

INTERVENTIONSSTUDIE ZUM VERGLEICH DER  
GLEICHGEWICHTSKONTROLLE BEI CMD-PATIENTEN UND GESUNDEN  
MENSCHEN UNTER BELASTETEM UND ENTLASTETEM  
TEMPOROMANDIBULÄREM SYSTEM

Masterthesis zur Erlangung des akademischen Grades  
Master of Science

Im Universitätslehrgang Muskuloskeletal Physiotherapy

eingereicht von  
Philipp Kiehm

Department für Gesundheitswissenschaften und Biomedizin  
an der Donauuniversität Krems

Betreuerfachgutachter/in: Alice Bernadette Liwerski, Zahnärztin  
Fachgutachter/in: Ralf Kusch, M. Sc.  
Fachgutachter/in: Dipl.-Soz. Wiss. Yvonne Ziert, MSc Public Health  
Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Stefan Nehrer

Isernhagen, 30.08.2018

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich, Philipp Kiehm, [REDACTED] erkläre,

1. dass ich meine Masterthesis selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keine unerlaubten Hilfsmittel bedient habe,
2. dass ich meine Masterthesis bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
3. dass ich falls die Masterthesis mein Unternehmen oder externen Kooperationspartner betreffe, meinen Arbeitgeber über Titel, Form und Inhalt unterrichtet und sein Einverständnis eingeholt habe.

Unterschrift:

Isernhagen, den 30.08.2018

## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich zuerst bei allen Probanden bedanken, die sich die Zeit genommen haben, an den Untersuchungen teilzunehmen. Nur durch deren Engagement konnten ausreichend Messdaten erhoben werden, welche die Grundlage für diese Masterthesis bilden. Ebenso gebührt mein Dank Ralf Kusch für die Nutzung des Messinstrumentes und der Räumlichkeiten sowie seiner fachlichen Unterstützung während des Erstellens der Masterthesis. Des Weiteren danke ich Rainer Hoffmann für die statistische Beratung sowie meinen Eltern für die Unterstützung und meiner Partnerin Babett Mordhorst, die mir in der intensiven Zeit des Verfassens den Rücken freihielt, sodass ich mich voll und ganz auf das Projekt konzentrieren konnte.

## KURZFASSUNG

**Hintergrund:** Die CMD (Craniomandibuläre Dysfunktion) wird zunehmend in Zusammenhang mit komplexen Funktionsstörungen des Bewegungsapparates gebracht. Selbst Assoziationen der CMD und Okklusion zu Haltung und Gleichgewichtskontrolle sind neurophysiologisch vorstellbar, jedoch gibt es bislang nur wenig Evidenz für die Zusammenhänge. Die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen sind kontrovers diskutiert. Das Ziel dieser Pilotstudie ist es herauszuarbeiten, inwiefern es einen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen CMD-Patienten und gesunden Probanden gibt. Zusätzlich wird der Einfluss unter belastetem und entlastetem TMS (Temporomandibuläre System) auf die Gleichgewichtskontrolle analysiert. **Methode:** Für die monozentrische Studie wurden 48 Probanden rekrutiert und anhand des CMD-Kurzbefundes nach der Wahrscheinlichkeit einer CMD in eine CMD- und eine Kontrollgruppe geteilt. Mithilfe einer computergestützten Messplattform (MFT-S3-Check) wurde die Gleichgewichtskontrolle der Probanden objektiv erfasst und die Ergebnisse miteinander verglichen. Die Messungen erfolgten jeweils unter belastetem TMS (isometrische Kontraktion der Kaumuskulatur) und entlastetem TMS (entspannte Kaumuskulatur mit Watterolle zwischen den Zähnen). **Ergebnisse:** Die CMD-Gruppe erreichte im Durchschnitt einen leicht besseren Stabilitätsindex von  $5,18 \pm 0,78$  als die Kontrollgruppe mit  $5,31 \pm 0,58$  ( $p = 0,51$ ). Innerhalb der CMD-Gruppe betrug die Mittelwertdifferenz zwischen entlastetem und belastetem TMS  $0,15 \pm 0,10$  ( $p = 0,12$ ), innerhalb der Kontrollgruppe  $0,01 \pm 0,09$  ( $p = 0,94$ ). **Schlussfolgerung:** Die Pilotstudie konnte mittels des MFT-S3-Checks keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Gleichgewichtskontrolle zwischen der CMD- und Kontrollgruppe feststellen. Ebenso gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede innerhalb der Gruppen zwischen entlastetem und belastetem TMS.

**Stichworte:** CMD, Gleichgewichtskontrolle, MFT-S3-Check

## ABSTRACT

**Background:** TMDs (temporomandibular disorders) are increasingly connected with functional disorders of the musculoskeletal system. Even associations of TMD and occlusion with posture and balance control are neurophysiological possible, but until now there is only few evidence for this connection. The results of previous studies are discussed controversially. The aim of this pilot study was to investigate if there is a difference in balance control between patients with TMD and healthy subjects. Moreover, the influence on balance control under tight and relaxed TMS (temporomandibular system) is analysed. **Method:** For the mono-center-study 48 subjects were recruited and according to a TMD short diagnosis for the probability of TMD distributed into TMD- and control- group. By a computer assisted measurement platform (MFT-S3-Check) the balance control was determined objectively and the results were compared. The measurements were done each under tight TMS (isometric contraction of masticatory muscles) and relaxed TMS (relaxed masticatory muscles with a cotton roll between the teeth). **Results:** The TMD-group reached in average a slightly better stability index of  $5,18 \pm 0,78$  than the control group with  $5,31 \pm 0,58$  ( $p = 0,51$ ). Within the CMD group the difference of means between tight and relaxed TMS was  $0,15 \pm 0,10$  ( $p = 0,12$ ), within the control group  $0,01 \pm 0,09$  ( $p = 0,94$ ). **Conclusion:** The pilot study was not able to detect statistically significant differences in balance control between TMD- and control-group by MFT-S3-Checks. Moreover, there were not statistically significant differences between relaxed and tight TMS.

**Keywords:** TMD, balance control, MFT-S3-Check

# Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....	I
DANKSAGUNG .....	II
ABSTRACT .....	IV
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Das Kiefergelenk – „schwindelerregend“ komplex?.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Forschungsfrage und Ziel der Arbeit .....</b>	<b>7</b>
<b>2 THEORETISCHER HINTERGRUND.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Kiefer.....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Anatomie .....	9
2.1.2 Biomechanik.....	9
<b>2.2 Obere Halswirbelsäule.....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Anatomie .....	11
2.2.2 Biomechanik.....	12
<b>2.3 Zusammenhänge im Kiefer-Kopfgelenkskomplex .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Funktionelle Zusammenhänge .....	14
2.3.1.1 Kopf und Hals als kinematische Kette.....	14
2.3.1.2 Verbindungen des kraniozervikalen- und sacroiliacalen Systems .....	18
2.3.2 Neuroanatomische Zusammenhänge .....	19
<b>2.4 Sonderstellung der oberen Halswirbelsäule.....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Sensorische Funktion der oberen Halswirbelsäule .....	20
2.4.2 Syndrom der zervikalen Gleichgewichtstörung.....	22
<b>2.5 Craniomandibuläre Dysfunktion .....</b>	<b>24</b>
2.5.1 Definition und Geschichte .....	24
2.5.2 Epidemiologie.....	25
2.5.3 Ätiologie .....	25
2.5.4 Symptome im Verlauf.....	26
2.5.5 Klassifikation und Diagnosealgorithmen .....	27
<b>3 METHODIK.....</b>	<b>28</b>

