnt werden.

Eine ANOVA mit Messwiederholung für beide Gruppen getrennt bestätigt jeweils den signifikanten Zeiteffekt. Dieser ist in Gruppe eins (biomech. BFB) mit einem Eta-Quadrat-Wert von ,25 stark. Dasselbe gilt für Gruppe zwei (psychophys. BFB), in welcher der Eta-Quadrat-Wert mit ,37 ebenfalls einen starken Effekt anzeigt.

In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt sich kein signifikanter Zeiteffekt von T1 zur Follow-Up-Messung (T5). Dieser Zeitraum wird in Gruppe zwei (psychophys. BFB) signifikant, jedoch bleibt dort ein signifikanter Zeiteffekt für den Zeitraum T4 zur Follow-Up-Messung (T5).

### 3.4 Ruhetonus M. Trapezius links und rechts; Entwicklung, statistische Signifikanz

#### 3.4.1 Mann-Whitney-U-Test

Zuletzt werden nun die Veränderungen der Gesamtscores in beiden Gruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten des Ruhetonus berechnet. Obwohl der RT links und rechts zu T1, T2, T3, T4 und T5 gemessen wurde, werden hier dieselben Variablen zur Verlaufsbeschreibung wie in der des NDI und PHQ-9 definiert. Es entsteht also für den Entwicklungszeitraum von T1 zu T5 die Variable Diff\_RTLT5T1 für die linke sowie Diff\_RTRT5T1 für die rechte Seite. Für den Entwicklungszeitraum T1 zu T4 werden die Variablen Diff\_RTLT4T1 und Diff\_RTRT4T1 erneut für linke und rechte Seite bestimmt. Zuletzt für den Entwicklungszeitraum von T4 zu T5 die Variable Diff\_RTLT5T4 für die linke sowie Diff\_RTRT5T4 für die rechte Seite. Es entsteht die folgende Übersicht zu Mittelwerten, Minimum, Maximum und Standardabweichung:

*Tabelle 22: Darstellung der Entwicklung der Ergebnisse des RT links und rechts von T1 zu T5, T1 zu T4, T4 zu T5*

	Gruppe							
	1				2			
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung
DIFF_RTLT5T1	-0,02	3,79	-6,23	2,14	-8,54	25,14	-132,32	34,24
DIFF_RTRT5T1	-0,67	9,82	-14,95	5,97	-1,47	22,21	-19,15	8,64
DIFF_RTLT4T1	-0,14	5,25	-5,59	2,37	-11,45	8,42	-130,79	33,97
DIFF_RTRT4T1	-1,3	2,98	-15,18	4,3	-3,82	4,42	-17,97	6,59
DIFF_RTLT5T4	0,12	3,93	-6,62	2,12	2,17	27,77	-6,83	7,75
DIFF_RTRT5T4	0,63	11,23	-6,54	3,78	2,49	21,48	-3,36	5,79

Folgende Ergebnisse können beschrieben werden: In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt sich zwischen T1 und T5 für die linke Körperhälfte eine Reduktion des Mittelwertes um 0,02  $\mu\text{V}$  (SD = 2,14) für die rechte Körperhälfte in derselben Gruppe und demselben Messzeitraum eine Reduktion um 0,67 $\mu\text{V}$  (SD = 5,97). In Gruppe zwei (psychophys. BFB) ist für denselben Zeitraum für die linke Körperhälfte eine Reduktion um 8,54 $\mu\text{V}$  (SD = 34,24), für die rechte Körperhälfte eine Reduktion um 1,47 $\mu\text{V}$  (SD = 8,64) festzustellen. Für den Zeitraum zwischen T1 und T4 zeigt sich in Gruppe eins (biomech. BFB) für die linke Körperhälfte eine Reduktion um 0,14 $\mu\text{V}$  (SD = 2,37), für die rechte Körperhälfte um 1,3 $\mu\text{V}$  (SD = 4,3). In Gruppe zwei (psychophys. BFB) beträgt für den Zeitraum T1 zu T4 für die linke Körperhälfte die Reduktion 11,45 $\mu\text{V}$  (SD = 33,97), für die rechte Körperhälfte 3,82 $\mu\text{V}$  (SD = 6,59). Zuletzt wird der Zeitraum T4 zu T5 für beide Gruppen und Körperseiten betrachtet. Hier zeigt sich in Gruppe eins (biomech. BFB) eine Zunahme von 0,12 $\mu\text{V}$  (SD = 2,12) auf der linken, eine Zunahme um 0,63 $\mu\text{V}$  (SD = 3,78) auf der rechten Körperhälfte. In Gruppe zwei (psychophys. BFB) ergibt sich linksseitig eine Zunahme um 2,17 $\mu\text{V}$  (SD = 7,75), rechtsseitig um 2,49 $\mu\text{V}$  (SD = 5,79).

Wiederum findet eine Prüfung der Ergebnisse auf signifikante Gruppenunterschiede statt: Es kann für den Messzeitraum T1 zu T5 linksseitig kein signifikanter Gruppenunterschied ( $U = 135$ ;  $p = ,772$ ) festgestellt werden, genauso ist rechtsseitig für denselben Messzeitraum kein signifikanter Gruppenunterschied darstellbar ( $U = 116$ ;  $p = ,347$ ). Für

den Messzeitraum T1 zu T4 zeigt sich linksseitig kein signifikanter Gruppenunterschied ( $U = 83$ ;  $p = ,060$ ), rechtsseitig ebenfalls kein signifikanter Gruppenunterschied ( $U = 101$ ;  $p = ,229$ ). Zuletzt wird die potenzielle Signifikanz im Gruppenunterschied für den Messzeitraum T4 zu T5 betrachtet. Hier zeigt sich ebenfalls weder linksseitig ( $U = 134$ ;  $p = ,971$ ) noch rechtsseitig ( $U = 116$ ;  $p = ,509$ ) ein signifikanter Gruppenunterschied.

Auch für den Ruhetonus kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

### 3.4.2 ANOVA Messwiederholung Ruhetonus links, Gruppen gemeinsam

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität zwischen den drei Messzeitpunkten festgestellt werden ( $p < ,001$ ). Daher wird für die Beurteilung der Innersubjekt Faktoren die Greenhouse-Geisser-Korrektur der Freiheitsgrade (df) angewendet.

Eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte keinen signifikanten Zeiteffekt,  $F(1,08; 33,48) = 1,65$ ,  $p = ,209$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,05 und zeigt damit einen geringen Effekt an.

Hinsichtlich des Faktors Gruppe konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen nachgewiesen werden  $F(1;31) = 3,95$ ,  $p = ,056$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,11 und zeigt damit einen mittleren Effekt an.

Bezüglich der Interaktion Gruppe\*Zeit, also dem zeitlichen Verlauf zwischen den beiden Gruppen ergibt sich mit  $F(1,08; 33,48) = 1,59$ ,  $p = ,218$  kein signifikanter Effekt. Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,05 und zeigt damit einen geringen Effekt an. Zum besseren Verständnis dient die folgende Abbildung.

Die Alternativhypothese kann für den RT-L hinsichtlich des Faktors Zeit oder Gruppe nicht bestätigt werden.

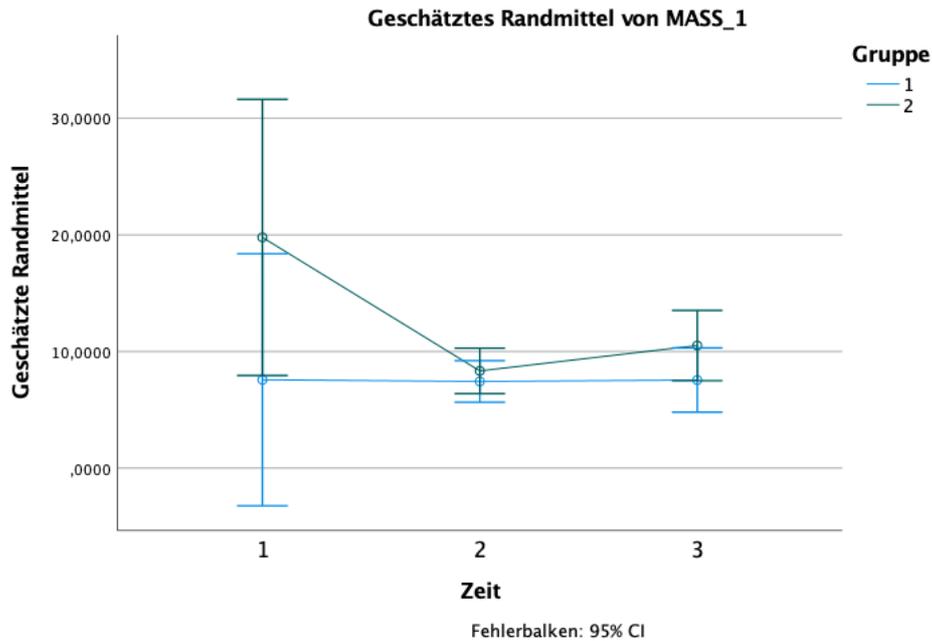


Abbildung 28: Profplot RT-L Messwiederholung zu T1, T4 und T5 im Gruppenvergleich (n = 34) (CI = Konfidenzintervall)

### 3.4.3 ANOVA Messwiederholung Ruhetonus rechts, Gruppen gemeinsam

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität zwischen den drei Messzeitpunkten festgestellt werden ( $p = ,005$ ). Daher wird für die Beurteilung der Innersubjekt Faktoren die Greenhouse-Geisser-Korrektur der Freiheitsgrade (df) angewendet.

Eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte keinen signifikanten Zeiteffekt,  $F(1,54; 47,63) = 3,02$ ,  $p = ,071$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,09 und zeigt damit einen mittleren Effekt an.

Hinsichtlich des Faktors Gruppe konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen nachgewiesen werden  $F(1;31) = ,18$ ,  $p = ,056$ . Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,01 und zeigt damit einen geringen Effekt an.

Bezüglich der Interaktion Gruppe\*Zeit, also dem zeitlichen Verlauf zwischen den beiden Gruppen ergibt sich mit  $F(1,54; 47,63) = 0,78$ ,  $p = ,435$  kein signifikanter Effekt. Der Eta-Quadrat-Wert lag bei ,02 und zeigt damit einen geringen Effekt an. Zum besseren Verständnis dient die folgende Abbildung.

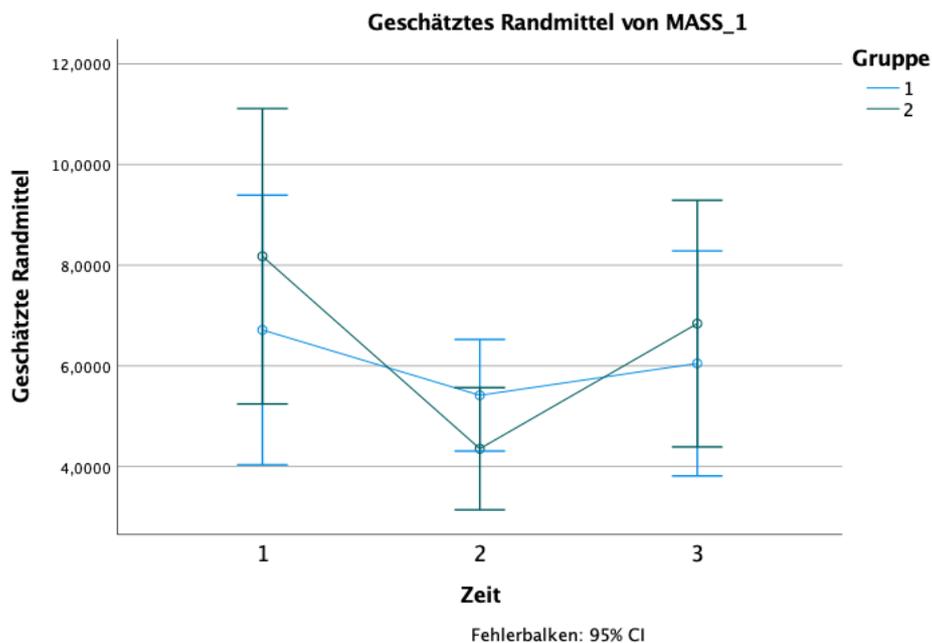


Abbildung 29: Profplot RT-R Messwiederholung zu T1, T4 und T5 im Gruppenvergleich (n = 34 (CI = Konfidenzintervall))

Die Alternativhypothese kann für den RT-R hinsichtlich des Faktors Zeit oder Gruppe nicht bestätigt werden.

### 3.4.4 ANOVA Messwiederholung Ruhetonus links, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität nicht nachgewiesen werden ( $p = ,847$ ). Bei Gruppe eins (biomech. BFB) konnte kein zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(2; 34) = 0,05$ ;  $p = ,956$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,00 und zeigt keinen Effekt an.

Aufgrund des nicht-signifikanten Zeitfaktors wurden keine Post-hoc-Tests zwischen den einzelnen Zeitpunkten durchgeführt.

### 3.4.5 ANOVA Messwiederholung Ruhetonus links, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität nachgewiesen werden ( $p < ,001$ ), weshalb eine Greenhouse-Geisser-Korrektur vorgenommen wird. Bei Gruppe zwei (psychophys. BFB) konnte kein zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(1,07; 15,03) = 1,35$ ;  $p = ,267$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,09 und zeigt einen mittleren Effekt an.

Aufgrund des nicht-signifikanten Zeitfaktors wurden keine Post-hoc-Tests zwischen den einzelnen Zeitpunkten durchgeführt.

### 3.4.6 ANOVA Messwiederholung Ruhetonus rechts, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly-Test konnte eine Verletzung der Sphärizität nachgewiesen werden ( $p = ,041$ ), weshalb eine Greenhouse-Geisser-Korrektur vorgenommen wird. Bei Gruppe eins (biomech. BFB) konnte kein zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(1,51; 25,59) = 0,67$ ;  $p = ,482$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,04 und zeigt einen geringen Effekt an.

Aufgrund des nicht-signifikanten Zeitfaktors wurden keine Post-hoc-Tests zwischen den einzelnen Zeitpunkten durchgeführt.

### 3.4.7 ANOVA Messwiederholung Ruhetonus rechts, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

Im Mauchly-Test konnte keine Verletzung der Sphärizität nachgewiesen werden ( $p = ,110$ ). Bei Gruppe zwei (psychophys. BFB) konnte kein zeitlicher Effekt in der zweifaktoriellen ANOVA nachgewiesen werden ( $F(2; 28) = 2,16$ ;  $p = ,134$ ). Das partielle Eta-Quadrat beträgt ,13 und zeigt einen geringen Effekt an.