<b>3.1</b>	<b>Studiendesign</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Literaturrecherche</b> .....	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Probanden</b> .....	<b>29</b>
3.3.1	Rekrutierung .....	29
3.3.2	Ein- und Ausschlusskriterien .....	30
3.3.3	Randomisierung und Verblindung .....	31
3.3.4	Untersuchungsdurchführung .....	31
3.3.5	Datenerfassung .....	33
3.3.6	Probandenfluss .....	33
<b>3.4</b>	<b>Testverfahren</b> .....	<b>34</b>
3.4.1	CMD-Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat .....	34
3.4.2	S3-Check .....	37
<b>3.5</b>	<b>Statistische Methoden</b> .....	<b>38</b>
<b>3.6</b>	<b>Stichprobengröße</b> .....	<b>39</b>
<b>3.7</b>	<b>Outcome</b> .....	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Deskription und Vergleichbarkeit der Stichproben</b> .....	<b>41</b>
4.1.1	Altersverteilung .....	41
4.1.2	Geschlechtsverteilung .....	42
4.1.3	Körpergrößenverteilung .....	43
4.1.4	Körpergewichtsverteilung .....	44
4.1.5	BMI-Verteilung .....	45
4.1.6	Korrelationsanalyse .....	46
<b>4.2</b>	<b>Ergebnisse des CMD-Kurzbefundes nach Ahlers und Jakstat</b> .....	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Analyse der primären Endpunkte</b> .....	<b>50</b>
4.3.1	Messwerte im Überblick .....	50
4.3.2	Gleichgewichtskontrolle bei CMD-Patienten und gesunden Probanden .....	51
4.3.3	Gleichgewichtskontrolle bei belasteten und entlasteten TMS .....	52
4.3.3.1	Innerhalb der CMD-Gruppe .....	53
4.3.3.2	Innerhalb der Kontrollgruppe .....	54
4.3.3.3	Analyse der subjektiven Erwartung (Placebo-Kontrolle) .....	55
<b>4.4</b>	<b>Analyse der sekundären Endpunkte</b> .....	<b>57</b>
4.4.1	Fragebogen .....	57

4.4.2	Subgruppenanalyse innerhalb der CMD-Gruppe .....	69
4.4.2.1	Sportler und Nicht-Sportler .....	69
4.4.2.2	Probanden mit und ohne HWS-Trauma.....	71
4.4.2.3	Probanden mit und ohne Schwindel.....	72
4.4.2.4	Probanden mit und ohne Tiefziehschiene .....	74
4.4.2.5	Probanden mit und ohne CMD-Schiene .....	75
4.4.2.6	Probanden mit und ohne kieferorthopädische(r) Behandlung (KFOB).....	76
<b>4.5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>78</b>
4.5.1	Primäre Endpunkte.....	78
4.5.2	Sekundäre Endpunkte .....	78
4.5.2.1	Fragebogen .....	78
4.5.2.2	Subgruppenanalyse innerhalb der CMD-Gruppe.....	79
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>80</b>
<b>5.1</b>	<b>Methodik.....</b>	<b>80</b>
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>85</b>
<b>5.3</b>	<b>Empfehlungen für zukünftige Forschung.....</b>	<b>92</b>
<b>6</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>94</b>
	LITERATURVERZEICHNIS .....	96
	TABELLENVERZEICHNIS.....	103
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	105
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	107
	ANHANG.....	108

## 1 Einleitung

### 1.1 Das Kiefergelenk – „schwindelerregend“ komplex?

Das „oberste Kopfgelenk“ ist klein und unscheinbar und doch von fundamentaler Bedeutung. Ohne diese Struktur wären wesentliche Funktionen des menschlichen Organismus eingeschränkt oder gar nicht erst möglich. Was wäre der Mensch ohne Nahrungsaufnahme, ohne Sprache? Neben solch offensichtlichen Funktionen wird in der Manuellen Therapie und Zahnmedizin das Kiefergelenk auch in die Diagnose von komplexen Zusammenhängen miteinbezogen. Das Kiefergelenk – ein unterschätztes Gelenk. Lange Zeit galt es im klinischen Alltag als praktisch nicht vorhanden, keine Instanz schien sich mit diesem kleinen und doch so wichtigen Gelenk beschäftigen zu wollen. Vielleicht lag es daran, dass eine genaue Diagnose und Behandlung in diesem Bereich wenig erforscht und deshalb äußerst schwierig ist. „Die erste Benennung (Costen-Syndrom) geht auf den amerikanischen HNO-Arzt James Costen (1985-1962) zurück, der 1934 als einer der Ersten auf Zusammenhänge zwischen seiner Fachdisziplin und Kiefergelenkstörungen hinwies.“ (Bartrow, 2011) Doch gerade in den letzten Jahren rückt die Dysfunktion des TMS und dessen Einfluss auf den restlichen Organismus in den Fokus der Medizin. Ob dies die Folge eines sensibleren Vorgehens der Ärzte und Therapeuten ist oder es ein reales, vermehrtes Auftreten von Symptomen im Bereich des Kiefergelenkes gibt, bleibt ungeklärt. Laut Epidemiologie treten bei 40-55 % der Bevölkerung Auffälligkeiten am Kiefergelenk auf, davon hatten lediglich 20-33 % subjektiv Beschwerden und nur 3-4 % gelten als objektiv therapiebedürftig (Heymann und Smolenski, 2011). Diese Daten lassen vermuten, dass dieses umfangreiche Krankheitsbild nicht zwangsläufig zu Schmerzen am Kiefergelenk führt und somit eventuell in der Therapie komplexer Schmerzgeschehen und Funktionsstörungen wenig Beachtung findet. Um lokale Störungen des Kiefergelenkes zu diagnostizieren, entwickelten Ärzte Screening-Modelle (Ahlers und Jakstat, 2015) um eine Wahrscheinlichkeitsaussage bezüglich einer lokalen Dysfunktion aufzustellen. Bedeutend schwieriger ist es festzustellen, inwiefern diese lokale Störung Einfluss auf den restlichen Körper des Patienten hat. Vor allem die neurophysiologischen Zusammenhänge, die im Kapitel „Theoretischer Hintergrund“ ausführlich erläutert werden, bilden die Grundlage für die Diskussion, inwieweit das Kiefergelenk an komplexen Funktionen des sensomotorischen Systems beteiligt ist.

Bekannt ist, dass Störungen des Kiefergelenkes Funktionsstörungen und Schmerzen in die Kopfgelenke projizieren. Wird bei Patienten mit Störungen der Kopfgelenke zusätzlich das Kiefergelenk untersucht und behandelt, so ist der Behandlungserfolg deutlich höher im Vergleich zur isolierten Behandlung der oberen Halswirbelsäule. Diese Behandlungsstrategie lässt den gegenseitigen Einfluss der einzelnen Systeme erkennen (von Piekartz und Hall, 2013). In einer weiteren Studie von Greenbaum et al. (2017) wurde der Zusammenhang zwischen myogener CMD und der Beweglichkeit der oberen Halswirbelsäule untersucht. Dabei vergleicht er Patienten mit myogener CMD mit solchen, die keine Dysfunktion des Kiefers zeigten. Als Vergleichsparameter nutzte er den Flexions-Rotations-Test. Dieser Test gibt einen schnellen Überblick über die Rotationsfähigkeit im Seitenvergleich der oberen Halswirbelsäule, vor allem bei C1. Hall und Robinson (2004) untersuchten dessen Gültigkeit und konnten dies bestätigen. Dabei traten bei 90 % der Patienten mit myogener CMD Funktionsstörungen der oberen Halswirbelsäule auf, in der gesunden Kontrollgruppe jedoch nur bei 5 %. Die Ergebnisse zeigen einen potentiellen Einfluss einer myogenen CMD auf die Beweglichkeit der oberen Halswirbelsäule. Aus der Anatomie und Biomechanik ist bekannt, dass die Position des Caput mandibulae vor allem durch das korrekte Ineinandergreifen der Zähne, die Okklusion, bestimmt wird. Gibt es hier starke Abweichungen wie z.B. Überbiss oder Kreuzbiss, kommt es zur Veränderung der physiologischen Biomechanik des Kiefergelenkes. Wie diese im Detail abläuft, wird im Teil „Theoretischer Hintergrund“ beschrieben. In der Zahnmedizin versucht man seit langem, mithilfe von Schienen das fehlgestellte Kiefergelenk zu zentralisieren und den fehlerhaften propriozeptiven Input zu unterbrechen. Wie stark der Einfluss der Okklusion auf die Beweglichkeit und Schmerzen der Halswirbelsäule ist, konnten Walczynska-Dragon et al. (2014) in ihrer RCT darstellen. Dabei wurden Patienten mit Zeichen einer CMD und Nackenschmerzen sowie Funktionseinschränkung der Halswirbelsäule mit einer Relaxierungsschiene „SVED“ (Sagittal Vertical Extrusion Device) versorgt. Dabei kam es im Vergleich zur Kontrollgruppe zu deutlichen Verbesserungen in allen Parametern. Diese Untersuchungen zeigen, wie stark die Leistungsfähigkeit der Halswirbelsäule von dem Kiefergelenk einschließlich der Okklusion abhängt. Ein Erklärungsmodell für solche Studienergebnisse findet sich in der Neuroanatomie des Hirnstamms. Dieser bildet den Übergang vom Rückenmark zum Großhirn. Er enthält wichtige Leitungsbahnen und Kerngebiete einiger

Hirnnerven, unter anderem des N. trigeminus. Somit kann man annehmen, dass es zu Durchmischungen der Konvergenzen aus der oberen Halswirbelsäule und den Trigeminskernen kommen kann und daher die gegenseitige Beeinflussung der beiden Systeme, wie in den vorherigen Studienergebnissen dargestellt, auch neuroanatomisch vorstellbar wäre. Die obere Halswirbelsäule hat – neben der rein biomechanischen Funktion, den Kopf zu bewegen und die Augen auf Horizontallinie zu halten – auch wichtige sensorische Funktionen. Die Rezeptorendichte in ihren kurzen Muskeln ist ähnlich hoch wie in den Augenmuskeln, sodass eine präzise Steuerung des Kopfes, als Träger wichtiger Sinnesorgane, unabhängig vom Rumpf möglich ist. Somit hat die obere Halswirbelsäule einen wichtigen Anteil an der Erzeugung von propriozeptivem Input und an der Generierung des Gleichgewichts und der Koordination im Raum. Laut Wolff (1988) ist dieser Bereich ein zusätzliches Sinnesorgan der Gleichgewichtsregulation. Die Störung der Gleichgewichtsfähigkeit und das Auftreten von Schwindelsymptomen bedingt durch die Halswirbelsäule wird als zervikogener Schwindel bezeichnet. Galm et al. (1998) konnten bei 62 % der Patienten mit Schwindelsymptomatik die Halswirbelsäule als Ursache feststellen. Die Denkmodelle und Hypothesen, die dem cervicalen Schwindel zugrunde liegen, werden im Abschnitt „cervicaler Schwindel“ erläutert. Anhand der aktuellen Studienlage und neurophysiologischer Zusammenhänge wird ersichtlich, wie komplex das TMS in den Organismus eingebunden ist. Die Untersuchungen zeigen, dass das Kiefergelenk die Funktion der oberen Halswirbelsäule beeinflussen kann. Ein hochsensibler Bereich des Körpers, der unabhängige Bewegungen des Kopfes von der Rumpfregeion zulässt und mit seiner sensorischen Funktion einen großen Anteil an der Gleichgewichtskontrolle und Koordination im Raum hat. Demnach wäre es vorstellbar, dass das Kiefergelenk über den Komplex der Kopfgelenke das Gleichgewicht beeinflussen kann. Die Literaturrecherche ergab, dass nur wenige Studien den direkten Einfluss des TMS auf die Gleichgewichtskontrolle untersuchten. Insgesamt ließen sich nur 15 ähnliche Studien finden, die den Zusammenhang zwischen Kiefergelenk und Haltung beziehungsweise Gleichgewicht beinhalten. Deshalb ist es Ziel dieser Masterarbeit, Grundlagenforschung zu betreiben und herauszufinden, ob es einen statistisch signifikanten und klinisch relevanten Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen CMD-Patienten und gesunden Menschen gibt.

Zusätzlich werden Statusänderungen des Kiefers bezüglich Entlastung und Belastung in die Untersuchungen miteinbezogen.

## **1.2 Forschungsfrage und Ziel der Arbeit**

Aus den in der Einleitung erläuterten komplexen Zusammenhängen ergeben sich als Basis für diese Masterthesis folgende Forschungsfragen mit den jeweiligen Hypothesen für den statistischen Prüfungsgang:

Gibt es einen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen Patienten mit craniomandibulärer Dysfunktion und gesunden Menschen?

*H0: Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen Patienten mit craniomandibulärer Dysfunktion und gesunden Menschen.*

*H1: Es gibt einen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen Patienten mit craniomandibulärer Dysfunktion und gesunden Menschen.*

Gibt es einen Unterschied der Gleichgewichtskontrolle zwischen entlastetem und belastetem temporomandibulärem System innerhalb der CMD-Gruppe und der Kontrollgruppe?

*H0: Es gibt keinen Unterschied zwischen entlastetem und belastetem temporomandibulärem System innerhalb der CMD-Gruppe und der Kontrollgruppe.*

*H1: Es gibt einen Unterschied zwischen entlastetem und belastetem temporomandibulärem System innerhalb der CMD-Gruppe und der Kontrollgruppe.*

Die Masterthesis hat das Ziel, Argumente zur Diskussion herauszubilden, inwiefern es aus Sicht der Anatomie und Neurophysiologie möglich scheint, dass das Kiefergelenk einen Einfluss auf das Gleichgewicht des Menschen hat. Darüber hinaus versucht diese experimentelle Studie den theoretischen Zusammenhang messbar darzustellen.

Mithilfe eines Fragebogens sollen die Stichproben analysiert, das Outcome eingegrenzt und durch Subgruppenbildung differenziert betrachtet werden.

## **2 Theoretischer Hintergrund**

### **2.1 Kiefer**

#### **2.1.1 Anatomie**

Das Kiefergelenk (Articulatio temporomandibularis) stellt eine bilaterale gelenkige Verbindung vom Unterkieferknochen zum Schädel dar. Es wird anatomisch in zwei Kammern unterteilt. In der oberen Kammer artikuliert der Diskus mit der konkav geformten Fossa mandibularis. In der unteren Kammer artikuliert der Diskus mit dem konvex geformten Caput mandibulae. Das Kiefergelenk ist von einer schlaffen Gelenkkapsel umgeben, wobei diese seitlich durch das Lig. laterale stabilisiert wird. Im hinteren Teil befindet sich die bilaminäre Zone, die eine hohe Dichte an Sensoren aufweist und damit an der propriozeptiven Steuerung des Kauvorgangs beteiligt ist. Zudem können sowohl die bilaminäre Zone als auch die gesamte Kapsel im Falle einer Traumatisierung nozizeptive Afferenzen generieren, die über den Ast des Mandibularis des N. Trigemini abgeleitet werden.

#### **2.1.2 Biomechanik**

Die Stellung der Gelenkpartner des Kiefergelenkes zueinander wird vor allem durch die Verzahnung des Ober- und Unterkiefers realisiert. Die habituelle Okklusion führt beim Gesunden zu einer Zentralisierung des Caput mandibulae und Diskus articularis zur Fossa mandibularis. In dieser zentrischen Lagebeziehung sind alle Kapselanteile gleichermaßen entspannt (Bartrow, 2011). Es wird deutlich, dass Okklusionsstörungen wie „Überbiss“ und „offener Biss“ die Zentrik des Kiefergelenkes beeinflussen und fehlerhafte Propriozeption sowie Nozizeption generieren können. Bei der Mundöffnung kommt es zur Auflösung der Verzahnung; dieser Vorgang wird nun muskulär und ligamentär gesteuert. Initial (20-25mm Mundöffnung) kommt es in der unteren Kammer zu einem Ventralgleiten und Rollen nach dorsal des Caput mandibulae. Darauf folgen Bewegungen in der oberen Kammer: der durch den M. pterygoideus lateralis gesteuerte Diskus articularis translatiert nach ventral unter das Tuberculum articulare (Kusch, 2012). Der Diskus articularis stellt somit eine transportable Gelenkebene dar und ermöglicht große dreidimensionale Bewegungen des Unterkiefers. Die maximale