Aufgrund des nicht-signifikanten Zeitfaktors wurden keine Post-hoc-Tests zwischen den einzelnen Zeitpunkten durchgeführt.

### 3.4.8 Zusammenfassung der Ergebnisse des Ruhetonus links und rechts

In beiden Gruppen zeigen sich Reduktionen des Ruhetonus beidseits im Verlauf von T1 zu T5 und im Verlauf von T1 zu T4. Ebenfalls zeigt sich in beiden Gruppen ein Anstieg des Ruhetonus beidseits im Verlauf von T4 zu T5. Es sind keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar.

Auch eine ANOVA mit Messwiederholung ergibt keinen signifikanten Gruppen-oder Zeitfaktor für den Ruhetonus beider Seiten.

## 3.5 Robustheitsanalyse

ANOVA erfordert normalverteilte Zielgrößen. Dies ist nicht bei allen o.g. Parameter der Fall (vgl. Kapitel deskriptive Analyse). Aus diesen Gründen wird abschließend eine Sensitivitätsanalyse mittels nichtparametrischen Testverfahren durchgeführt. Der Friedmann Test wird alternativ zur ANOVA mit Messwiederholungen verwendet. Im Falle signifikanter Unterschiede werden post-hoc Test mit dem Wilcoxon Test durchgeführt unter Anwendung der Bonferroni-Korrektur für multiples Testen.

### 3.5.1 Robustheitsanalyse NDI, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt der NDI im Friedmann-Test einen signifikanten Zeiteffekt ( $\chi^2(2) = 15,67$ ,  $p < ,001$ ), mit den Post-hoc-Tests lassen sich signifikante

Unterschiede zwischen T1 und T4 ( $Z = -3,15$ ;  $p < ,001$ ) sowie T1 und T5 ( $Z = -3,30$ ;  $p < ,001$ ) nachweisen, nicht jedoch zwischen T4 und T5 ( $Z = -1,47$ ;  $p = ,148 > ,016$  (Bonferroni-Signifikanzschwelle)). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA.

### 3.5.2 Robustheitsanalyse NDI, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe zwei (psychophys. BFB) zeigt der NDI im Friedmann-Test einen signifikanten Zeiteffekt ( $c^2(2) = 10,38$ ,  $p = ,006$ ), mit den Post-hoc-Tests lassen sich signifikante Unterschiede zwischen T1 und T4 ( $Z = -2,74$ ;  $p = ,004$ ) sowie T1 und T5 ( $Z = -2,93$ ;  $p = ,002$ ) nachweisen, nicht jedoch zwischen T4 und T5 ( $Z = -1,18$ ;  $p = ,258 > ,016$  (Bonferroni-Signifikanzschwelle)). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA.

### 3.5.3 Robustheitsanalyse PHQ-9, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt der PHQ-9 im Friedmann-Test einen signifikanten Zeiteffekt ( $c^2(2) = 7,63$ ,  $p = ,021$ ), mit den Post-hoc-Tests lassen sich signifikante Unterschiede zwischen T1 und T4 ( $Z = -2,72$ ;  $p = ,005$ ) nachweisen, nicht jedoch zwischen T1 und T5 ( $Z = -2,17$ ;  $p = ,029 > ,016$  (Bonferroni-Signifikanzschwelle)) sowie zwischen T4 und T5 ( $Z = -0,06$ ;  $p = ,480 > ,016$  (Bonferroni-Signifikanzschwelle)). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA, allerdings ist der Unterschied von T1 zu T5 mit nichtparametrischen Methoden nicht mehr nachweisbar.

### 3.5.4 Robustheitsanalyse PHQ-9, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe zwei (psychophys. BFB) zeigt der PHQ-9 einen signifikanten Zeiteffekt ( $c^2(2) = 11,06$ ,  $p = ,003$ ), mit den Post-hoc-Tests lassen sich signifikante Unterschiede zwischen T1 und T4 ( $Z = -2,88$ ;  $p = ,002$ ) nachweisen, nicht jedoch zwischen T1 und T5 ( $Z = -2,27$ ;  $p = ,020 > ,016$ ) sowie zwischen T4 und T5 ( $Z = -0,27$ ;  $p = ,821 > ,016$  (Bonferroni-Signifikanzschwelle)). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA, allerdings ist der Unterschied von T1 zu T5 mit nichtparametrischen Methoden nicht mehr nachweisbar.

### 3.5.5 Robustheitsanalyse RT-L, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt RT-Lim Friedmann-Test keinen signifikanten Zeiteffekt ( $c^2(2) = 0,11$ ,  $p = ,985$ ). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA.

### 3.5.6 Robustheitsanalyse RT-L, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe zwei (psychophys. BFB) zeigt RT-L im Friedmann-Test keinen signifikanten Zeiteffekt ( $c^2(2) = 0,93$ ,  $p = ,711$ ). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA.

### 3.5.7 Robustheitsanalyse RT-R, Gruppe eins (biomechanisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe eins (biomech. BFB) zeigt RT-R im Friedmann-Test keinen signifikanten Zeiteffekt ( $\chi^2(2) = 0,44$ ,  $p = ,824$ ). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA.

### 3.5.8 Robustheitsanalyse RT-R, Gruppe zwei (psychophysiologisch orientiertes Biofeedback)

In Gruppe zwei (psychophys. BFB) zeigt RT-R im Friedmann-Test keinen signifikanten Zeiteffekt ( $\chi^2(2) = 5,73$ ,  $p = ,060$ ). Das Ergebnis entspricht dem Ergebnis der ANOVA.

### 3.5.9 Zusammenfassung Ergebnisse Robustheitsanalyse

Die Ergebnisse der Robustheitsanalyse bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse der vorhergegangenen Messwiederholung. Abweichungen zwischen den Ergebnissen können durch die geringere Teststärke der in der Robustheitsanalyse angewandten nicht parametrischen Methoden begründet werden.

## 3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse gesamt

Abschließend zu diesem Kapitel sollen die wichtigsten Ergebnisse aller Messparameter kurz und in einfachen Worten wiedergegeben werden.

Im NDI wird durch beide Prüftherapien ein signifikanter Effekt über die Zeit sichtbar. Dies vor allem von T1 zu T4 sowie von T1 zu T5, nicht mehr jedoch von T4 zu T5. Das biomechanisch orientierte Biofeedbacktraining hat eine höhere Effektstärke, als das psychophysiologisch orientierte Biofeedbacktraining. Jedoch sind in beiden Gruppen die Effekte als „sehr stark“ zu definieren. Der vorhandene Unterschied ist nicht signifikant und kann höchstens Trends aufzeigen.

Auch im PHQ-9 zeigt sich durch beide Prüftherapien ein signifikanter Effekt über die Zeit. Dies in Gruppe eins (biomech. BFB) wieder vor allem von T1 zu T4 sowie von T1 zu T5. In Gruppe zwei (psychophys. BFB) zeigt sich auch eine geringe Veränderung von T4 zu T5. Das biomechanisch orientierte Biofeedbacktraining hat eine geringere Effektstärke hinsichtlich des PHQ-9 als das psychophysiologisch orientierte Biofeedbacktraining, dennoch sind beide Effekte als „stark“ zu definieren. Aus diesem Grund kann hier wieder nur ein Trend aufgezeigt werden.

In beiden Gruppen zeigen sich Reduktionen des Ruhetonus beidseits im Verlauf von T1 zu T5 und im Verlauf von T1 zu T4. Ebenfalls zeigt sich in beiden Gruppen ein Anstieg des Ruhetonus beidseits im Verlauf von T4 zu T5. Es sind keine signifikanten Gruppenunterschiede nachweisbar.

Hinsichtlich der primären Zielgröße, der „schmerzabhängigen Funktionalität“, gemessen durch den NDI, kann die Nullhypothese „es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen

der Intervention des konventionellen Biofeedbacks und des manualisierten EMG-Biofeedbacks“ nicht abgelehnt werden.

## 4 Diskussion

### 4.1 Methodische Diskussion

#### 4.1.1 Einflussfaktoren und Limitationen

Zur Diskussion der Methode soll zunächst der Blick auf potenzielle Einflussfaktoren (Bias) und den Umgang mit diesen gelenkt werden.

An erster Stelle ist kritisch zu vermerken, dass die Leitung der Studie, die Durchführung der Prüftherapien sowie die Auswertung und Interpretation der Daten durch ein und dieselbe Person durchgeführt wurde. Hieraus ergeben sich verschiedene Probleme: Ein „social Bias“, also eine Beeinflussung des Verhaltens der Probanden durch soziale Erwünschtheit, könnte v.a. innerhalb der Beantwortung der Fragebögen auftreten. Dieser Möglichkeit wurde begegnet, indem das Ausfüllen der Fragebögen jeweils vor dem Termin (T1) bzw. danach (T4 und T5) in einem separaten Raum stattfand. Die Unterlagen wurden hiernach vom jeweiligen Probanden im Rahmen des Praxisbetriebes abgegeben und von einer dritten Person per ID pseudonymisiert.

Ein Selektionsbias ist durch die Gewinnung von Probanden über benachbarte Hausärzte zu vermuten. Außerdem ist hier zu bedenken, dass nur an der Studie interessierte Personen überhaupt eine Kontaktaufnahme zur Teilnahme an der Studie vorgenommen haben. Auch dies stellt eine mögliche Selektionsbias dar, die in der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Weiterhin ergibt sich durch den Umstand der verschiedenen durch eine Person erfüllten Rollen eine Abweichung in der Verblindung. Hierzu ist vorweg zu betonen, dass die Probanden jederzeit verblindet waren und nicht über ihre Gruppenzuteilung informiert wurden. Die Studienleitung war in der Auswertung der Daten durch oben beschriebene Pseudonymisierung verblindet. Jegliche weitere Verwendung der Daten erfolgte ebenfalls unter Pseudonymisierung. Außerdem fand zwischen Erhebung der Daten und ihrer Auswertung eine Zeitversetzung statt, sodass selbst markante Ergebnisse nicht mehr erinner- und einem Probanden zuteilbar waren. Zuletzt wurde die Auswertung in Excel per Syntax standardisiert.

Um Fehler im Umgang mit den Daten zu vermeiden, wurde eine doppelte Dateneingabe vorgenommen, dies, indem die Ergebnisse eines Probanden zunächst handschriftlich in Form einer probandenbezogenen Übersicht festgehalten wurden bevor ein Übertrag in Excel bzw. SPSS erfolgte. Jede weitere Verarbeitung erfolgte standardisiert per Syntax.

Die beschriebenen Vorgänge wurden über beide Gruppen gleich vorgenommen, sodass eine Ergebnisverschiebung zugunsten einer Gruppe ausgeschlossen werden kann.

Neben den beschriebenen Limitationen wird eine wesentliche Limitation der Untersuchung durch die geringe Gruppengröße dargestellt. Diese bedingt, dass die ermittelten Ergebnisse mehr im Sinne einer orientierenden Testung zu interpretieren sind.

Dieser Umstand wird durch teilweise unvollständige Daten verstärkt, durch welche einzelne Datensätze in verschiedenen statistischen Testverfahren exkludiert wurden. Die minimale Gruppengröße lag hier bei  $n = 33$ . Innerhalb der gruppenweisen Durchführung der ANOVA mit Messwiederholung wurde eine weitere Reduktion der Gruppengröße akzeptiert. Die sich daraufhin ergebenden Resultate sind entsprechend kritisch zu betrachten.

Weiterhin als mögliche Limitation zu benennen ist die unklare Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedlich gut ausgeprägte kognitive Fähigkeiten der jeweiligen Probanden. Es handelt sich bei den untersuchten Prüftherapien um Methoden die ein bestimmtes Maß an Auffassungsgabe und Reflexionsfähigkeit des eigenen Empfindens und Verhaltens voraussetzt. Bei beidem handelt es sich um Fähigkeiten die unterschiedlich stark ausgeprägt sein können. Es ist demnach denkbar, dass eine Verzerrung der Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Fähigkeiten in der Anwendung der Methoden entstand. In ähnlicher Weise könnte auch der Faktor des Alters oder des Geschlechts der Probanden gewirkt haben. Beides wurde nicht in die statistischen Analysen mit aufgenommen, die entsprechenden Ergebnisbeeinflussungen können demnach nicht nachvollzogen werden.

Als letzter verzerrender Faktor ist die therapeutische Beziehung zu nennen. Sie ist bei Untersuchungen dieser Art nie, weder als positiver noch als negativer Einflussfaktor auszuschließen. Um diesen Effekt zu reduzieren, wurden die Prüftherapien einem Standardisierungsprozess unterzogen. An diesen wurde sich während der Durchführung der Prüftherapien strikt gehalten. Es fand keine über den definierten Inhalt hinausgehende, Reaktion der durchführenden Therapeutin auf für den jeweiligen Probanden individuelle Bedürfnisse oder Befundfaktoren statt. Auch wurde versucht Gespräche zu vermeiden, die außerhalb der notwendigen Kommunikation stattfinden. Dennoch ist davon auszugehen, dass eine therapeutische Beziehung mit für die Ergebnisse bedeutungsvoller Wirkung, entstanden ist. Dies soll im Verlauf dieses Kapitels vertieft werden.

#### 4.1.2 Validität der Elektromyografischen Untersuchung

Weiterhin muss das zur Darstellung des Ruhetonus gewählte Messinstrument genauer analysiert werden: Elektromyografische Messungen als Möglichkeit zur Darstellung von muskulärer Arbeit sind differenziert zu betrachten. Dies begründet sich zunächst auf der grundsätzlichen Technik der Elektromyografie, deren Validität und Reliabilität als Messverfahren für Muskelarbeit anfällig ist. Um dies zu verdeutlichen soll zunächst beschrieben werden, wie das EMG-Signal zustande kommt: Durch die motorische Einheit, bestehend aus dem Zellkörper des Rückenmark-Vorderhorns, welches Alpha-Motoneuron genannt wird, seinem Axon, den motorischen Endplatten und den durch diese erfassten Muskelfasern wird reflektorisch oder willkürlich ein Signal über das Axon zur motorischen Endplatte geleitet. Dort verursacht es eine Ausschüttung von Acetylcholin, welches an Acetylcholinrezeptoren bindet. Es entsteht ein Endplattenpotenzial an der Muskelfasermembran, welches die Diffusionseigenschaften der Membran modifiziert. Während der intrazelluläre Raum im Ruhepotenzial mit ca.  $-80$  Mikrovolt (mV) negativ gepolt ist, kommt es durch Diffusion zum Einströmen von Natrium-Ionen in eben jenen Bereich, wodurch dieser mit ca.  $+30$  mV vorübergehend positiv wird. Dieser Zeitraum wird als Depolarisation bezeichnet. Direkt nach der Depolarisation folgt die Repolarisation, was einen direkten Ionen-Rückstrom und somit erneut einen negativ gepolten intrazellulären Raum bedeutet. Abschließend entsteht eine kurze Phase, in der keine Erregbarkeit vorliegt

und die als Hyperpolarisation benannt wird. Dieser elektrische Vorgang wird zusammengefasst als Aktionspotenzial bezeichnet.