Mundöffnung beträgt beim Gesunden etwa 40-50mm und wird durch den M. pterygoideus lateralis, M. digastricus und der Zungenbeinmuskulatur gesteuert (Heymann und Smolenski, 2011). Beim Mundschluss und Kauen sind hauptsächlich der M. masefer, M. temporalis und M. pterygoideus medialis beteiligt. Der M. temporalis ist mit einer Kraftentfaltung von 36 kp der kräftigste Kaumuskel, gefolgt vom M. masefer mit 29 kp. Die daraus resultierenden Kräfte belaufen sich im Frontzahnbereich um 250 N, im Eckzahnbereich um 400 N und im Backenzahnbereich um 700 N (Schuhmacher und Schmidt, 1990). Eine wichtige evolutionäre Besonderheit des menschlichen Kiefers sind der Processus coronoideus der Mandibula und die unterschiedlich ausgerichteten Kraftvektoren, die auf den Kiefer einwirken. Dieser Knochenvorsprung dient als Ansatz und Hebelarm des M. temporalis und verringert die Druckbelastung im Kiefergelenk beim Kauen. Somit ist es möglich, bei starken Kaubelastungen auf den hinteren Backenzähnen (Unterstützungszone) den Druck im Kiefergelenk vergleichsweise gering zu halten (Abbildung 1). Bei Bruxissmus kann es zum Abschleifen der Zahnschubstanz (Abrasionen) auch in der Unterstützungszone kommen. Ist dies der Fall, kommt es zur pathologischen Veränderung der Biomechanik und zur massiven Druckerhöhung in den Kiefergelenken mit dem Risiko der Präarthrose, Diskusverlagerungen und mechanischer Irritationen der bilaminären Zone durch das fehlgestellte Caput mandibulae nach retro-cranial.

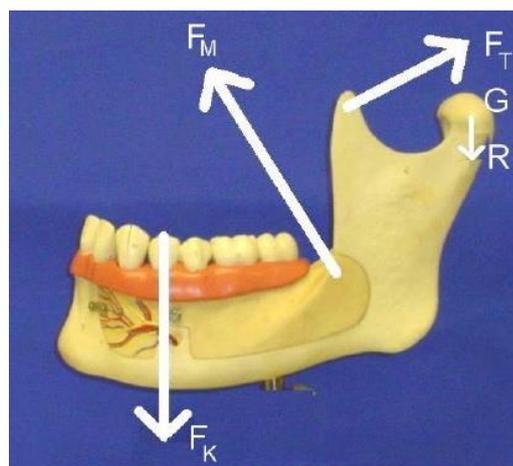


Abbildung 1: Kraftvektoren am menschlichen Kiefer (Colicchia, Künzl und Wiesner, n.d., p.2)

## **2.2 Obere Halswirbelsäule**

### **2.2.1 Anatomie**

Der Funktionskomplex der oberen Halswirbelsäule, auch als Kopfgelenke bezeichnet, setzt sich aus zwei Bereichen zusammen: der *Articulatio atlantooccipitalis* (oberes Kopfgelenk) und der *Articulatio atlantoaxialis* (unteres Kopfgelenk). Gliedert man diese Bereiche weiter auf, so ergeben sich insgesamt sechs Einzelgelenke, die im Folgenden erläutert werden.

#### ***Articulatio atlantooccipitalis***

In diesem Bereich artikulieren die konvex geformten Occiputcondylen (*Condylus occipitalis*) mit den konkaven Gelenkflächen des Atlas (*Fovae articulares superiores*). „Die Gelenkflächen sind symmetrisch aufgebaut und weisen eine längsovale, gelegentlich bohnenförmige Gestalt auf...“ (Dvorak, 1988). Die Kontaktflächen des Atlas können von Mensch zu Mensch unterschiedlich ausgebildet sein. „Nicht selten sind die Knorpelflächen in der Mitte eingeschnürt oder unterteilt.“ (Kapandji, 2006). Die Gelenkflächen sind räumlich so angeordnet, dass sie als Bestandteil einer großen Kugeloberfläche angesehen werden können.

#### ***Articulatio atlantoaxialis***

Im unteren Kopfgelenk artikulieren der Atlas mit dem darunterliegenden Axis über insgesamt vier Gelenke. In den beiden seitlichen Gelenken artikuliert die untere Gelenkfläche des Atlas (*Facies articularis inferior*) mit den oberen Gelenkflächen des Axis (*articularis superior*). Diese Abschnitte weisen einen stark ausgeprägten Knorpelüberzug von 1,4 - 3,2 mm Stärke auf. Dabei sind beide Gelenkflächen in der sagittalen Ebene konvex, in der horizontalen Ebene plan geformt. Das dritte Gelenk befindet sich zentral und wird aus dem *Dens axis* und der Dorsalfläche des vorderen Atlasbogens gebildet. Zusätzlich artikuliert der dorsale Anteil des *Dens* über einen Gleitbeutel (*Bursa atlantodentalis*) mit dem *Lig. transversum*.

### 2.2.2 Biomechanik

Die Flexion der oberen Halswirbelsäule wird vom Occiput eingeleitet. Dabei kommt es zum Dorsalgleiten der Occiputcondylen auf dem Atlas. Dadurch wird die Distanz zwischen Occiput und hinterem Atlasbogen vergrößert. „Diese Inklinationsbewegung wird gehemmt durch die Anspannung des Lig. nuchae, des Lig. longitudinale posterius, des Fasciculus longitudinalis, des Lig. cruciforme und der Membrana tectoria sowie der subokzipitalen Muskulatur...“ (Dvorak, 1988). Ist im oberen Kopfgelenk das Bewegungsausmaß erschöpft, kommt es zur weiterlaufenden Bewegung nach unten. Bei C1 kommt es aufgrund der limitierenden Wirkung des Dens und des straffen Lig. transversum nur zu kleinen Rollbewegungen nach ventral und Gleitbewegungen nach dorsal. Der Atlas kippt nach ventral und am Ende der Bewegung klafft die Gelenkfläche am vorderen Atlasbogen etwas. Beim Bewegen des hinteren Atlasbogens nach cranial wird auch hier durch die Anspannung der Ligamente die Bewegung auf C2 und die restliche Halswirbelsäule übertragen. Wird die Halswirbelsäule endgradig flektiert, so kommt es zur paradoxen Atlaskippung. Dies geschieht, wenn der Schwerpunkt des Kopfes weit genug ventral der Drehachse für die Flexionsbewegung liegt. Da sich bei diesem Phänomen der hintere Atlasbogen dem Occiput wieder annähert, bewegt sich der Kopf relativ gesehen nach hinten. Dadurch kommt es zur lokalen Aufhebung der starken Kyphose mit einhergehender Entlastung der neuralen Strukturen. Bei Extension der oberen Halswirbelsäule kommt es zum umgekehrten Bewegen der bisher erläuterten Vorgänge. Dies wird begrenzt durch die Anspannung der ventralen Muskulatur, der Aponeurose des M. biventer, Lig. longitudinale anterius und durch die Ligg. alaria. Der Gesamtbewegungsausschlag für die Rotation um die Transversalachse beträgt ca. 30°. Dabei entfallen anteilig 8-13° auf C0 und 10-15° auf C1.

Die Seitneigung in den Kopfgelenken ist nur gering möglich. Der Grund dafür ist die stabile Absicherung durch die Ligg. alaria und dem Dens des Axis. Da die Spannung in diesen Bändern mit zunehmender Extension der Halswirbelsäule steigt, zeigen sich die größten Bewegungsausschläge der Seitneigung aus leichter Flexionsstellung der Halswirbelsäule. Bei Seitneigung des Kopfes nach rechts gleiten die Occiputcondylen nach links. Durch die Abstandsvergrößerung zwischen dem linken Condylus und dem Dens kommt es zu einer Straffung des linken Lig. alare, dass somit die Seitneigung für

das Segment C0 begrenzt. Durch diese Seitneigung von C0 steigt gleichzeitig die Druckbelastung auf die rechte Massae lateralis, wobei diese nach rechts translatiert und somit auch C1 in Seitneigung nach rechts bewegt. Aufgrund der zunehmenden Kompression zwischen Atlas und Axis und der Spannung des linken Lig. alare kommt es zur Zwangsrotation und Seitneigung des Axis nach rechts auf C3. „Durch die Rechtsrotation des Axis unter dem dabei relativ still stehenden Atlas bewegt sich die rechte inferiore Gelenkfläche des Atlas ventral der rechten superioren Gelenkfläche des Axis etwas nach caudal. Auf der linken Seite senkt sich die linke inferiore Atlasgelenkfläche hinter der Axisgelenkfläche ab...“ (Kusch, 2012). Dieses Phänomen nennt man „Screw down“ des Atlas, wodurch sich die Ligamente entspannen und weitere Bewegung in Seitneigung möglich ist. Insgesamt sind Bewegungsausschläge von 8° je Seite möglich, wobei nur ca. 3° bei C0 stattfinden.