Durch das Aktionspotenzial kommt es nun zur Ausschüttung von Calcium-Ionen aus dem sarkoplasmatischen Retikulum, welche an Troponin und Tropomyosin binden und somit die Freisetzung der Bindungsstellen auf den Aktinfilamenten zur Bindung an Myosin freigeben. Durch die entstandene Bindung können die Myosin-Köpfchen umklappen und ein Zusammenziehen der Z-Scheiben bewirken. Es kommt zur Verkürzung (Kontraktion) der Muskelfaser. Dieser Vorgang entspricht einer elektromechanischen Kopplung.

Der immer wiederkehrende Prozess aus Depolarisation, Repolarisation und Hyperpolarisation formt eine Welle, die sich entlang der Muskelfasern eines einzelnen Muskels fortsetzt. Die Depolarisationszone, welche in etwa eine Größe von 1 bis 3 mm<sup>2</sup> hat, setzt sich hierdurch in einer Geschwindigkeit von ca. zwei bis sechs Meter pro Sekunde (m/s) fort und passiert hierbei die Elektroden-Ableitfläche.

Da ein durch die Elektromyografie in seiner Aktivität dargestellter Muskel aus mehreren motorischen Einheiten besteht, entsteht automatisch eine Überlagerung der durch das Signal dargestellten Aktionspotenziale. Dieses aus Überlagerungen bestehende Signal, das eigentliche Signal, wird Interferenzsignal genannt. Für die hier besprochene Untersuchung wurde nach dem in den Methoden beschriebenen System aus dem Interferenzsignal ein Durchschnittwert berechnet. Er stellt das betrachtete Aktivierungsniveau dar.

Es wird also deutlich, dass die, als letztendliches EMG-Signal aufgezeichnete elektrische Entladung abhängig von der strukturellen Situation der Muskelfaseranteile, dann aber auch vor allem von der Weiterleitung des Aktionspotenzials ist (Mesin, 2020).

Es handelt sich also um eine momentane Aktivierung des Muskels, nicht aber um einen grundsätzlichen Zustand des Muskels.

Um die hierdurch möglicherweise entstehenden Verzerrungen des Ergebnisses der Messung „Ruhetonus“ zu minimieren, wurde ein Messzeitraum von zehn Sekunden gewählt. Über diesen wurde dann der Mittelwert gebildet, sodass das Gewicht möglicher Einflussmomente reduziert wird (Lee et al., 2016). Dennoch müssen die durch die Messung des Ruhetonus erhobenen Daten kritisch betrachtet und mehr als grobe Orientierung zur aktuellen, weniger zur grundsätzlichen Situation des untersuchten Muskels gewertet werden.

Um weitere das Ergebnis beeinflussende Faktoren weitestgehend zu minimieren, wurde das Messverfahren standardisiert, bspw. durch Wahl der immer selben Sitzgelegenheit, durch immer dasselbe Blickfeld des Probanden, durch immer dieselben Anweisungen der durchführenden Person. Mögliche, das Ergebnis der Messungen verzerrende „Crosstalk-Phänomene“ sollten innerhalb des hier verwendeten Untersuchungsvorgangs ebenfalls reduziert sein. Diese spielen eine wesentliche Rolle in der elektromyografischen Darstellung von Koordinationsfähigkeiten, innerhalb von Ganganalysen oder der Analyse von Reflexen (Hug, 2011) (Barr et al., 2010) (Mezzarane & Kohn, 2009).

Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass hier Verzerrungen des Ergebnisses auftreten.

#### 4.1.3 Voruntersuchungen und Gestaltung der Prüftherapien

Weiterhin kritisch betrachtet werden muss die Tatsache der fehlenden Berücksichtigung anderer mit Schulter-Nacken-Schmerzen in Verbindung zu bringender, Haltungsmuster als das der gekrümmten Haltung.

Hier zu nennen ist die Hypokyphose der thorakalen Wirbelsäule, also die reduzierte, statt verstärkte Krümmung. Da diese eine Rückverlagerung des Lots bedeutet, geht auch sie u.U. mit einer Verlagerung des Kopfes nach ventral einher, dies im Sinne einer Gleichgewichtsreaktion. Das Ergebnis für den M. trapezius pars descendens ist demnach häufig dasselbe wie bei einer Hyperkyphose, nämlich eine Steigerung des Aktivitätsniveaus des M. trapezius pars descendens. Hier kommt jedoch eine ebensolche für den M. trapezius pars ascendens hinzu (Zepa et al., 2000). Folglich kann das Training einer korrekten Haltung in diesem Fall nicht das Ziel einer Aktivitätssteigerung der die BWS aufrichtenden Muskulatur haben. Vielmehr müsste hier eine Deaktivierung derselben stattfinden, sodass Halswirbelsäule und Kopf ihre korrekte, mit physiologischer Muskelarbeit einhergehende Position finden können.

Obwohl innerhalb des biomechanisch orientierten EMG-Biofeedbacktrainings eine spezifische Haltungskorrektur vorgenommen wurde, fand vorab keine individuelle Haltungsanalyse statt. Vielmehr wurde davon ausgegangen, dass diejenigen, die laut beschriebener Einschlusskriterien unter chronischen und unspezifischen Schulter-Nacken-Schmerzen leiden eine dem oberen gekreuzten Syndrom entsprechende Fehlhaltung zeigen.

Für die hier untersuchte Maßnahme des biomechanisch orientierten EMG-Biofeedbacktrainings ist davon auszugehen, dass daran auch Probanden mit einer tendenziellen Hypo- statt Hyperkyphose der thorakalen Wirbelsäule teilgenommen haben.

Weiterhin kritisch betrachtet werden muss das applizierte Trainingsvolumen. Ein strukturiertes Trainingsprogramm, welches eben die Kräftigung des M. trapezius pars ascendens besonders in den Fokus nimmt, wirkt als effektive Methode, um Dysfunktionen der Schulter-Nacken-Region zu reduzieren (Park & Lee, 2020). Für die Effektivität dessen hinsichtlich einer Zunahme der Funktionalität spielt das Trainingsvolumen, definiert als Menge und Dauer der Trainingseinheiten pro Woche, eine wesentliche Rolle. So sind bei weniger (ein bis dreimal pro Woche) Trainingseinheiten mit längerer Dauer (20-60 Minuten) bessere Ergebnisse zu erwarten als beispielsweise bei neun siebenminütigen Einheiten (Andersen et al., 2012). Neben der Dauer einer einzelnen Trainingseinheit scheint auch die Dauer des Trainings insgesamt von Bedeutung zu sein. So wird für Patienten die ein oberes gekreuztes Syndrom zeigen ein gesamtes Trainingsvolumen von drei Einheiten über mindestens acht Wochen empfohlen. Die Inhalte des Trainings sind hier ebenfalls neuromuskulär orientiert, zielen also auf die veränderte Fähigkeit ab, eine Haltung einzunehmen und zu kontrollieren (Bayattork et al., 2020). Von einer Übertragbarkeit dieser Aussage auf das hier untersuchte Setting kann also ausgegangen werden

Das durch das manualisierte EMG-Biofeedback vermittelte alltägliche Verändern der Aktivierung des M. trapezius pars ascendens entspricht durch seine hohe Frequenz demnach nicht einem strukturierten, aufbauenden Training. Vielmehr handelt es sich um ein verändertes, günstig wirkendes Selbstmanagement. Es fehlt hierdurch der Aufbau von Ressourcen, die auch über potenziell übungärmeren Zeitphasen tragen könnten, wie dies beispielsweise bei einem strukturierten Krafttraining der Fall ist. In der Folge verblassen die Effekte in dem Augenblick, in dem kein Üben mehr stattfindet. Es kann vermutet werden, dass die Probanden der hier vorgestellten Untersuchung bei ausbleibenden Trainingsterminen zwischen T4 und T5 die Frequenz der Alltagsveränderungen reduziert haben. Dies kann den in diesem Zeitraum geringen oder nicht mehr vorhandenen Zeiteffekt begründen.

## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

### 4.2.1 Interpretation der Ergebnisse des Neck-Disability-Index

Bei Bestätigung der Nullhypothese scheint für Patienten mit Schulter-Nacken-Schmerzen hinsichtlich des Behandlungserfolgs im Sinne einer schmerzabhängigen Funktionalität (gemessen durch den NDI) zunächst unerheblich zu sein, ob eine durch EMG-Biofeedbackverfahren unterstützte systematische Aufarbeitung von Haltungsfehlern stattfindet oder stattdessen eine ebenfalls per EMG-Biofeedbacktherapie vermittelte, größere psychovegetative Entspannungsfähigkeit. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Durch beide Methoden konnten jedoch im Zeitverlauf deutliche Effekte innerhalb des NDI dargestellt werden. Es kann also festgehalten werden, dass beide Verfahren auf schmerzabhängige Funktionalität positiv wirken können. Beide Verfahren zeigen die größten Effekte im Verlauf von T1 zu T4. Kein wesentlicher Effekt kann mehr in den Follow-Up-Messungen beschrieben werden.

Um sich einer Begründung hierfür zu nähern muss also gefragt werden, welche Elemente beider Behandlungsansätze Potenzial hatten, auf das vorhandene Schmerzgeschehen positiv zu wirken.

Pool et al. (2010), die sich mit der Frage auseinandersetzen, ob psychologische Faktoren als prognostische Indikatoren in der Entwicklung von Schulter-Nacken-Schmerzen dienen können, kommen zu dem Schluss, dass das Vorhandensein dieser der ausschlaggebende Faktor für die Frage ist, ob das Problem aus dem akuten in den chronischen Status wechselt. Weiterhin wird die Hypothese aufgestellt, dass psychologische Faktoren nicht nur den Verlauf von Schulter-Nacken-Schmerzen, sondern auch das Ergebnis verschiedener Behandlungsstrategien beeinflussen (Pool et al., 2010), wobei als Messinstrument für den benannten Verlauf ebenso wie innerhalb der hier diskutierten Ergebnisse der NDI herangezogen wurde. Vor dem Hintergrund der durch Pool et al. (2010) dargestellten Bedeutung psychologischer Faktoren für den Behandlungserfolg ist eine Hinwendung zu eben jenen Faktoren interessant.

Als entscheidend scheint vor allem der Faktor einer erhöhten sog. internen Schmerzkontrolle, welcher einen signifikanten Zusammenhang mit positiveren Messergebnissen im NDI nach zwölf Wochen Behandlungszeit zeigte. Dieses Ergebnis, kann durch Spinhoven et al. (2003) spezifiziert werden: Die Fähigkeit der internen

Schmerzkontrolle speist sich demnach v.a. aus den mit dem Schmerz in Verbindung stehenden Überzeugungen und Erwartungen. Letzteres meint konkret, ob die Auffassung vorhanden ist, die Schmerzen kontrollieren zu können, während der Begriff der „Überzeugungen“ die Auslegung der Schmerzen hinsichtlich ihrer Bedeutung und potenziellen Gefährlichkeit für die Gesundheit und das Leben des Betroffenen meint (Spinhoven, et al., 2003). Es lässt sich also ableiten, dass für den Erfolg der Behandlung von Schulter-Nacken-Schmerzen vor allem ausschlaggebend sein könnte, dass sie dem Patienten eine positive oder nicht bedrohliche Attribution des Schmerzerlebens sowie die Überzeugung, die Schmerzen kontrollieren zu können, sprich Selbstwirksamkeit, vermittelt. Ob dies gelingt oder nicht ist demnach scheinbar weniger von den direkten Inhalten der Intervention abhängig, also davon, ob diese biomechanisch oder psychophysiologisch ausgerichtet sind, als vielmehr davon, was auf der Metaebene kommuniziert wird.

Zur Beantwortung der Frage, wie eine Intervention eine Verbesserung der internen Schmerzkontrolle erreichen kann sind die Ergebnisse von Viljanen et al. (2003) von Bedeutung: Hier konnten im Vergleich der Behandlungsmethoden des Muskeltrainings, des Entspannungstrainings und dem Rat und Ansatz, sich allgemein mehr zu bewegen bei Patienten mit Schulter-Nacken-Schmerzen zwar ein positiver Zeiteffekt, jedoch kein signifikanter Gruppeneffekt für die funktionellen Fähigkeiten der Probanden nachgewiesen werden. Die schmerzabhängigen alltäglichen Fähigkeiten wurden hier mit einem selbst erstellten Fragenscore ermittelt, dieser scheint aber mit dem NDI inhaltlich vergleichbar zu sein. Dies gleicht in der Aussage des Ergebnisses sehr den durch diese Arbeit ermittelten Resultaten. Beiden Untersuchungen gemein ist, dass die betrachteten Methoden rein aktiv ausgerichtet waren. Es kann also weitergehend vermutet werden, dass die genannten positiv wirkenden Effekte der Selbstwirksamkeit und Einschätzbarkeit von Symptomen eher durch aktive als durch passive Behandlungsansätze erzielt werden können. An dieser Stelle muss erläutert werden, dass das Attribut „aktive“ hier nicht meint, ob eine Methode mit intensiven Bewegungen, beispielsweise Training, oder mit einer ruhigen körperlichen Situation, wie beispielsweise beim Entspannungstraining, verbunden ist. Vielmehr bedeutet Aktivität, dass der Betroffene selbst etwas tut, in Abgrenzung dazu, dass etwas „an ihm“ getan wird. Letzteres erfüllen beispielsweise Massagen oder die Manuelle Therapie. Diese Hypothese soll im Weiteren genauer untersucht werden.

Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen im NDI in der Behandlung von Schulter-Nacken-Schmerzen durch Manuelle Therapie in der Kontrollgruppe und Haltungsschulung in der Experimentalgruppe zeigt, dass sechs Monate nach Abschluss der Behandlung ein statistisch signifikanter Unterschied zugunsten der Haltungsschulung besteht (Pillastrini et al., 2016). Weiterhin zeigt ein Review zur Effektivität allgemeiner passiver Behandlungsansätze bei Schulter-Nacken-Schmerzen keine klinischen oder statistisch signifikanten Verbesserungen im NDI durch zervikale oder zervikothorakale Manipulationen oder Kinesiotape-Anlagen auf den Nackenextensoren über einen Zeitraum von sieben Tagen. Auch wenn Manipulationen zusätzlich zu einem aktiven Übungsprogramm appliziert wurden, konnte durch sie kein weiterer positiver Effekt im NDI ausgelöst werden. Lediglich bestimmte Massageformen konnten zwar Schmerzen (gemessen durch die Numeric Rating Scale, im Folgenden NRS) kurzfristig reduzieren, erbrachten aber ebenfalls keine weiteren Verbesserungen der Funktionalität, gemessen durch den NDI (Wong, et al., 2016).

Es kann also zusammengefasst werden, dass, im Sinne einer sich verbessernden Alltagsfunktionalität, entscheidend für den Erfolg einer Maßnahme bei Schulter-Nacken-Schmerzen zu sein scheint, dass diese dem Patienten Selbstwirksamkeit und die Fähigkeit

vermitteln die potenzielle Bedrohlichkeit der erlebten Symptome einzuordnen. Dies dient einer verbesserten internen Schmerzkontrolle. Die Erfahrung der Selbstwirksamkeit und die Fähigkeit der Einschätzbarkeit von Symptomen kann eher durch aktive, im Sinne von durch den Betroffenen selbst durchgeführte, als durch passive Maßnahmen hergestellt werden. Weiter soll die Frage diskutiert werden, durch welche konkreten Elemente einer aktiven Maßnahme die oben benannten Ziele erreicht werden können.

Ein Vergleich verschiedener potenziell Selbstwirksamkeit herstellender Methoden weist darauf hin, dass v.a. jene von hoher Effektivität sind, die Feedback über die individuelle Leistung integrieren. Dieses Feedback kann sich auf vergangene Leistungen oder auch Leistungen im Vergleich zu anderen beziehen. Beides ist mit hohen Leveln von Selbstwirksamkeit in Verbindung zu bringen (Williams & French, 2011). Obwohl das Element des Feedbacks zur Leistung im Vergleich zu anderen durch die hier geprüften Interventionen ausbleibt, ist dennoch das Feedback zu vergangenen Leistungen, aber auch zur aktuellen Leistung vorhanden. So zeigt sich im Verlauf einer, aber auch im Verlauf von einer zur anderen Sitzung eine Veränderung des die Aktivität der Muskulatur spiegelnden Balkendiagrammes. Weiterhin macht der Patient die Erfahrung einer zunehmenden Kompetenz in der Beeinflussung der muskulären Aktivität. Diese veränderte Aktivierungsfähigkeit geht dann mit weniger Arbeit im schmerzauslösenden M. trapezius pars descendens einher. Dies ist auf Basis des zu Beginn jeder ersten Sitzung vermittelten Krankheitsverständnisses Zielzustand und damit für den Patienten mit einem Erfolgsgefühl verbunden. Dessen Relevanz wird im Folgenden weiter verdeutlicht.

Für die Entwicklung von Selbstwirksamkeit bedeutende Elemente nach der sozialkognitiven Lerntheorie nach Bandura (1977) sind: Erfolgserlebnisse, der beobachtete Erfolg einer anderen Person, deren Fähigkeiten ähnlich der eigenen eingeschätzt werden, die Bestätigung durch eine soziale Gruppe sowie die Fähigkeit, körperliche Stresssymptome wie Herzrasen, Schweißausbrüche oder ähnliches einordnen zu können (Bandura, 1977). Erfolgserlebnisse wurden den Patienten in beiden hier geprüften Interventionen ermöglicht. Wie bereits beschrieben konnte durch das Erlernen der Beeinflussung des EMG-Biofeedbacksignals durch entweder Veränderung der Haltung oder durch Veränderung des Stresslevels direkt ein Feedback über die neu erlernte Fähigkeit und somit ein Erfolgserlebnis vermittelt werden. Die durch Bandura (1977) beschriebene zu erlangende Fähigkeit der Einordnung von körperlichen Symptomen bezieht sich nicht nur auf klassische Stresssymptome wie Herzrasen, Schweißausbrüche etc., sondern eben auch auf die im Fokus der Intervention stehenden Schulter-Nacken-Schmerzen. Hier deckt sich die Einschätzung von Bandura (1977) mit der von Spinhoven et al. (2003), wobei Bandura (1977) diese Fähigkeit als Teil des Selbstwirksamkeitsaufbaus versteht. Die Elemente des beobachteten Erfolgs einer Person, deren Fähigkeiten ähnlich der eigenen eingeschätzt werden, als auch das der Bestätigung durch eine soziale Gruppe blieben aus. Durchaus aber fand eine Bestätigung durch die anwesende Therapeutin statt.

Die auf Bowlby (1988) zurückgehende Bindungstheorie nimmt an, dass Erwartungen und Wünsche an zwischenmenschliche Beziehungen auf in der frühen Kindheit gemachten Erfahrungen in der Bindung zu primären Bezugspersonen beruhen (Bowlby, 1988) (Pfeifer et al., 2016). Während sich ein sicheres Bindungsverhalten auf Selbstvertrauen stützt, aber auch auf das Vertrauen in andere, Hilfe und Unterstützung zu erhalten, existieren im unsicheren Bindungsverhalten verschiedene Verhaltensvarianten. Diese unterscheiden sich grundsätzlich in der Zusammenkunft aus Selbst- und Fremdbild, welches jeweils

positiv oder negativ ausgeprägt sein kann. Je nachdem, wie diese Faktoren in einer Person kombiniert sind entsteht ein Bindung vermeidendes, Bindung stark suchendes, eher anklammerndes oder aber auch ein Annäherungs-Vermeidungsverhalten (Pfeifer et al., 2016).

In der Frage, wie der Zusammenhang zwischen beidem, also chronischen Schmerzen und unsicherem Bindungsverhalten, konkret aussieht, stellen die negativen Copingstrategien das Verbindungsstück dar (McWilliams & Asmundson, 2007).

Nach einem durch ein Review zum Thema entwickelten Modell kommt es bei als Bedrohung eingeordneten Schmerzen, gleichzeitig geringer Erwartung an die Selbstwirksamkeit und der Bewertung der Verfügbarkeit von Hilfspersonen als ungenügend zu erhöhten Stressleveln sowie stärkerer Schmerzkatastrophisierung als Ausdruck schlechter Bewältigungsstrategien (Pfeifer et al., 2016) (Meredith et al., 2008). Dies geht nicht nur mit häufigeren Schmerzphasen, sondern dann auch mit höheren Schmerzintensitäten sowie physischen Einschränkungen einher (Ciechanowski et al., 2003).

Weiterhin zeigen Menschen mit einem unsicheren Bindungsverhalten eine erhöhte Inanspruchnahme der Leistungen des Gesundheitswesens (Waller et al., 2004). Für den Schulter-Nacken-Schmerz besteht ein möglicher zu Grunde liegender Mechanismus im Fehlen einer organischen, in struktureller Bildgebung belegbaren Begründung der Beschwerden. Hierdurch kann es zu wiederholten Enttäuschungen des Patienten und einer konflikthafter Arzt-Patienten-Beziehung kommen (Pfeifer et al., 2016), die dann zu Misstrauen sowie häufigen Arzt- und Therapeutenwechseln führt.

Entsteht aber eine therapeutische Beziehung, in welcher die Beschwerden des Patienten ernst genommen werden und die gleichzeitig ein Erklärungsmodell für sie anbietet, kann ein Vertrauensaufbau stattfinden. Der Therapeut stellt hierbei eine stabile und sichere Bezugsperson dar, was stressregulierend wirken kann. Auf Basis einer solchen Beziehung hat der Patient die Chance, sein bisheriges Verhalten wie auch die Interpretation seiner Beschwerden, zu reflektieren und ggf. zu verändern (Levy et al., 2010). Es ist also zu vermuten, dass im Falle der hier vorliegenden Untersuchung den Probanden Vertrauen und eine stabile Therapeutenbeziehung vermittelt werden konnte. Hierfür war das EMG-Biofeedback als Medium Beschwerden zu erklären und beeinflussbar zu machen von wesentlicher Bedeutung.

Es ist also zusammenzufassen, dass entscheidend für die Wirkung einer Maßnahme zur Veränderung der schmerzabhängigen Funktionalität von Patienten mit chronischen Schulter-Nacken-Schmerzen zu sein scheint, dass diese Maßnahme das Potenzial besitzt eine verbesserte interne Schmerzkontrolle zu vermitteln. Hierzu notwendig ist die Fähigkeit Symptome einzuschätzen sowie diese selbstwirksam zu verändern. Damit dies gelingen kann benötigt der Lernende ein Feedback zu seiner aktuellen, aber auch vergangenen Leistung. Weiterhin sind Erfolgserlebnisse notwendig. Beide hier untersuchten Methoden haben mit der Vermittlung eines bestimmten Krankheitsverständnisses begonnen. Obwohl sich die dem Patienten erklärten physiologischen Grundlagen seiner Beschwerden je nach Gruppenzugehörigkeit inhaltlich voneinander unterschieden, hatten beide beschriebenen Pathomechanismen kein über die Symptome hinaus gehendes Bedrohungspotenzial. Beide Ansätze bezogen sich auf funktionelle, veränderbare Mechanismen. Beide Ansätze integrierten keine strukturellen Schäden, die sich potenziell zu größeren Funktionsverlusten

entwickeln könnten, sodass die Probanden beider Gruppen lernen konnten ihre Beschwerden einzuordnen und als nicht gefährlich zu verstehen. Die Probanden beider Gruppen erlernten dann eine Methode zur Beeinflussung des Beschwerdebilds. Hierin wurden sie durch ständiges visuelles Feedback zu ihrer Leistung unterstützt. Auch im Verlauf von einer zur nächsten Sitzung konnte durch das EMG-Biofeedback eine visuell wahrnehmbare Verbesserung der zuvor als notwendig deklarierten Fähigkeiten festgestellt werden, wodurch Erfolgserlebnisse geschaffen wurden. Unterstützt werden die zu erreichenden Lernziele durch eine stabile Bindung zwischen Proband und Therapeut. Diese wird durch das Element des Biofeedbacks unterstützt, da sich hierdurch, eventuell erstmalig, ein Erklärungsmodell für die vorhandenen Beschwerden ergibt. Der Proband fühlt sich in seinen Beschwerden ernst genommen.

Abschließend zur in diesem Kapitel thematisierten Frage, welche Faktoren innerhalb beider EMG-Biofeedbacktrainings die durch den NDI gemessene schmerzabhängige Funktionalität positiv beeinflusst haben, muss die Unterbrechung einer statischen Belastung benannt werden, die auf die Aktivierung der schmerzenden Muskulatur günstig wirken kann (Ma, et al., 2011).

Während die Gruppe, die am biomechanisch orientierten EMG-Biofeedbacktraining teilgenommen hat, konkrete und systematische Anweisungen zur Veränderung der Körperhaltung hin zu einer weniger mit Schulter-Nacken-Schmerzen verbundenen Position erhielt, nahm auch die Gruppe, die ein psychophysiologisch orientiertes EMG-Biofeedback erhalten hat, eine von der alltäglichen Haltung abweichende Position ein. Dies fand allein aufgrund der Anweisung statt, eine bequeme Position einzunehmen, in welcher das autogene Training durchgeführt werden kann.

Beide Gruppen erfuhren durch Verbindung des neu Gelernten mit alltäglichen, sich mehr oder weniger häufig wiederholenden Situationen eine regelmäßige Unterbrechung der statischen Situation. Unklar ist, wie dieser Effekt im Vergleich zu einem möglichen Effekt bei erhöhtem Trainingsvolumen zu bewerten ist, d.h. bei mehr Übungseinheiten über einen längeren Zeitraum.

Es ist also zu vermuten, dass beide Interventionen zur Schaffung einer positiven Selbstwirksamkeitserwartung sowie stabilen Bindung zum Therapeuten beitragen können. Unterstützt werden die positiven Ergebnisse durch eine regelmäßige Unterbrechung einer statischen Haltung im Alltag in beiden Gruppen. Die vergleichbare Wirkung beider Maßnahmen im NDI kann also hierdurch zu begründen sein.

#### 4.2.2 Interpretation der Ergebnisse des Patient-Health-Questionnaire 9

Aufgrund der engen Korrelation zwischen den Ergebnissen des NDI und denen des PHQ-9 soll hier zunächst die Diskussion des PHQ-9 folgen, vor der des Ruhetonus.

Hinsichtlich der Messung einer Depressivität durch den Fragebogen PHQ-9 zeigt sich ebenfalls in beiden Gruppen eine nicht signifikant voneinander abweichende, Reduktion des Depressivitäts-Wertes. Auch hier konnte für beide Gruppen ein signifikanter Zeiteffekt nachgewiesen werden.

Man kann annehmen, dass vor allem der Faktor Schmerzen bzw. alltägliche Einschränkungen bei Verbesserung eine sofortige Veränderung, ebenfalls im Sinne einer Verbesserung der Stimmungslage bedeutet. Hier kommt vor allem das Konzept der „zentralen Sensibilisierung“, der „Neuroplastizität“, aber auch das des „Embodiments“ zum Ausdruck.

Die „zentrale Sensibilisierung“ beschreibt eine neuroplastische Situation in welcher ein Schmerz in Intensität, Dauer oder grundsätzlichem Vorhandensein in inadäquater Weise zum auslösenden Moment empfunden wird (Latrempoliere & Woolf, 2009). Der genaue Pathomechanismus der zentralen Sensibilisierung ist noch unklar, jedoch ist deutlich, dass negative Copingstrategien, wie beispielsweise das Katastrophisieren, die zentrale Sensibilisierung begünstigen (Huysman et al., 2018). Der Aufbau positiver Copingstrategien, wie beispielsweise eine vorhandene Selbstwirksamkeitserwartung, ist wesentlicher Inhalt beider hier untersuchter Interventionen.

Die Erkenntnis also, dass Schmerzen bewältigbar sind sowie die Fähigkeit diese einzuordnen, kann also mit einer Reduktion der Schmerzempfindung in Zusammenhang gebracht werden. Gleichzeitig geht dies aber eben häufig auch mit einer verbesserten Stimmungslage einher, was sich in beiden Gruppen im Rahmen dieser Untersuchung in einer positiven Veränderung der durch den PHQ-9 dargestellten Depressivität zeigt.