Die Kopfgelenke stellen mit 45° Rotation je Seite die Hälfte der Gesamtrotation der Halswirbelsäule. Dabei findet diese fast ausschließlich bei C1 statt. Die Rotationsmöglichkeit von C0 wurde viele Jahre kontrovers diskutiert, jedoch durch die Untersuchungen von Dvorak et al. (1987) mittlerweile anerkannt. Er bestätigte mit durchschnittlich 4,3° eine – wenn auch geringe – Möglichkeit zur Rotation. Bei Linksrotation dreht sich die Schädelbasis auf dem Atlas nach links. Somit gleitet die rechte Condyle des Occiput nach ventral, die linke nach dorsal. Nach wenigen Graden ist das Bewegungsausmaß erschöpft und es kommt zur Mitbewegung des Atlas in Rotation nach links. Ab ca. 25° Rotation führt die Spannung im rechten Lig. alare zu einer Linksrotation von C2 mit der dazugehörigen gekoppelten Seitneigung nach links. Zusätzlich wird durch die Bandspannung C0 in Seitneigung rechts gezwungen. Beide Vorgänge verringern die Bandspannung und gewährleisten dadurch weitere Rotation von C1 bis ca. 43°. Die Rotationsachse für das Occiput und den Atlas liegt dabei im Dens und wird durch das Lig. transversum gesichert.

Es ist von Bedeutung zu wissen, welche Bewegungsmöglichkeiten die einzelnen Gelenkabschnitte aufweisen. Jedoch ist es auch wichtig zu verstehen, dass die Teilgelenke nicht isoliert angesteuert werden können. Das obere und untere Kopfgelenk sind über knöcherne Strukturen wie den Dens und die Bandstrukturen direkt miteinander verbunden, wodurch Funktionsstörungen in einem Segment zwangsläufig zu geänderter Biomechanik des gesamten Komplexes der oberen Halswirbelsäule führen müssen. Das Bewegungssegment C2 sollte ebenfalls zur

oberen Halswirbelsäule hinzugezählt werden. Zum einem ist die besondere Festigkeit der anatomischen Verbindung von C2 und C3 auffällig, gerade im Vergleich zu dem darunterliegenden Segment, welches relativ viel Bewegung zulässt. Es scheint, als ob C3 ein stabiles Fundament für C2 darstellt (Neuhuber, 2007). Auch aus Sicht der Biomechanik gehört das Segment C2 zur oberen Halswirbelsäule, da z.B. bei einer Rotation des Kopfes nach links durch das rechte Lig. alare eine Seitneigung links von C2 auf C3 provoziert wird. Ist diese Seitneigung aufgrund lokaler Funktionsstörungen von C2 eingeschränkt, kann der Dens der Zugrichtung des rechten Lig. alare nicht folgen und verhindert somit direkt die Rotation nach links. Zusätzlich kommt es auf der rechten Seite zu einer verminderten Annäherung zwischen oberer Axisgelenkfläche und Occiput, wodurch sich nicht genügend Druck auf der rechten Massae lateralis des Atlas aufbaut. Ist der Druck zu gering, translatiert der Atlas nicht weit genug nach rechts, wodurch auch die linke keilförmige Atlasseite das Occiput nicht weit genug in Seitneigung nach rechts schieben kann. Ohne die vollständige Seitneigemöglichkeit von C0 nach rechts kann C1 nicht endgradig nach links rotieren. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, wie die Gesamtfunktion der oberen Halswirbelsäule von jedem einzelnen Bewegungssegment abhängt. Dabei steht sie anatomisch und biomechanisch in starkem Kontrast zur restlichen Halswirbelsäule. Diese Sonderstellung ermöglicht den Ausgleich der gleichsinnigen Bewegungskopplung bezüglich Rotation und Seitneigung der unteren Halswirbelsäule und schafft somit ein reines Bewegen des Kopfes in Rotation, Seitneigung, Flexion und Extension. Diese Besonderheit bildet die Voraussetzung dafür verstehen zu können, inwiefern die obere Halswirbelsäule eine sensorische Funktion bezüglich Haltung und Gleichgewicht übernimmt.

## **2.3 Zusammenhänge im Kiefer-Kopfgelenkskomplex**

### **2.3.1 Funktionelle Zusammenhänge**

#### **2.3.1.1 Kopf und Hals als kinematische Kette**

Der dorsale Halsbereich wird durch die oberflächliche Muskelschicht, den M. trapezius und M. sternocleidomastoideus, modelliert und stellt die dynamische Verbindung des Kopfes und der Halswirbelsäule mit dem Körperstamm her (Neuhuber, 2007). Darunter

verlaufen tiefe Muskelschichten, welche bindenförmig den Hals umgeben. Dazu gehören vor allem die Schicht der Spleniusmuskeln, der Mm. semispinales und weiter lateral gelegen der M. longissimus und iliocostalis cervicis sowie medial der M. levator scapulae. Darunter liegen die kurzen subokzipitalen Muskeln, die den Wirbeln direkt aufliegen und einen segmentalen Einfluss auf die Steuerung des oberen und unteren Kopfgelenks haben. In Abbildung 2 wird der schräge Verlauf der feinen Muskeln sichtbar und wie sich diese zwischen Occiput, Atlas und Axis aufspannen.

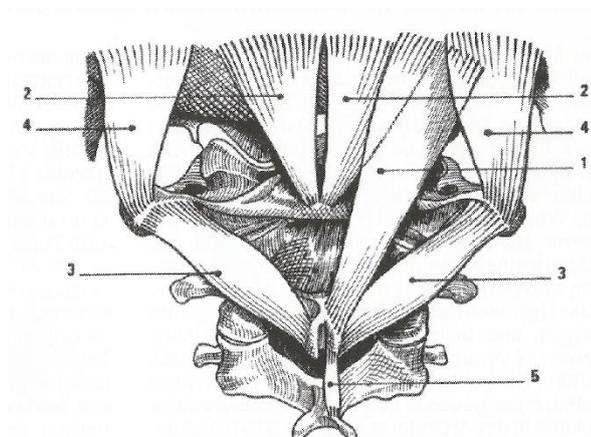


Abbildung 2: Subokzipitale Muskulatur (Kapandji, 2006, p.225)

Aufgrund der Ausrichtung der Muskeln wird ihre bei unilateraler Kontraktion auftretende rotatorische Wirkung auf den Kopfgelenksbereich deutlich. Diese Hauptmuskeln der Rotation sind für den Atlas der M. obliquus capitis inferior (3) und für das Occiput der M. rectus capitis posterior major (1). Lateral und medial gelegen zwischen Occiput und Atlas verläuft der M. obliquus capitis superior (4) und M. rectus capitis posterior minor (2), deren Funktion die Rück- und geringe Seitneigung im Atlantookzipitalgelenk ist (Neuhuber, 1998). Insgesamt weisen die meisten Nackenmuskeln einen schrägen Verlauf von kaudal, medial und dorsal nach cranial und lateral auf. Somit unterstützen diese Muskeln die Bewegung in Extension sowie die gleichsinnige Rotation und Seitneigung, was biomechanisch für die untere Halswirbelsäule typisch ist. Im Kontrast dazu stehen die oberflächlichen Muskeln, die in ihrer Zugrichtung die tiefen Schichten kreuzen und eher auf die obere Halswirbelsäule und den Kopf einwirken. Ebenso wie die tiefen Schichten extendieren sie die Halswirbelsäule, jedoch tritt bei diesen eine gegensinnige Kopplung von

Seitneigung und Rotation auf, was der für die obere Halswirbelsäule typischen Biomechanik entspricht. Somit wird deutlich, dass die einzelnen Muskelschichten, die den Nacken umgreifen, sowohl synergistisch als auch antagonistisch zusammenarbeiten (Kapandji, 2006).