Neben einer dem Verhalten des Betroffenen zuzuordnenden Verbindung zwischen Schmerzen und Stimmungslage (negative Copingstrategien wie bspw. Fear-Avoiding) besteht auch ein Zusammenhang der mehr den neurologischen und neurobiologischen Wirkbereichen zugeordnet werden kann: Grundsätzlich weisen Veränderungen der Neuroplastizität, also der strukturellen Ausgestaltung des Gehirns, aber auch des Neurotransmittersystems auf Verbindungen zwischen chronischen Schmerzen und Depressionen hin. Hinsichtlich der Neuroplastizität sind hier beispielsweise die bei depressiven Patienten häufig im Volumen verringerten Gehirnregionen des präfrontalen Kortex und des Hippocampus zu nennen, beides Gehirnregionen die an der Entstehung und Verarbeitung von Emotionen beteiligt sind und deren Volumenreduktion zur Schwere der depressiven Erkrankung korreliert. Der Begriff der schmerzinduzierten Depression meint dabei, dass der Spannungszustand der chronischen Schmerzen Depressionen auslösen kann. So leiden 85% der Patienten mit chronischen Schmerzsyndromen unter schweren Depressionen (Sheng et al., 2017). Die in der hier vorgestellten Untersuchung beschriebenen Ergebnisse im NDI lassen vermuten, dass die Schulter-Nacken-Schmerzen der Probanden sich im Laufe der Untersuchung in beiden Gruppen positiv entwickelt haben. Bleibt man bei der Hypothese der schmerzinduzierten Depression, basierend auf veränderter Neurotransmitter- und Neuroplastizitätssituation, so ist ein Rückgang depressiver Symptome, und damit eine Verbesserung der Ergebnisse des PHQ-9, bei Rückgang von Schmerzen erklärbar.

Der Begriff „Embodiment“ beschreibt im weitesten Sinne die wechselseitige Beziehung zwischen der Körperhaltung und der seelischen Situation. Hierbei wird von einer Wirkung emotionaler Zustände auf somatoviszerale und motorische Systeme ausgegangen. Der hieraus resultierende körperliche Zustand beeinflusst dann seinerseits wieder die Verarbeitung von Emotionen. Für diese Arbeit von Relevanz ist der Zusammenhang zwischen einer Depressivität und einer gebeugten Körperhaltung. Dabei ist hier der Begriff der Wechselseitigkeit von besonderer Bedeutung. Es scheint deutlich, dass das Versetzen

in eine depressive Stimmungslage direkt zu einer gebeugten Körperhaltung führt, ebenso, dass eine manifeste Diagnose der Depression häufig mit einer gebeugten Körperhaltung konstatiert (Michalak et al., 2009). Jedoch darf man gleichzeitig davon ausgehen, dass die jeweilige Körperhaltung in dem Moment, in dem sie demjenigen, der sie einnimmt, angemessen erscheint, eher zur positiven Beeinflussung des psychischen Zustands beiträgt. Nach der „Appropriateness Hypothesis“, der „Angemessenheits-Hypothese“ (Riskind, 1984) führt eine gebeugte Körperhaltung nach Misserfolgen zur positiven Selbstregulation, eine erzwungene, aufrechte Körperhaltung nach demselben Erlebnis jedoch eher zum Zuwachs von Depressivität.

Es kann also festgehalten werden, dass eine positive Stimmungslage zu aufrechteren Haltungen führen kann, sowie dass eine aufrechte Haltung, solange sie als angemessen empfunden wird, die Stimmungslage positiv beeinflussen kann.

Für die hier dargestellte Untersuchung kann nun festgehalten werden, dass die Probanden beider Gruppen sowohl eine Verbesserung der schmerzabhängigen Funktionalität, gemessen im NDI, als auch einer möglichen Depressivität, gemessen im PHQ-9, erfahren. Aufgrund der Konzepte der „zentralen Sensibilisierung“ sowie dem den Schmerz und die Stimmungslage verbindenden Element der Neurotransmittersituation, scheint eine mehr oder weniger parallele Entwicklung beider Parameter in beiden Gruppen erklärbar. Unterstützend kann, nach dem Konzept des Embodiments, eine Veränderung der Stimmungslage eine Veränderung der Körperhaltung mit sich ziehen. Diese hat dann wiederum das Potenzial die durch den NDI gemessenen Faktoren positiv zu beeinflussen.

#### 4.2.3 Interpretation der Ergebnisse des Ruhetonus M. trapezius pars descendens

Durch beide Interventionen konnte weder ein signifikanter Zeiteffekt noch ein signifikanter Gruppeneffekt in der Darstellung des muskulären Aktivitätsniveaus des M. trapezius pars descendens der rechten und linken Körperseite dargestellt werden.

Zur Diskussion dieses Ergebnisses muss vor allem die in dieser Arbeit erfolgte Anwendungsweise der elektromyografischen Ableitung als Messinstrument kritisch betrachtet werden. Hier kommt in erster Linie die Frage zum Tragen, ob das innerhalb dieser Arbeit durchgeführte Messverfahren tatsächlich für die Feststellung des Ruhetonus geeignet ist. Weiterhin muss diskutiert werden, ob der Parameter des Ruhetonus für die Beschreibung einer, die Muskelaktivität betreffenden Pathologie sinnvoll ist. Konkret: Zeigen schmerzhafte Muskeln unbedingt ein erhöhtes Aktivierungsniveau? Und auch: Ist der Begriff des „Tonus“ sinnvoll, um ein erhöhtes Aktivierungsniveau zu beschreiben?

Um sich einer Antwort zu nähern, soll folgend eine Definition des Begriffs „Ruhetonus“ vorgenommen werden: Er beschreibt die im vitalen Zustand geringste, passive Spannung sowie den Widerstand des Muskels gegen Dehnung. Beides trägt entscheidend zur posturalen Kontrolle bei. Die posturale Kontrolle meint dabei die Fähigkeit, eine aufrechte Haltung beizubehalten. Der Ruhetonus ist untrennbar mit faszialen (das Fasziengewebe betreffenden) und ligamentösen (Bänder betreffenden) Strukturen verbunden, weshalb es sich bei ihm um eine myofasziale Eigenschaft handelt. Diese passive Spannung bzw. der Dehnungswiderstand sind vom zentralen Nervensystem unabhängige Komponenten muskulärer Aktivität. Sie stellen das Resultat intrinsischer molekularer Interaktionen der viscoelastischen Elemente des jeweiligen Muskels dar. Dieser als Ruhetonus definierte,

Zustand eines Muskels bleibt ohne im EMG feststellbare Aktionen. Er ist „EMG-silent“ und betrifft nur die Struktur des Muskels, nicht dessen Aktion. Dies bleibt auch so, wenn ein Muskel tastbar fest oder hart ist, auch bei Patienten mit bestimmten Krankheitsbildern wie beispielsweise einem harten M. trapezius pars descendens bei Spannungskopfschmerzen. Der hier definierte Ruhetonus des Muskels kann nur in komfortablen, im Gleichgewicht ausbalancierten und absolut entspannten Haltungen erreicht werden (Masi & Hannon, 2008).

In Abgrenzung hierzu kann der vom zentralen Nervensystem aktivierte Muskeltonus beschrieben werden. Dieser lässt im EMG Aktionen feststellen und kann auf Basis willentlicher oder reflexhafter Kontraktion bzw. Kokontraktion des Muskels entstehen. Er ist also Resultat von Interaktionen zwischen den kontraktilelementen des jeweiligen Muskels. Ebenfalls ausgelöst wird diese Art der muskulären Aktivität durch Läsionen des zentralen Nervensystems, welche zu einer veränderten Reizweiterleitung in den Muskel und damit beispielsweise zu Spastizitäten führen (Masi & Hannon, 2008).

Zusammengefasst kann beschrieben werden, dass der als Ruhetonus benannte Zustand eines Muskels von der Interaktion seiner viscoelastischen Elemente abhängt und damit mehr eine strukturelle, als eine von Aktivität abhängige, Situation anzeigt. Der vom zentralen Nervensystem aktivierte Muskeltonus ist Resultat der Interaktion von kontraktilelementen des Muskels. Er zeigt damit an, ob, wenn ja, wann und wie viel oder wenig ein Muskel aktiviert wird. Dieser Umstand erklärt den zu Beginn dieser Arbeit festgestellten Umstand, dass Triggerpunkte – also von außen tastbare und verhärtete Knoten im Muskel – keine Veränderung des EMG-Signals hervorrufen. Sie sind struktureller Natur und damit ebenfalls „EMG-silent“.

Die in dieser Arbeit gewählte Messsituation für den Ruhetonus des M. trapezius pars descendens, nämlich im angelehnten, entspannten Sitzen, ist demnach passend für die Darstellung des Ruhetonus. Da dieser jedoch „EMG-silent“ ist, kann er nicht das geeignete Messverfahren zur Feststellung einer bei Schulter-Nacken-Schmerzen erhöhten muskulären Aktivität zu sein. Ausgangspunkt für diese Feststellung ist die Tatsache, dass eine erhöhte Aktivität des M. trapezius pars descendens bei Abweichungen von Haltung und Bewegung oder auch bei psychovegetativen Erregungszuständen eben keine Auswirkungen auf den strukturellen, viscoelastischen Zustand des Muskels hat. Unterstützt wird diese Feststellung durch Kocur et al. (2019), die zwar eine Korrelation zwischen einer dem oberen gekreuzten Syndrom entsprechenden Haltung und Schulter-Nacken-Schmerzen feststellen, jedoch keine Kausalität zwischen dieser Haltung und Elastizität sowie Druckempfindlichkeit des M. trapezius pars descendens herstellen können (Kocur et al., 2019). Weiterhin kann eine subjektive Festigkeit – eine Situation des M. trapezius pars descendens, die häufig auch als mit Schmerzen einhergehende Verspannung beschrieben wird – nicht mit objektiven Verlusten der Elastizität oder messbaren Steigerungen der Härte des Muskels in Zusammenhang gebracht werden (Sawada, et al., 2020). Ebenso sind manuell ertastbare sog. Triggerpunkte häufig nicht dort lokalisiert, wo laut Druckdynamometrie der sensitivste Bereich des M. trapezius pars descendens ist (Andersen et al., 2010). Es ist also festzuhalten, dass der Ruhetonus durch das hier beschriebene Messsetting darstellbar ist. Dennoch handelte es sich nicht um das geeignete Messverfahren, um die durch das Biofeedback erreichbaren Veränderungen darzustellen. Diese spielen sich im Bereich des, durch das zentrale Nervensystem aktivierten,

Muskeltonus ab. Dieser ist ein fluktuierender Zustand, der durch die folgenden Fragenkategorien zu bewerten ist:

Ist der Muskel aktiv? Ist er mehr oder weniger aktiv? Wann ist der Muskel aktiv? Wie stark ist der Muskel aktiv? Ermüdet der Muskel? (Konrad, 2005).

Den Fragen nach der Stärke der muskulären Aktivität und einer eventuellen Ermüdung soll hier kein Raum gegeben werden. Diese Parameter werden vorrangig durch Krafttraining beeinflusst, welches innerhalb dieser Arbeit nicht betrachtet oder diskutiert wurde. Bezogen auf das hier untersuchte Krankheitsbild würden die ersten drei benannten Fragestellungen wie folgt lauten:

Ist der Muskel innerhalb einer nicht angelehnten Sitzposition aktiv? Dies zielt darauf ab zu beantworten, ob der untersuchte Proband durch eine vorgebeugte Sitzposition bzw. durch eine psychophysiologische Belastungssituation überhaupt eine Aktivierung des M. trapezius pars descendens zeigt. Es ist die Hypothese aufzustellen, dass sich das Aktivitätsniveau des M. trapezius pars descendens im nicht angelehnten Sitzen durch beide Biofeedbackverfahren reduzieren lässt.

Die Fragestellung „ist er mehr oder weniger aktiv“ kann sich dann auf den Vergleich des Aktivitätsniveaus zwischen den Probanden beziehen. Vor allem interessant wäre hier aber sicherlich die Betrachtung des Verhältnisses zwischen M. trapezius pars descendens und M. trapezius pars ascendens. Hier sollte vor dem Hintergrund der beschriebenen, mit Schulter-Nacken-Schmerzen in Verbindung zu bringenden biomechanischen Abweichungen ein Verhältnis von weniger Aktivität im M. trapezius pars ascendens und mehr Aktivität im M. trapezius pars descendens festzustellen sein. Im Verlauf der Therapie, sprich bei Erreichen eines mehr der Physiologie entsprechenden Zustands, sollte sich dieses Verhältnis umkehren. Hier ist die Hypothese aufzustellen, dass das Verhältnis beider Muskeln vor einem EMG-Biofeedbacktraining eine höhere Aktivität des M. trapezius pars descendens und eine niedrigere Aktivität des M. trapezius pars ascendens zeigt. Dies sollte sich durch ein Biofeedbackverfahren umkehren. Die Betrachtung dieses Verhältnisses beider Muskeln sollte ebenfalls im nicht angelehnten Sitzen erfolgen.

Die Fragestellung nach dem Zeitpunkt der Aktivität bezieht sich dann auf die Darstellung derer innerhalb einer Bewegung. Bei Patienten mit Schulter-Nacken-Schmerzen kann die beschriebene Haltung zu einer muskulären Dysbalance führen, welche mit vermehrter Aktivität des M. trapezius pars descendens in Bewegungen des Armes einhergehen kann. Vor diesem Hintergrund wäre die Bewegung des Armes also jene Aktivität, in welcher die zeitliche Folge der Muskelaktivierung als Beurteilungskriterium sinnvoll sein kann. Hierbei wären wieder beide, also der M. trapezius pars descendens sowie der M. trapezius pars ascendens, zu betrachten. Für diese Frage von besonderem Interesse ist die möglicherweise unterschiedliche Auswirkung eines biomechanisch orientierten EMG-Biofeedbacktrainings und einem, welches psychophysiologisch orientiert ist. Dies gründet auf der Tatsache, dass der Zeitpunkt einer muskulären Aktion im Wesentlichen von den Koordinationsfähigkeiten des Probanden abhängt. Koordination bedeutet hierbei die Fähigkeit, sich eine Bewegung vorzustellen, sie dann im Bewegungsverlauf zu kontrollieren und sie bei Abweichungen zur Zielvorstellung anders zu steuern. Zwar ist dies eine Fähigkeit, die potenziell von der Psychomotorik, also der durch die Psyche beeinflussten

Motorik, verändert werden kann. Dennoch könnte sich hier möglicherweise ein Vorteil für das biomechanisch orientierte Biofeedback ergeben.