Um den Kopf auf der Halswirbelsäule zu äquilibrieren, ist ein koordiniertes Zusammenwirken der dorsalen und ventralen Muskelketten notwendig. „Der Kopf befindet sich im Gleichgewicht, wenn der Blick nach vorn gerichtet ist.“ (Kapandji, 2006). Dabei befindet sich die Okklusionsebene in der Horizontalen. Der Schwerpunkt des Kopfes liegt ungefähr in der Sella turcica (Boden der mittleren Schädelgrube) und befindet sich dadurch deutlich weiter ventral als die beiden Auflagepunkte des Schädels, die Hinterhauptskondylen. Dieser Umstand ist Erklärung für die physiologische Dysbalance im Kraftverhalten zwischen den Nackenstreckern und den vergleichsweise schwachen halsbeugenden Muskeln. Die Nackenextensoren müssen permanente Haltearbeit leisten, um den Kopf gegen die Schwerkraft im Gleichgewicht zu halten. In Abbildung 3 wird deutlich, wie der Kopf mithilfe der ventralen und dorsalen Muskelkette in der Horizontalen stabilisiert wird. Dabei wird ersichtlich, dass die supra- und infrahyoidalen Muskeln aufgrund des weiten Abstandes vom Drehzentrum den Kopf effizienter beugen können als der gelenknahe Mm. Longus capitis und rectus capitis anterior. Jedoch wird durch die instabile Mandibula, die in der ventralen Muskelkette integriert ist, die Stabilisierung des Kopfes koordinativ besonders anspruchsvoll. Beim Beugen des Kopfes durch die Zungenbeinmuskeln muss gleichzeitig die Kaumuskulatur tonisiert werden, damit die Kraft auch über die Mandibula weitergeleitet wird und der Mund geschlossen bleibt. Soll der Mund geöffnet werden, so kann das nur bei gleichzeitig entspannten Kaumuskeln sowie tonisierten subokzipitalen Muskeln geschehen, da sonst bei jedem Mundöffnen der Kopf nach vorne kippen würde. Somit ergibt sich bei den Kaubewegungen der Mandibula eine ständig wechselnde tonische Aktivität in den Nackenstreckern. Aber auch eine phasische Aktion der subokzipitalen Muskeln (Reklination) kann laut Schmidt (1994) bei gleichzeitigem Absenken des Unterkiefers zu einer Mundöffnung kombiniert werden.

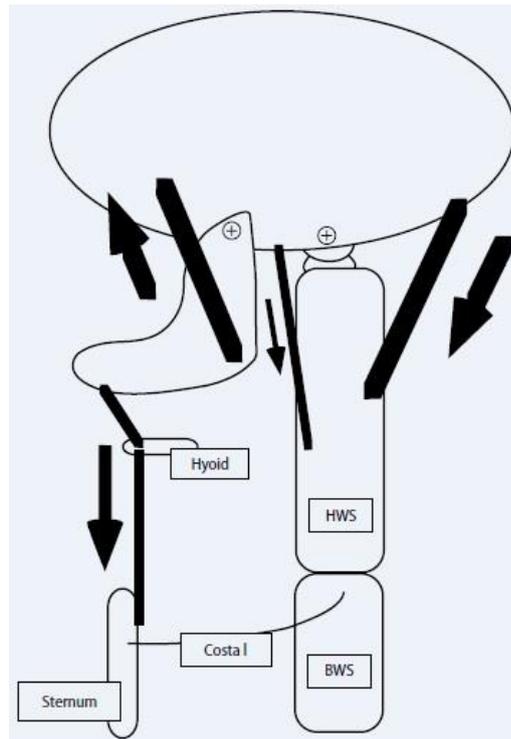


Abbildung 3: Kinematische Kette im Kiefer-Halskomplex (Neuhuber, 2007, p. 228)

Nur durch ein fein abgestimmtes Zusammenspiel zwischen dem kurzen Nackenstrecker, den Kaumuskeln und den Zungenbeinmuskeln sind isolierte Bewegungen des Kiefers bei gleichzeitiger Stabilisierung des Kopfes in der Horizontalen möglich. Somit wird der enge muskuläre und koordinative Zusammenhang zwischen Kopf- und Kiefergelenk deutlich und dass die Leistungsfähigkeit der einzelnen Systeme voneinander abhängig ist. Aufgrund dieses funktionellen Zusammenhangs erscheint es möglich, dass dekompenzierte Kiefermuskeln, wie sie typischerweise bei einer myogenen CMD auftreten, auch eine veränderte Ansteuerung der Nackenextensoren bewirken. Infolgedessen könnte der Kopf als Träger wichtiger Sinnesorgane nicht optimal auf der Halswirbelsäule äquilibriert werden und somit direkt die Orientierungsfähigkeit im Raum negativ beeinflusst werden. Zusammengefasst kann das Kiefergelenk als Bestandteil dieser kinematischen Kette folgende Systeme beeinflussen: die Halswirbelsäule, die hintere Nackenmuskulatur in drei Schichten, die supra- und infrahyoidale Muskulatur, das Zungenbein, den M. sternocleidomastoideus sowie den Schultergürtel inklusive Clavicula und oberem Scapularand (Heymann und Smolenski, 2011).

### 2.3.1.2 Verbindungen des kraniozervikalen- und sacroiliacalen Systems

Aus den oben beschriebenen Erläuterungen wird klar, dass das orofaciale System eng mit dem kraniozervikalen System verknüpft ist. Funktionsstörungen in diesem Bereich haben das Potential, Störungen der posturalen Kontrolle zu bewirken. Weitere Schlüsselzonen zur Wahrnehmung der Körperhaltung (Propriozeption) sind neben den Füßen das sacroiliacale System, in dem das Gewicht der oberen Rumpfhälfte auf die untere Extremität verteilt wird. Im Praxisalltag ist das gekoppelte Auftreten von Kiefergelenkerkrankungen und Funktionsstörungen im Iliosacralgelenksbereich auffällig. Erste Untersuchungen zeigen, dass es nützlich sein kann, beide Regionen in die Therapie einer CMD miteinzubeziehen (Fink et al., 2003). Aufgrund dieses Korrelats sollen im weiteren Verlauf Hypothesen darüber aufgestellt werden, inwieweit Störungen des Kiefer-Kopfgelenksbereichs auch weit entfernte propriozeptive Zentren der Gleichgewichtskontrolle wie die Beckenregion beeinflussen können. Bleibt man bei den vorab beschriebenen kinematischen Ketten, so wird klar, dass die funktionelle Einheit zwischen Kiefer und Halswirbelsäule nur ein Teilsystem in einem großen Komplex von ventralen und dorsalen Muskelzügen im gesamten Bewegungsapparat des Menschen darstellt. Erweitert man den dorsalen Anteil der Muskelkette um den M. erector spinae und die autochtone Rückenmuskulatur, so erhält man das dynamische Bindeglied zwischen kraniozervikalem Übergang und der Beckenregion (Neuhuber, 2005). Besonders der mediale Teil des erector spinae, der M. longissimus und iliocostalis, stellt zwei lange Muskelstränge, die weite topografische Distanzen überbrücken. Vor allem der M. longissimus könnte eine solche „Vermittlerfunktion“ übernehmen. Er entspringt zum großen Teil am straffen Bandapparat des Iliosacralgelenks und zieht dann in drei Abschnitten – M. longissimus thoracis, cervicis und capitis – nach kranial. Dabei sind diese Unterteilungen weniger eigenständige Muskeln, sondern eher topografische Abschnitte im gesamten Muskel. Der kraniale Teil der M. longissimus capitis zieht bis zum Os mastoideum und überbrückt damit sogar die Kopfgelenke. „Der M. longissimus stellt somit ein Muskelsystem mit überlappend gestaffelten Ursprüngen und Ansätzen dar, das vom Becken bis zum Kopf reicht und – für unsere Betrachtung wesentlich – von beiden Gelenkpartnern des ISG und von seinem dorsalen Bandapparat entspringt.“ (Neuhuber, 2005). Durch diesen besonderen Ursprung wäre es möglich, dass der M. erector spinae durch seine

propriozeptiven Sensoren wie den Muskelspindeln das – wenn auch geringe – Gelenkspiel im ISG wahrnimmt, mit dem Ergebnis reflektorischer Effekte auf spinaler und supraspinaler Ebene. Zusätzlich zum muskulären Zusammenhang ist die neuronale Integration des Muskels zu beachten. Die Motoneurone des M. longissimus liegen im ventromedialen Bereich des Vorderhorns des Rückenmarks. In diesem Bereich verlaufen auch interessante absteigende Bahnen wie der tractus vestibulospinalis, der die verrechneten propriozeptiven Informationen aus den Halsmuskeln und dem Gleichgewichtsorgan weiterleitet und eine bedeutende Rolle bei der Kontrolle der axialen Muskulatur spielt. Zusätzlich sammeln propriospinale Neurone im zervikalen Vorderhorn Informationen aus den Halsmuskeln, sogar eine Projektion von Informationen aus den Kaumuskelspindeln über den Nucleus mesencephalicus des Trigeminus ist zu vermuten. Diese propriospinalen Neurone projizieren wiederum zu den Vorderhörnern lumbosakraler Segmente, wodurch auch tiefere Steuerungsgebiete des M. longissimus erreicht werden können. Durch diese neuronalen und anatomischen Verschaltungen wird ersichtlich, wie umfassend der M. longissimus die Kiefer-, Hals- und Beckenregion sowohl funktionell als auch sensorisch miteinander verbindet. Es ist zu vermuten, dass gerade Funktionsstörungen durch seine „Vermittlerfunktion“ von oben nach unten und umgekehrt weitergegeben werden und sich gegenseitig unterhalten. Bei einer CMD und begleitenden Störungen des kraniozervikalen Übergangs wäre somit aufgrund des dargestellten Erklärungsmodells eine Störung der Iliosacralgelenke denkbar. Der Beckengürtel gilt in der Manuellen Therapie als wichtiges Zentrum der Gleichgewichtserhaltung, welches durch solche Störketten in seiner propriozeptiven Leistungsfähigkeit beeinträchtigt werden kann.

### **2.3.2 Neuroanatomische Zusammenhänge**

Die Grundlage für neuronale Zusammenhänge und die gegenseitige Beeinflussung von Kiefer- und Kopfgelenksbereich stellt die zervikotrigeminale Konvergenz im Bereich des Hirnstamms dar. Die Trigeminuskernkerne gelten als wichtiger Knotenpunkt für die Koordination von Kau- und Halsmuskeln (Neuhuber, 2007). Im weiteren Verlauf sollen die neuroanatomischen Besonderheiten des Hirnstamms und die Innervation der beteiligten Muskeln aus dem Kiefer- und Kopfgelenksbereich erläutert werden. Der

N. trigeminus (V. Hirnnerv) setzt sich aus den drei Anteilen N. ophthalmicus, N. maxillaris und N. mandibularis zusammen. Alle zusammen innervieren sensibel die Haut und Schleimhäute im Bereich der Stirn und Augen sowie des Ober- und Unterkiefers. Der N. mandibularis innerviert zusätzlich die Kaumuskeln, die Mundbodenmuskulatur und die Gaumensegelmuskeln. Selbst nozizeptive und propriozeptive Afferenzen aus der Gelenkkapsel und der bilaminären Zone werden vom N. trigeminus gesammelt und an die Kerngebiete weitergeleitet. Die Trigeminikerne verlaufen im Bereich des Hirnstamms und erstrecken sich etwa aus der Medulla oblongata bis auf Höhe C2 (Heymann, 2015). Neurophysiologisch interessant sind die verschiedenen Konvergenzen zu anderen Hirnnerven und den Afferenzen der spinalen Hinterhornneurone der zervikalen Segmente C1-C3. „Da der 1. zervikale Spinalnerv meist über keine Hinterwurzel verfügt, werden die Spindelafferenzen aus den subokzipitalen Muskeln über eine Anastomose des N. suboccipitalis und N. occipitalis major und über die Hinterwurzel C2 dem Rückenmark zugefügt.“ (Neuhuber, 2007). Gerade auf Höhe von C2 kommt es zu direkten Verschaltungen von cutanen Afferenzen von C2-3 und tiefen somatischen Afferenzen von C1-3 (u.a. Muskelspindelafferenzen) mit den Trigeminafferenzen. Dieser trigeminozervikale Komplex zeigt, wie eng das TMS mit der oberen Halswirbelsäule neurophysiologisch verbunden ist. Als Folge können neben übertragenen Schmerzen („Projektionen“) auch Funktionsstörungen der oberen Halswirbelsäule auftreten, wodurch möglicherweise die sensorische Leistungsfähigkeit herabgesetzt und eine fehlerhafte Propriozeption generiert wird. Dies könnte ein möglicher Auslöser für die Entstehung einer zervikalen Gleichgewichtsstörung sein.

## **2.4 Sonderstellung der oberen Halswirbelsäule**

### **2.4.1 Sensorische Funktion der oberen Halswirbelsäule**

Phylogenetisch betrachtet war das Ausbilden der oberen Halswirbelsäule ein Meilenstein der Evolution. Zunächst waren die frühen Vertebraten, die Fische, auf einen möglichst stabilen Kopf-Rumpf-Übergang angewiesen, um optimale hydro-mechanische Eigenschaften vor allem beim schnellen Schwimmen zu erreichen. Dies änderte sich komplett, als die Vertebraten schrittweise das Wasser verließen und

zunehmend an Land lebten. Die Luft bietet im Vergleich zum Wasser keinen nennenswerten Widerstand beim horizontalen Bewegen von Lebewesen, wodurch sich völlig neue Möglichkeiten der Ausbildung der kranialen Wirbelsäule ergaben. „Eine schnelle, präzise und möglichst störungsfreie Beweglichkeit des Kopfes hat offensichtlich einen so erheblichen Überlebensvorteil gehabt, dass für sie zuerst ein Segment (Occiput-Atlas) und später ein 2. Bewegungssegment (Atlas-Axis) in einmaliger Weise umgebaut und zu einem komplexen, aber geschlossenen Gelenkaggregat vereinigt wurde.“ (Wolff, 1988) Damals wie heute war bzw. ist es wichtig, den Kopf als Träger elementarer Sinnesorgane möglichst unabhängig vom Rumpf bewegen zu können. Dieser biomechanische Vorteil ermöglicht es uns, in jeder Situation eine optimale Orientierung im Raum zu haben und die Augen auf Horizontallinie zu halten. Laut Heymann (2015) sind für eine exakte Orientierung im Raum vier Informationen von besonderer Bedeutung:

1. Position des Kopfes relativ zum Schwerelot
2. Bewegungen des Kopfes relativ zur Umwelt
3. Position des Körpers relativ zum Schwerelot
4. Bewegung des Körpers relativ zur Umwelt

Diese Informationen werden durch die bekannten Analysatoren der Gleichgewichtsfähigkeit analysiert: optisch, akustisch, vestibulär und propriozeptiv/sensibel. Anders als bei den Fischen, deren Kopf und Rumpf eine Einheit bildeten und somit die Einordnung des Körpers im Raum direkt durch die Sinnesorgane im Kopfbereich gesteuert werden konnte, ist nun aufgrund der isolierten Beweglichkeit des Kopfes eine Störgröße hinzugekommen. Die Informationen der Sinnesorgane des Kopfes sind reine Messwerte, die nur Rückschluss auf die Stellung des Kopfes im Raum zulassen, jedoch nicht auf die Haltung des restlichen Körpers. Damit dies möglich ist, müssen die Informationen der Sinnesorgane mit den propriozeptiven Informationen der oberen Halswirbelsäule verrechnet werden. Quelle solcher Informationen ist die hohe Dichte an Rezeptoren in den kurzen Nackenmuskeln, die einerseits den Kopf mit seinen Sinnesorganen feinabgestimmt bewegen und andererseits eine sensorische Rückmeldung aufbringen. Somit hat die obere Halswirbelsäule als Sinnesorgan erheblichen Anteil an der Gleichgewichtsfähigkeit und es ist vorstellbar, dass Funktionsstörungen in diesem wichtigen Teil des

sensomotorischen Systems zu widersprüchlichen Informationen und Symptomen des zervikalen Schwindels führen können.