Die Sinnhaftigkeit der Betrachtung der formulierten Fragestellungen wird unterstützt durch Epstein und Blanchard (1977), nach denen Biofeedbackverfahren unter anderem den Effekt haben die mit einem angenehmen körperlichen oder psychischen Zustand verbundene biologische Variable positiv zu beeinflussen. Es erscheint also sinnvoll eben die Fähigkeit der Beeinflussung vor und nach einem Biofeedbacktraining darzustellen, und zwar innerhalb der Situation in der bislang keine positive Beeinflussung gelungen ist. Das bedeutet im freien, nicht angelehnten Sitzen sowie in Armbewegungen und in Situationen psychischer Belastung.

Erschwert ist in dem beschriebenen Untersuchungsdesign die Art und Weise der elektromyografischen Darstellung der Antwort zur jeweiligen benannten Fragenkategorie. Dies gründet vor allem auf den unterschiedlichen Bezugspunkten. In der Frage „ist der Muskel aktiv“ findet ein Bezug zu einem bestimmten Zeitpunkt, beispielsweise vor dem Einnehmen einer Haltung oder während dem Einnehmen einer Haltung statt. Dies kann per Balkendiagramm dargestellt werden. Der Frage „ist der Muskel mehr oder weniger aktiv“ folgt eine qualitative Beurteilung, sie bezieht sich auf einen anderen Muskel. Auch hier kann eine Darstellung per Balkendiagramm erfolgen. „Wann ist der Muskel aktiv“ bezieht sich auf einen zeitlichen Verlauf, der entsprechend mit abgebildet werden müsste. Dies beispielsweise indem ein Aktivierungsverhalten während einer Bewegung in Form einer Amplitude dargestellt wird.

Abschließend zur Diskussion des Parameters des Ruhetonus muss nochmal auf die Validität des elektromyografischen Messverfahrens eingegangen werden: Diese wurde zwar bereits zuvor aufgegriffen, dennoch wird ihre Anfälligkeit durch die nun dargestellten Erkenntnisse nochmal deutlicher. Es wird klar, dass das EMG-Signal abhängig von der Art der Weiterleitung eines Impulses in den gemessenen Muskel ist. Diese Impulse gehen willkürlich und unwillkürlich vom zentralen Nervensystem aus. Das bedeutet eine Beeinflussung nicht nur durch bewusste Kontraktion oder Kokontraktion des Muskels, sondern auch durch Reflexe sowie die psychische Situation. Nachdem zwar davon auszugehen ist, dass innerhalb des hier verwendeten Messsettings reflexhafte Aktivierungen des Muskels nicht von Bedeutung sind, kann dennoch nicht ausgeschlossen werden, dass auch im angelehnten Sitzen ein leichtes Nach-oben-Ziehen der Schultern stattgefunden hat, ohne, dass dies ein direkter Indikator für die möglicherweise erworbenen Fähigkeiten des Probanden in vulnerablen Situationen ist. Ausreißer innerhalb der Darstellung des Ruhetonus sowie geringe Aktivierungslevel können hierdurch begründet werden. Weiterhin müssen Veränderungen des EMG-Signals durch sog. Elektrokardiogramm(EKG)-Artefakte berücksichtigt werden. Dies gilt vor allem für die Darstellung des linksseitigen M. trapezius pars descendens.

Weiterhin muss die Option einer das EMG-Signal verzerrenden intramuskulären Koordinationsstörung bedacht werden (Westgaard et al., 2013). Hier gewinnt die Rolle der Abstimmung der Arbeitsweise zwischen den Muskelfasern eines einzelnen Muskels Bedeutung. Diese kann beeinflusst sein durch metabolische oder biochemische Prozesse.

Zuletzt muss auch die Verwendung von Normwerten im EMG kritisch betrachtet werden. Dass auch diese wenig haltbar und eher als Orientierung zu verstehen sind, wird durch die beschriebene fragliche Validität elektromyografischer Messungen deutlich.

### 4.3 Fazit und Ausblick

Die Frage der Wirkfaktoren im EMG-Biofeedback bei Schulter-Nacken-Schmerzen kann nach dieser Untersuchung nicht durch die Ausrichtung des Biofeedbacktrainings an biomechanischen oder psychophysiologischen Gesichtspunkten beantwortet werden. Dennoch wird deutlich, dass sowohl Inhalte, die auf biomechanisch orientierte Zielsetzungen gerichtet sind, als auch Inhalte, die auf psychophysiologisch orientierte Zielsetzungen abheben, Wirkung entfalten. Dies v.a. hinsichtlich einer schmerzabhängigen Funktionalität sowie einer Depressivität.

Wesentlich für den Erfolg einer EMG-Biofeedbackmethode die bei dieser Patientengruppe appliziert werden soll scheint zu sein, dass die Fähigkeit die Beschwerden einzuordnen sowie eine positive Selbstwirksamkeitserwartung vermittelt werden. Dies kann gut über Maßnahmen geschehen, die den Probanden selbst in Aktivität bringen und ihm Erfolgserlebnisse hinsichtlich seiner eigenen Wirksamkeit vermitteln. Unterstützend sollte ein positives Feedback zu aktuellen und vergangenen Leistungen integriert werden. Eine wesentliche Rolle für die Wirkung des Verfahrens scheint eine stabile Bindung zwischen Therapeut und Proband zu spielen. Eine Erarbeitung dieser Faktoren ohne Biofeedbackverfahren scheint schwerer, als dies mit diesen ist. Das Biofeedback stellt hierbei eine Art Medium zur Vermittlung dar. Vermittelt wird ein Krankheitsverständnis, d.h. es kann eine erhöhte Aktivität des M. trapezius pars descendens gesehen werden. Außerdem kann der Proband durch das EMG-Biofeedback sehen, dass er in eigentlich belastenden Situationen eine reduzierte Aktivierung desselben Muskels erreichen kann.

Folgende Faktoren der Untersuchung sind, auch im Hinblick auf zukünftige Forschungsarbeit, kritisch zu betrachten: Es hat zum Ein- bzw. Ausschluss der Probanden keine vorhergehende Haltungsanalyse stattgefunden. Probanden mit Schulter-Nacken-Schmerzen aus anderen haltungsbezogenen Gründen als denen, die durch das biomechanisch orientierte Biofeedback aufgelöst werden sollten, haben daher potenziell nicht oder nur wenig profitiert. Hypothetisch kann bei diesen sogar eine Verschlechterung der Beschwerden stattgefunden haben.

Das hier verwendete Verfahren zur Messung des Ruhetonus des M. trapezius pars descendens war in der Lage eben diesen Parameter darzustellen. Dennoch muss hier berücksichtigt werden, dass der Ruhetonus die Darstellung einer strukturellen Situation des Muskels ist. Da das hier beschriebene Krankheitsbild jedoch nicht mit einer veränderten Struktur, sondern mit einer veränderten Aktivität des Muskels einher geht, war dieser Parameter zur Beurteilung der Wirkung der verschiedenen EMG-Biofeedbackverfahren auf die Muskelaktivität nicht geeignet.

Auch das geringe in dieser Untersuchung applizierte Trainingsvolumen muss kritisch betrachtet werden.

Zukünftige Untersuchungen sollten also zunächst vor allem eine andere Gestaltung des Messparameters „muskuläre Aktivität“ enthalten. Wie dies gelingen kann wurde beschrieben. Hierbei von wesentlicher Bedeutung ist, dass die muskuläre Aktivität eben in jenen Situationen gemessen wird, in denen sie potenziell verändert ist. Der Bezug auf ohnehin kritisch zu betrachtende Normwerte der muskulären Aktivität entfällt hierdurch.

Weiterhin muss eine gebeugte Körperhaltung als Einschlusskriterium definiert werden, sodass nur Probanden mit gebeugtem Haltungsmuster eingeschlossen werden. Dies natürlich nur, solange durch das EMG-Biofeedback eben nur jenes Haltungsbild positiv verändert werden kann.

Ebenfalls sollte das Trainingsvolumen erhöht werden.

Es kann vermutet werden, dass in einem derart veränderten Untersuchungsdesign signifikante Abweichungen zwischen beiden Gruppen festzustellen sind.

Weiterhin denkbar ist es, beide Verfahren, d.h. das biomechanisch orientierte Biofeedbackverfahren sowie das psychophysiologisch orientierte Biofeedbackverfahren, ineinander zu integrieren. Konkret bliebe die grundlegenden Struktur erhalten, d.h. weiterhin ist notwendig ein Krankheitsverständnis zu schaffen, dann Methoden zur Veränderung des aktuellen Status zu erlernen und diese dann, im Sinne eines Alltagstrainings, zu generalisieren. Jedoch muss das vermittelte Krankheitsverständnis dann die tatsächliche Komplexität der Beschwerdeentstehung so einfach wie möglich spiegeln. Es muss also erklärt werden, dass Ausgangspunkt der Beschwerden eine vermehrte Aktivierung des M. trapezius pars descendens ist, diese auf biomechanischen und psychophysiologischen Veränderungen beruhen kann. Notwendig ist zu vermitteln, dass beides sich gegenseitig beeinflusst. Es sollten Verfahren zur Haltungsveränderung sowie Entspannungsverfahren erlernt werden. Diese sollten in deutlich mehr als drei Sitzungen in ihrer Wirkung stabilisiert werden. Hierdurch könnten deutlichere und länger anhaltende Effekte hinsichtlich aller Messparameter erzielt werden.

Alternativ hierzu könnte argumentiert werden, dass, wenn beide Verfahren in allen Messparametern ähnliche Wirkung haben, auch unerheblich sein könnte, welches Verfahren angewendet wird. Dieser Argumentation Raum gebend ist denkbar zukünftig vor Beginn eines Biofeedbacktrainings eine diagnostische Klärung vorzunehmen. Diese sollte dann eine Prüfung hinsichtlich der Frage enthalten, ob das vorhandene Beschwerdebild eher auf psychophysiologischen Ursachen oder auf biomechanischen Veränderungen basiert. In Falle von Letzterem könnte dann noch die konkrete Haltungsanalyse und Definition von zu erzielenden Haltungsveränderungen folgen.

Vor dem Hintergrund, dass das Beziehungsmuster der unsicheren Bindung sowie die daraus resultierenden negativen Copingstrategien nicht unbedingt Prädiktor für die Entstehung unspezifischer Schulter-Nacken-Schmerzen, wohl aber für deren Entwicklung von einem akuten zum chronischen Krankheitsbild sind, darf an dieser Stelle vermutet werden, dass bei selben Prüftherapien, aber Probanden mit akuten, d.h. maximal seit zwölf Wochen andauernden Schulter-Nacken-Schmerzen, ein Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich der schmerzabhängigen Funktionalität durch biomechanisch bzw. psychophysiologisch orientiertes EMG-Biofeedbacktraining, erreichbar wäre. Hierbei

wichtig ist, dass die zu den akuten Schmerzen führenden Pathomechanismen ebenfalls unspezifischer Natur, im Sinne von ohne strukturelle Schädigungen, sind.

Hierbei müsste der zur Feststellung der schmerzabhängigen Funktionalität herangezogene NDI kritisch betrachtet werden. Grund hierfür ist, dass dieser vorrangig schmerzabhängige alltägliche Einschränkungen abfragt. Es kann vermutet werden, dass durch Beschwerden die als akut zu definieren sind, noch keine tiefergehende Einschränkung des Alltags stattgefunden hat. Zwar stellt die Schmerzintensität auch im NDI ein Item dar, dennoch ist das Spektrum der Antwortmöglichkeiten mit fünf Abstufungen wesentlich weniger fein als dies beispielsweise bei Anwendung der NRS wäre, die alleine für die Einordnung der Schmerzintensität zehn Antwortmöglichkeiten gibt.

Zuletzt ist festzustellen, dass dem erklärten Ziel genauere Aussagen darüber zu erlangen, ob und wenn ja wie Biofeedbackverfahren wirken, näher gekommen wurde. Es fand eine klare Standardisierung von Prozessen statt. Diese Prozesse wurden in ihrer Wirkung belegt und sind auf zukünftige Untersuchungen übertragbar. Notwendige Anpassungen in zukünftigen Untersuchungen wurden beschrieben. So kann schrittweise eine weitere Näherung zur Standardisierung von Biofeedbackverfahren erfolgen.

## 5 Zusammenfassung

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine Interventionsstudie die im Zeitraum Mai 2020 bis Februar 2021 in der Privatpraxis für Physiotherapie Martha Bethge-Koch in Wiesbaden stattfand. Im Fokus der Arbeit standen Patienten mit chronischen unspezifischen Schulter-Nacken-Schmerzen. Ziel war es, mögliche Unterschiede in der Wirkungsweise des konventionellen, eher psychophysiologisch orientierten EMG-Biofeedbacktrainings zum manualisierten, eher biomechanisch begründeten EMG-Biofeedbacktraining zu detektieren. Weiterhin sollte festgestellt werden, ob Biofeedbackverfahren wirken. Hierbei sollten Prozesse standardisiert und wiederholbar stattfinden. Das Hauptoutcome stellte die „schmerzabhängige“ Funktionalität dar, gemessen durch den Fragebogen Neck-Disability-Index. In der Nebenhypothese wurde der Ruhetonus des M. trapezius pars descendens dargestellt, gemessen durch Oberflächen-Elektromyografie. Die Haupthypothese lautete daher: Es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der primären Zielgröße „schmerzabhängige Funktionalität“ (NDI Score) zwischen der Intervention des konventionellen Biofeedbacks und des manualisierten Biofeedbacks. Als Nebenhypothese galt: Es besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der sekundären Zielgröße „Ruhetonus“ (elektromyografische Messung des M. trapezius pars descendens) zwischen der Intervention des konventionellen Biofeedbacks und des manualisierten Biofeedbacks. Deskriptiv fand die Erhebung einer potenziellen Depressivität durch den Fragebogen Patient-Health-Questionnaire 9 (PHQ-9) statt.

Als Ursachen für Schulter-Nacken-Schmerzen wurden sowohl biomechanische als auch psychophysiologische Mechanismen detektiert. Hierbei war jederzeit der chronische unspezifische Schulter-Nacken-Schmerz das betrachtete Krankheitsbild. Beide genannten Mechanismen führen zu dem letztlich die Beschwerden auslösenden erhöhten Aktivitätsniveau des M. trapezius pars descendens.

Als Behandlungsmethode für Schulter-Nacken-Schmerzen zeigen elektromyografische Biofeedbackverfahren gute Wirkung. Dennoch bleibt durch die Literatur eine konkrete Beschreibung des Vorgehens innerhalb der elektromyografischen Biofeedbackverfahren aus. Deutlich wird lediglich, dass diese Entspannungsverfahren und Haltungskorrekturen integrieren sollen. Letzteres ist wenig spezifiziert vor dem Hintergrund der eigentlich klar definierbaren Haltungsabweichung. Vielmehr soll der Patient selbst herausfinden – ohne weitere Anleitung und nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum – wie eine Reduktion der Aktivität des M. trapezius pars descendens gelingen kann.

Auf Basis der beschriebenen Erkenntnisse wurde also ein EMG- Biofeedbackverfahren entwickelt, welches einzig die biomechanischen Gegebenheiten in den Fokus nimmt. Dieses Verfahren gibt nicht nur visuelles Feedback über die Aktivität des M. trapezius pars descendens, sondern auch über die des M. trapezius pars ascendens. Dem entgegen stand ein an psychophysiologischen Ursachen orientiertes EMG-Biofeedback. Dieses gab einzig Rückmeldung über die Aktivität des M. trapezius pars descendens und nahm v.a. Entspannungsverfahren und deren Wirkung in den Fokus. Beide Trainingsmethoden wurden drei Mal für insgesamt 60 Minuten appliziert.

T1 inkludierte beide Fragebögen sowie die Messung des Ruhetonus und erfolgte vor der ersten Intervention. Nach Intervention eins und zwei erfolgten T2 und T3, jeweils nur durch Messung des Ruhetonus. Nach Intervention drei fanden erneut die Messungen durch beide Fragebögen und die Messung des Ruhetonus im Rahmen von T4 statt. Vier Wochen nach der letzten Intervention folgte ein Follow Up mit erneut allen Messparametern.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die Parameter „schmerzabhängige Funktionalität“ und „Depressivität“ sich in beiden Gruppen signifikant verbessert haben. Der Parameter des „Ruhetonus“ zeigte in beiden Gruppen keine signifikante Veränderung. In keinem der Parameter lagen signifikanten Gruppenunterschiede vor, weshalb die Nullhypothese bestätigt werden konnte.

Als Begründung hierfür wurde identifiziert, dass für Patienten mit Schulter-Nackenschmerzen weniger der konkrete Inhalt einer Behandlung von Bedeutung zu sein scheint als das, was auf der Metaebene vermittelt wird. Hier besonders hervor zu heben ist die Vermittlung positiver Coping Strategien wie beispielsweise die Überzeugung, die Schmerzen beeinflussen zu können oder die Fähigkeit, die Schmerzen einzuordnen. Damit dies gelingen kann, ist notwendig, dass Erfolgserlebnisse vermittelt werden. EMG-Biofeedbackverfahren scheinen hierfür ein besonders geeignetes Medium, da sie dem Patienten einen Ansatz zur Erklärung seiner Beschwerden sowie zum Umgang mit diesen vermitteln können. Weiterhin von Bedeutung ist die positive Beziehung des Probanden zum Therapeuten.

Hinsichtlich des nicht veränderten Parameters des „Ruhetonus“ konnte festgestellt werden, dass es sich hierbei um die Darstellung struktureller Veränderungen des Muskels handelt. Das betrachtete Krankheitsbild geht jedoch mit veränderter Aktivität des Muskels einher.

Es wurden alternative Konzepte zur Messung der muskulären Aktivität erarbeitet. Hieraus sowie aus den ebenfalls kritisch zu betrachtenden Punkten der fehlenden Haltungsanalyse als Ein- bzw. Ausschlusskriterium sowie des geringen Trainingsvolumens wurde ein überarbeiteter Untersuchungsansatz entwickelt.

Ebenso sinnvoll scheint eine Integration beider Biofeedbackverfahren ineinander. Hierbei sollten ebenfalls die Punkte „veränderte Messung der muskulären Aktivität“, „Haltungsanalyse“ sowie „erhöhtes Trainingsvolumen“ berücksichtigt werden.

Der vorhandene Untersuchungsansatz könnte auf Patienten mit akuten Schulter-Nackenschmerzen übertragen werden.

Jeder der beschriebenen Ansätze hat Potenzial signifikante Ergebnisse zu erzielen.

Dem Ziel die Wirkweise von Biofeedbackverfahren darzustellen und deren Standardisierung voran zu treiben, wurde näher gekommen.

## 6 Literaturverzeichnis

- Andersen, H., Ge, H.-Y., Arendt-Nielsen, L., Danneskiold-Samsoe, B., & Graven-Nielsen, T. (2010). Increased trapezius pain sensitivity is not associated with increased tissue hardness. *Journal of Pain*, 11 (5), S. 491-499.
- Andersen, C. H., Andersen, L. L., Gram, B., Pedersen, M. T., Mortensen, O. S., Zebis, M. K., & Sjogaard, G. (2012). Influence of frequency and duration of strength training for effective management of neck and shoulder pain: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 46 (14), S. 1004-1010.
- Bair, M., Robinson, R., Katon, W., & Kroenke, K. (2003). Depression and Pain Comorbidity. *Archives of Internal Medicine*, 163 (20), S. 2433-2445.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84 (2), S. 191–215.
- Barr, M., Miller, A., Bothner Chapin, K. (2010). Surface electromyography does not accurately reflect rectus femoris activity during gait: Impact of speed and crouch on vasti-to-rectus crosstalk. *Gait and Posture*, 32 (3), S. 363-368.
- Bayattork, M., Seidi, F., Minoonejad, H., Andersen, L. L., & Page, P. (2020). The effectiveness of a comprehensive corrective exercises program and subsequent detraining on alignment, muscle activation, and movement pattern in men with upper crossed syndrome: protocol for a parallel-group randomized controlled trial. *Trials*, 21, o. S.
- Bernell, S., & Howard, S. (2016). Use Your Words Carefully: What Is a Chronic Disease? *Frontiers in Public Health*, 4, S. 159.
- Biondi, M., & Valentini, M. (2014). Relaxation treatments and biofeedback for anxiety and somatic stress-related disorders. *Rivista di Psichiatria*, 49 (5), S. 217-226.
- Bowlby, J. (1988). Developmental psychiatry comes of age. *American Journal of Psychiatry*, 145 (1), S. 1-10.
- Brooks, C. (1988). The History of Thought Concerning the Hypothalamus and its Functions. *Brain Research Bulletin*, 20 (6), S. 657-667.
- Buchanan, J. J., Wang, C. (2012). Overcoming the guidance effect in motor skill learning: feedback all the time can be beneficial. *Experimental Brain Research*, 219, S. 305-320.
- Bundesärztekammer (2022). (Muster-)Weiterbildungsordnung 2018 – in der Fassung vom 26.06.2021, Stand 02.01.2022. Abgerufen am 02.01.2022 von [https://www.bundesaeztekammer.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/pdf-Ordner/Weiterbildung/20210630\\_MWBO\\_2018.pdf](https://www.bundesaeztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/Weiterbildung/20210630_MWBO_2018.pdf).
- Bundesgesundheitsministerium (2022). *Moderne Ausbildung für Psychotherapeuten und Psychotherapeutinnen – Gesetz zur Reform der Psychotherapieausbildung, Stand 03.01.2022*. Abgerufen am 03.01.2022 von <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/psychotherapeutenausbildung.html>.
- Caneiro, J. P., O'Sullivan, P., Burnett, A., Barach, A., O'Neil, D., Tveit, O., & Olafsdottir, K. (2010). The influence of different sitting postures on head/neck posture and muscle activity. *Manual Therapy*, 15 (1), S. 54-60.
- Champion, E. M., & Dekker, A. (Dezember 2011). Biofeedback And Virtual Environments. *International Journal of Architectural Computing*, 9 (4), S. 377-396.
- Chen, G., Wang, M., & Lu, G. (2014). Investigation of anxiety and depression in chronic pain patients and analysis of related factors. *China Journal of Pain Medicine*, 20 (4), S. 226-230.

- Ciechanowski, P., Sullivan, M., Jensen, M., Romano, J., & Summers, H. (2003). The relationship of attachment style to depression, catastrophizing and health care utilization in patients with chronic pain. *Pain*, 104 (3), S. 627-637.
- Cohen, S. P., & Hooten, W. (2017). Advances in the diagnosis and management of neck pain. *British Medical Journal*, 358, o. S.
- Cools, A. M., Witvrouw, E. E., De Clercq, G. A., Danneels, L. A., Willems, T. M., Cambier, D. C., & Voight, M. L. (2002). Scapular Muscle Recruitment Pattern: Electromyographic Response of the Trapezius Muscle to Sudden Shoulder Movement Before and After a Fatuiging Excercise. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 32 (5), S. 221-229.
- Cram, J., Durie, M., Holtz, J., Jantos, M., & Kasman, G. (2011). *Cram's Introduction to Surface Electromyography* (Bd. 2). Sudbury, Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers.
- Cramer, H., Lauche, R., Langhorst, J., Dobos, G., & Michalsen, A. (2014). Validation of the German version of the Neck Disability Index (NDI). *BMC Musculoskeletal Disorders*, 15, o. S.
- Crevenna, R. (2010). *Biofeedback. Basics und Anwendungen* (Aufl. 1). Wien: Wilhelm Maudrich Verlag.
- Deutsche Gesellschaft für Schmerzmedizin (2022). *DGS Curriculum Spezielle Schmerztherapie, Stand 02.01.2022*. Abgerufen am 02.01.2022 von <https://www.dgschmerzmedizin.de/dgs-campus/curriculum-spezelle-schmerztherapie/>.
- Deutscher Orthopäden- und Unfallchirurgenverband (2022). *Was bekommt mein Arzt für meine Behandlung?, Stand 04.01.2022*. Abgerufen am 04.01.2022 von [http://www.dov-online.de/online\\_magazin/detail.php?article\\_id=438](http://www.dov-online.de/online_magazin/detail.php?article_id=438).
- Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) (2022). *Ausbildung, Stand 03.01.2022*. Abgerufen am 03.01.2022 von <https://www.physio-d-utschland.de/fachkreise/beruf-und-bildung/ausbildung.html>.
- Deutsches Institut für medizinische Dokumentation und Information (2017). *ICD-10-GM, Version 2018, Systematisches Verzeichnis, internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision, Stand 22.September 2017*. Abgerufen am 22. September 2017 von [www.dimdi.de](http://www.dimdi.de) - Klassifikationen - Downloads - ICD-10-GM - Version 2018.
- Donelli, J., de las Penas, C., Finnegan, M., & Freemant, J. (2019). *Myofascial Pain and Dysfunction: The trigger Point Manual* (Bd. 3). Hürth: Wolters Kluwer.
- Eisenberger, N., Lieberman, M., & Williams, K. (2003). Does Rejection Hurt? An fMRI Study of Social Exklusion. *Science*, 302 (5643), S. 290-292.
- Epstein, L.H., Blanchard, E.B. (1977). Biofeedback, self-control and self-management. *Biofeedback and Self-Regulation*, 2, S. 201-211
- Farina, D., Madeleine, P., Graven-Nielsen, T., Merletti, R., & Arendt-Nielsen, L. (2002). Standardising surface electromyogram recordings for assessment of activity and fatigue in the human upper trapezius muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 86 (6), S. 469-478.
- Fejer, R., Ohm Kyvik, K., & Hartvigsen, J. (2006). The prevalence of neck pain in the world population: a systematic critical review of the literature. *European Spine Journal*, 15 (6), S. 834-848.
- Fields, H. (2000). Pain modulation: Expectation, opioid analgesia and virtual pain. *Progress in Brain Research*, 122, S. 245-253.

- Finley, M. A., & Lee, R. Y. (2003). Effect of Sitting Posture on 3-Dimensional Scapular Kinematics Measured by Skin-Mounted Electromagnetic Tracking Sensors. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, S. 563-568.
- Friedmann, H. (1977). Biofeedback. Current Status of its Clinical Application. *Acta psychiatrica belgica*, 77 (1), S. 117-133.
- Gaume, A., Vialatte, A., Mora-Sanchez, A., Ramdani, C., & Vialatte, F. (2016). A psychoengineering paradigm for the neurocognitive mechanisms of biofeedback and neurofeedback. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 68, S. 891-910.
- Ghaderi, F., Javanshir, K., Jafarabadi, M. A., Moghadam, A. N., & Arab, A. M. (2019). Chronic neck pain and muscle activation characteristics of the shoulder complex. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 23 (4), S. 913-917.
- Green, E., Green, A., Walters, E., Sargent, J., & Meyer, R. (1973). Autogenic Feedback Training. *Psychotherapy and Psychosomatic*, 25 (1-6), S. 88-98.
- Harms-Ringdahl, K., & Ekholm, J. (1986). Intensity and Character of Pain and Muscular Activity Levels Elicited by Maintained Extreme Flexion Position of the Lower-Cervical-Upper-Thoracic Spine. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 18, S. 117-126.
- Haus, K.-M., Held, C., Kowalski, A., Krombholz, A., Nowak, M., Schneider, E., Strauß, G., Wiedemann, M. (2016). *Praxisbuch Biofeedback und Neurofeedback* (Aufl. 4). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Heinrich, M., Steiner, S., & Bauer, C. (2020). The effect of visual feedback on people suffering from chronic back and neck pain - a systematic review. *Physiotherapy: Theory and Practice*, 36 (11), S. 1220-1231.
- Hempelmann, G., Krier, C., & Schulte am Esch, J. (2002). *Schmerztherapie - Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie* (Bd. 4). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Hug, F. (2011). Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography?. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21 (1), S. 1-12.
- Huysman, E., Ickmanns, K., van Dyck, D., Nijs, J., Gidron, Y., Roussel, N., Polli, A., Moens, M., Goudman, L., de Kooning, M. (2018). Association Between Symptoms of Central Sensitization and Cognitive Behavioral Factors in People With Chronic Nonspecific Low Back Pain: A Cross-sectional Study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 41 (2), S. 92-101.
- Ince, L., Leon, M., & Christidis, D. (1985). EMG Biofeedback with Upper Extremity Musculature for Relaxation Training: A Critical Review of the Literature. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 16 (2), S. 133-137.
- Janda, V. (1968). The significance of muscular faulty posture as pathogenetic factor of vertebral disorders. *Archives of Physical Therapy*, 20 (2), S. 113-116.
- Johnston, V., Jull, G., Souvlis, T., & Jimmieson, N. (2008). Neck Movement and Muscle Activity Characteristics in Female Office Workers With Neck Pain. *Spine*, 33 (5), S. 555-563.
- Jorritsma, W., Dijkstra, P., de Vries, G., Geertzen, J., & Reneman, M. (2012). Detecting relevant changes and responsiveness of Neck Pain and Disability Scale and Neck Disability Index. *European Spine Journal*, 21 (12), S. 2550-2557.
- Kebaetse, M., McClure, P., & Pratt, N. A. (1999). Thoracic Position Effect on Shoulder Range of Motion, Strength and Three-Dimensional Scapular Kinematics. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80 (8), S. 945-950.
- Khazan, I. (2013). *The Clinical Handbook of Biofeedback: A Step-by-Step Guide for Training and Practice with Mindfulness*. New Jersey: Wiley-Blackwell.

- Kocur, P., Wilski, M., Lewandowski, J., & Lochinsky, D. (2019). Female Office Workers With Moderate Neck Pain Have Increased Anterior Positioning of the Cervical Spine and Stiffness of Upper Trapezius Myofascial Tissue in Sitting Posture. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 11 (5), S. 476-482.
- Konrad, P. (2005). *EMG Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyographie*. Eigenverlag.
- Kress, S. (2010). Diagnostik von Nackenschmerzen unter Berücksichtigung der Red-Flag-Erkennung. *Manuelle Therapie*, 14 (1), S. 3-6
- Kroenke, K., Spitzer, R., & Williams, J. (2001). The PHQ-9 - Validity of a Brief Depression Severity Measure. *Journal of General Internal Medicine*, 16 (9), S. 606-613.
- Löwe, B., Spitzer, R., Zipfel, S., & Herzog, W. (2002). PHQ-D Gesundheitsfragebogen für Patienten - Manual Komplettversion und Kurzfassung.
- Lüdtke, K., Grauel, L., & Laube, D. (2020). *Screening in der Physiotherapie - Das Flaggensystem, Warnsignale erkennen* (Aufl. 2). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Latremoliere, A., & Woolf, C. (2009). Central sensitization: a generator of pain hypersensitivity by central neural plasticity. *Journal of Pain*, 10 (9), S. 895-926.
- Lawson-Kerr, K., Smith, P., & Beck, D. (1991). Behavioral Neuropsychology: Past, Present, and Future Direction with Organically Based Affect/Mood Disorders. *Neuropsychology review*, 2 (1), S. 65-107.
- Lee, S. T., Moon, J., Lee, S. H., Cho, K. H., Im, S. H., Kim, M., & Min, K. (2016). Changes in Activation of Serratus Anterior, Trapezius and Latissimus Dorsi With Slouched Posture. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 40 (2), S. 318-325.
- Levy, K., Ellison, W., Scott, L., & Bernecker, S. (2010). Attachment Style. *Journal of Clinical Psychology*, 67 (2), S. 193-203.
- Linton, S. J. (2000). A Review of Psychological Risk Factors in Back and Neck Pain. *Spine*, 1 (25), S. 1148-1156.
- Liu, F., Fang, T., Zhou, F., Zhao, M., Chen, M., You, J., Jin, Y., Xie, J., Liu, Z. (2018). Association of Depression/ Anxiety Symptoms with Neck Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis of Literature in China. *Pain research and Management*, 2018, S. 9.
- Luthe, W. (1963). Autogenic Training: Method, Research and Application in Medicine. *American Journal of Psychotherapy*, 17 (2), S. 174-195.
- Ma, C., Szeto, G. P., Tiebin, Y., Wu, S., Lin, C., & Li, L. (2011). Comparing Biofeedback With Active Exercise and Passive Treatment for the Management of Work-Related Neck and Shoulder Pain: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92 (6), S. 849-858.
- Martin, A., & Rief, W. (2009). *Wie wirksam ist Biofeedback? Eine therapeutische Methode*. (Aufl. 1). Bern: Verlag Hans Huber.
- Masi, A. & Hannon, J. (2008). Human resting muscle tone (HRMT): Narrative introduction and modern concepts. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 12 (4), S. 320-332.
- McWilliams, L., & Asmundson, G. (2007). The relationship of adult attachment dimensions to pain-related fear, hypervigilance, and catastrophizing. *The relationship of adult attachment dimensions to pain-related fear, hypervigilance, and catastrophizing*, 127 (1-2), S. 27-34.

- Meredith, P., Ownsworth, T., & Strong, J. (2008). A review of the evidence linking adult attachment theory and chronic pain: Presenting a conceptual model. *Clinical Psychology Review*, 28 (3), S. 407-429.
- Mesin, L. (2020). Crosstalk in surface electromyogram: literature review and some insights. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 43 (2), S. 481-492.
- Mezzarane, R., Kohn, A. (2009). A method to estimate EMG crosstalk between two muscles based on the silent period following an H-reflex. *Medical Engineering & Physics*, 31 (10), S. 1331-1336.
- Michalak, J., Troje, N., Fischer, J., Vollmar, P., Heidenreich, T., & Schulte, D. (2009). Embodiment of Sadness and Depression - Gait Patterns Associated With Dysphoric Mood. *Psychosomatic Medicine*, 71 (5), S. 580-587.
- Murray, C. J. (2013). The State of US Health, 1990-2010: Burden of Diseases, Injuries and Risk Factors. *Journal of the American Medical Association*, 310 (6), S. 591-608.
- Nacke, L., Kalyn, M., Lough, C., & Mandryk, R. (2011). Biofeedback Game Design: Using Direct and Indirect Physiological Control to Enhance Game Interaction. *Proceedings of the CHI 2011 Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 103-112). Vancouver BC Canada: ACM.
- Nestoriuc, Y., Martin, A., Rief, W., & Andrasik, F. (2008). Biofeedback Treatment for Headache Disorders: A Comprehensive Efficacy Review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 33 (3), S. 125-140.
- Page, P. (2011). Shoulder Muscle Imbalance And Subacromial Impingement Syndrome In Overhead Athletes. *International Journal Of Sports Physical Therapy*, 6 (1), S. 51-58.
- Park, S.-H., & Lee, M.-M. (2020). Effects of Lower Trapezius Strengthening Exercises on Pain, Dysfunction, Posture Alignment, Muscle Thickness and Contraction Rate in Patients with Neck Pain; Randomized Controlled Trial. *Medical Science Monitor*, 26, o. S.
- Pfeifer, A.-C., Ehrental, J., Neubauer, E., Gerigk, C., & Schiltenswolf, M. (2016). Einfluss des Bindungsverhaltens auf chronischen und somatoformen Schmerz. *Der Schmerz*, 30 (5), S. 444-456.
- Pillastrini, P., de Lima e Sa Resende, F., Banchelli, F., Burioli, A., di Ciaccio, E., Guccione, A. A., Villafane, J. H., Vanti, C. (2016). Effectiveness of Global Postural Re-education in Patients With Chronic Nonspecific Neck Pain: Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy & Rehabilitation Journal*, 96 (9), S. 1408-1416.
- Pirker-Binder, I. (2008). *Biofeedback in der Praxis* (Bd. 2). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Pool, J. J., Ostelo, R. W., Knol, D., Bouter, L. M., & de Vet, H. C. (2010). Are psychological factors prognostic indicators of outcome in patients with sub-acute neck pain? *Manual Therapy*, 15 (1), S. 111-116.
- Quintner, J., & Cohen, M. (1994). Referred Pain of Peripheral Nerve Origin: An Alternative to the "Myofascial Pain" Construct. *The Clinical Journal of Pain*, 10, S. 243-251.
- Quintner, J., Bove, G., & Cohen, M. (2015). A critical evaluation of the trigger point phenomenon. *Rheumatology*, 54 (3), S. 392-399.
- Rief, W., & Birbaumer, N. (2011). *Biofeedback – Grundlagen, Indikationen, Kommunikation, Vorgehen* (Bd. 3). Stuttgart: Schattauer Verlag.
- Riskind, J. H. (1984). They Stoop to Conquer: Guiding and Self-Regulatory Functions of Physical Posture After Success and Failure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 47 (3), S. 479-493.

- Sawada, T., Okawara, H., Nakashima, D., Iwabuchi, S., Matsumoto, M., Nakamura, M., & Nagura, T. (2020). Reliability of Trapezius Muscle Hardness Measurement: A Comparison between Portable Muscle Hardness Meter and Ultrasound Strain Elastography. *Sensors*, 20 (24), o. S.
- Schellingerhout, J., Verhagen, A., Heymans, M., Koes, B., de Vet, H., & Terwee, C. (2012). Measurement properties of disease-specific questionnaires in patients with neck pain: a systematic review. *Quality of Life research*, 21 (4), S. 559-670.
- Scherer, M., & Chenot, J.-F. (2016). Handlungsempfehlung Nackenschmerzen. *Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin*.
- Seier, Edith (2002). Comparisons of Tests for Univariate Normality. *Department of Mathematics, East Tennessee State University*.
- Shapiro, S., & Lehrer, P. (1980). Psychophysiological Effects of Autogenic Training and Progressive Relaxation. *Biofeedback and Self-Regulation*, 5 (2), S. 249-255.
- Sheng, J., Liu, S., Wang, Y., Cui, R., & Zhang, X. (2017). The Link between Depression and Chronic Pain: Neural Mechanisms in the Brain. *Neural Plasticity*, 2017, o. S.
- Sielski, R., Rief, W., & Glombiewski, J. (2017). Efficacy of Biofeedback in Chronic back Pain: a Meta-Analysis. *International Journal of Behavioural Medicine*, 24 (1), S. 25-41.
- Sommerich, C. M., Joines, S. M., Hermans, V., & Moon, S. D. (2000). Use of surface electromyography to estimate neck muscle activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10 (6), S. 377-398.
- Spinhoven, P., ter Kuile, M., Kole-Snijders, A. M., Mansfeld, M. H., den Ouden, D.-J., & Vlaeyen, J. W. (2003). Catastrophizing and internal pain control as mediators of outcome in the multidisciplinary treatment of chronic low back pain. *European Pain Journal*, 8, S. 211-219.
- Spitzer, R., Kroenke, K., & Williams, J. (1999). Validation and Utility of a Self-report Version of PRIME-MD - The PHQ Primary Care Study. *Journal of American Medical Association*, 282 (18), S. 1737-1744.
- Stecco, A., Stern, R., Fantoni, I., de Caro, R., Stecco, C. (2016). Fascial Disorders: Implications for Treatment. *PM&R*, 8 (2), S. 161-168.
- Hermens, H. J., Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of muscles (2021). *Seniam recommendations for placement and fixation of the sensor*. Abgerufen am 11.11.2021 von <http://www.seniam.org>.
- Szeto, G., Straker, L., & Raine, S. (2001). A field comparison of neck and shoulder postures in symptomatic and asymptomatic office workers. *Applied Ergonomics*, 33 (1), S. 75-84.
- Vasey, M., Thayer, J. (1987). The Continuing Problem of False Positives in Repeated Measures ANOVA in Psychophysiology: A Multivariate Solution. *Psychophysiology*, 24 (4), S. 479-486.
- Veiersted, K., Westgaard, R., & Andersen, P. (1993). Electromyographic evaluation of muscular work pattern as a predictor of trapezius myalgia. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19 (4), S. 284-290.
- Vernon, H. (2008). The Neck disability Index: State-of-the-Art, 1991-2008. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 31 (7), S. 491-502.
- Vernon, H., & Mior, S. (1991). The Neck-Disability-Index: a study of reliability and validity. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 14 (7), S. 409-415.
- Viljanen, M., Malmivaara, A., Uitti, J., Rinne, M., Palmroos, P., & Laippala, P. (2003). Effectiveness of dynamic muscle training, relaxation training, or ordinary activity for chronic neck pain: randomised controlled trial. *BMJ*, 327 (7413), S. 5.

- Waller, E., Scheidt, C., & Hartmann, A. (2004). Attachment Representation and Illness Behavior in Somatoform Disorders. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 192 (3), S. 200-209.
- Wang, C., McClure, P., Pratt, N., & Nobilini, R. (1999). Stretching and Strengthening Exercises: Their Effect on Three-Dimensional Scapular Kinematics. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80 (8), S. 923-929.
- Westgaard, R. H., Mork, P. J., Loras, H. W., Riva, R., Lundberg, U. (2013). Trapezius activity of fibromyalgia patients is enhanced in stressful situations, but is similar to healthy controls in a quiet naturalistic setting: a case-control study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 14 (97), o.S.
- Williams, S., & French, D. (2011). What are the most effective intervention techniques for changing physical activity self-efficacy and physical activity behaviour—and are they the same? *Health Education Research*, 26 (2), S. 308-322.
- Williams, A., & Craig, K. (2016). Updating the definition of pain. *Pain*, 157 (11), S. 2420-2423.
- Willweber-Strumpf, A., Zenz, M. & Bartz, D. (2000). Epidemiologie chronischer Schmerzen. *Schmerz*, 14, S. 84-91.
- Winstein, C. J., Schmidt, R. A. (1990). Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *Journal of Experimental Psychology – Learning, Memory and Cognition*, 16 (4), S. 677-691.
- Wlodyka-Demaille, S., Poiraudou, S., Catanzariti, J.-F., Rannou, F., Fermanian, J., & Revel, M. (2002). French Translation and Validation of 3 Functional Disability Scales for Neck Pain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83 (3), S. 376-382.
- Wong, J. J., Shearer, H. M., Mior, S., Jacobs, C., Cote, P., Randhawa, K., Yu, H., Southerst, D., Varathajaran, S., Sutton, D., van der Velde, G., Carroll, L. J., Ameis, A., Ammendolia, C., Brison, R., Nordin, M., Stupar, M., Taylor-Vaisey, A. (2016). Are manual therapies, passive physical modalities, or acupuncture effective for the management of patients with whiplash-associated disorders or neck pain and associated disorders? An update of the Bone and Joint Decade Task Force on Neck Pain and Its Ass. *The Spine Journal*, 16 (12), S. 1598–1630.
- Zepa, I., Hurmerinta, K., Kovero, O., Nissinen, M., Könönen, M., & Huggare, J. (2000). Association between thoracic kyphosis, head posture, and craniofacial morphology in young adults. *Acta Odontologica Scandinavica*, 58 (6), S. 237-42.
- Zis, P., Daskalaki, A., Bountouni, I., Varrassi, P., & Paladini, A. (2017). Depression and chronic pain in the elderly: links and management challenges. *Clinical Interventions in Aging*, 12, S. 709-720.