Laut Heymann und Smolenski (2011) gibt es neben den Konvergenzen der zervikalen Halssegmente mit dem N. Trigeminus auch gesicherte Verbindungen derselben, und zwar zum ipsilateralen Vestibulariskern medial und dem kontralateralen Vestibulariskern lateral. Diese direkte Durchmischung von Informationen aus der oberen Halswirbelsäule und dem Vestibulärapparat gibt weitere Hinweise darauf, wie stark die obere Halswirbelsäule an der Gleichgewichtsfähigkeit beteiligt ist. Auch diese neurophysiologische Besonderheit erklärt die Sonderstellung der Halswirbelsäule und das Phänomen der craniomandibular bzw. zervikal bedingten Gleichgewichtsstörungen.

#### **2.4.2 Syndrom der zervikalen Gleichgewichtstörung**

Der „Schwindel“ als subjektiv empfundenes und unspezifisches Symptom der abnormen Wahrnehmung von Stellung und Bewegung des Körpers in Raum und Zeit kann alleine wenig Rückmeldung bezüglich der wahren Lokalisation dieser Funktionsstörung geben. Im klinischen Alltag fehlen definitive Tests, um eine valide Aussage zu treffen. Laut Neurophysiologie basiert die zervikale Gleichgewichtstörung ebenfalls auf der trigeminospinalen Konvergenz im Bereich des Hirnstammes (Heymann, 2015). Zervikale Gleichgewichtsstörungen können somit nur aus der oberen Halswirbelsäule entstehen. Injektionen eines Anästhetikums in den Bereich der hinteren Zervikalwurzeln provozierten Symptome wie Schwindel, Disäquilibrium und Gleichgewichtsstörungen (Hauswirth, 2008). Differentialdiagnostisch ist der zervikale Schwindel von Funktionsstörungen anderer am Gleichgewicht beteiligter Systeme abzugrenzen: Erkrankungen der Augen, der Ohren und des Vestibulärorgans. Ebenso kann Schwindel als „Red-Flag“ auf kardiovaskuläre Störungen oder Erkrankungen des zentralen Nervensystems und andere, teils lebensbedrohliche Ursachen hinweisen. Im Gegensatz zum „Vertigo“ (Dreh- und Schwankschwindel), welcher als typisches Symptom bei Erkrankungen des Innenohrs auftritt, kommt es bei zervikal bedingtem Schwindel zu einem anderen Symptomverhalten. Die Patienten berichten oft von Unsicherheit, Schwanken, Koordinationsstörungen und davon, „keinen Kontakt zum Boden zu haben“. Untersuchungen an Patienten mit Schwindel zeigten, dass die

Ursache zu 62 % in der oberen Halswirbelsäule lag. Schwindel trat ebenso in 40-80 % der Fälle nach Nackenverletzungen auf, insbesondere nach Schleudertraumata. Ähnlich hohe Korrelationen zur Schwindelsymptomatik gibt es bei schwerer zervikaler Arthritis, Bandscheibenvorfällen und HWS-Spondylose (Hauswirth, 2008). Wrisley et al. (2000) definierten folgende Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit eines zervikogen bedingten Schwindels erhöhen:

- Enger zeitlicher Zusammenhang von Nackenschmerzen und Schwindel
- Vorausgegangene Nackenverletzung oder -pathologie
- Ausschluss anderer Ursachen

Ergänzende Faktoren (Kusch, 2017):

- Schwindel ist auslösbar bei Bewegung
- Kurze Schwindelattacke mit schwankendem Untergrund, Zwang zur Seite
- Unsicherheitsgefühl, Angst zu stürzen
- Tinnitus, evtl. Übelkeit

Nach Heymann (2015) ist eine Bewegungseinschränkung und Schmerzprovokation der HWS zwingende Voraussetzung für die Diagnosestellung des zervikalen Schwindels. Neben der vaskulären und neurovaskulären Hypothese ist die Hypothese des somatosensorischen Inputs als Ursache des zervikalen Schwindels von besonderer Bedeutung. Wie im Abschnitt „Sensorische Funktion der oberen Halswirbelsäule“ beschrieben, erzeugen die Segmente C0 bis C3 reichlich propriozeptiven Input aus Muskel-, Kapsel- und Ligamentafferenzen. Ist dieser durch Pathologien im zervikotrigeminalen System wie CMD oder Schleudertraumata fehlerhaft, kommt es zu Abweichungen zwischen der Efferenzkopie im ZNS und der sensorischen Rückmeldung aus der oberen Halswirbelsäule. Diese Diskrepanz kann nicht kompensiert werden und wird vom Patienten als Schwindel oder Gleichgewichtsstörung wahrgenommen (Heymann, 2015).

## 2.5 Craniomandibuläre Dysfunktion

### 2.5.1 Definition und Geschichte

Laut dem ICCMO-Kompendium (Schöttl und Losert-Bruggner, 2004) beschreibt der heutige allgemeingültige Begriff CMD eine Vielzahl verschiedener Symptome und Schmerzen im Kopf-, Kiefer-, Gesichts-, Hals- und Nackenbereich. Darüber hinaus finden weitere, teils unterschiedliche Bezeichnungen wie Myoarthropathie, oromandibuläre Dysfunktion oder myofasciales Schmerzsyndrom Verwendung. In den englischsprachigen Ländern haben sich die Synonyme Temporomandibular Disorders (TMD) oder orofacial pain durchgesetzt. Aufgrund der Komplexität des Krankheitsbildes und dessen unspezifischen und vielseitigen Symptomen galt die CMD lange Zeit als „unbekannte Krankheit“. Der HNO-Arzt J.B. Costen beschrieb als erster im Jahr 1934 den Zusammenhang von Symptomen aus seinem Fachbereich und Funktionsstörungen am Kiefergelenk. Die Bezeichnung „Costen-Syndrom“ findet teils heute noch bei HNO-Ärzten Verwendung. Die CMD beschreibt vom Wortlaut her Funktionsstörungen zwischen Schädel (Cranium) und Unterkiefer (Mandibula). Solche Funktionsstörungen können also sowohl direkt das Kiefergelenk betreffen als auch alle anderen Strukturen, die an seiner Funktion beteiligt sind oder in unmittelbarer Nähe liegen. Nach Bartrow (2011) handelt es sich dabei um die Kaumuskulatur, die supra- und infrahyoidale Muskulatur, die mimische Muskulatur, vaskuläre Strukturen, den Augen- und Ohrenbereich und neurale Strukturen. Heymann und Smolenski (2011) unterteilen die an einer CMD beteiligten Strukturen in vier Gruppen:

- Die Okklusion, unter Beachtung paradontaler Veränderungen
- Das Kiefergelenk, einschließlich Diskus, Ligamenten und Gelenkkapsel
- Steuernde und bewegende Anteile des Weichteilapparates
- Zentralnervöse Proprio- und Nozizeption mit der muskulären Nozireaktion

Gerade durch die neurophysiologische Beeinflussung des Hirnstammes und mögliche Schmerzprojektionen im Bereich der oberen Halswirbelsäule kann eine CMD Symptome verursachen, die auf den ersten Blick mit dem Kiefergelenk nicht in Verbindung stehen. Somit ist die Diagnose „CMD“ weder struktur- noch symptom-spezifisch und eher als richtungsweisende Angabe ähnlich einer „PHS“ – der Periarthropathia humeroscapularis – zu verstehen.

### **2.5.2 Epidemiologie**

Exakte epidemiologische Daten zu ermitteln ist gerade bei dem komplexen Beschwerdebild einer CMD besonders schwer. Durch die Uneinigkeit der Klassifikationen und den daraus resultierenden unterschiedlichen Screening-Modellen variieren die Daten stark. Denn die Ermittlung von Häufigkeit und Verteilung von Symptomen einer CMD in der Bevölkerung hängt stark davon ab, nach welchen Kriterien gesucht wird. „Im Gesundheitssurvey des Bundesgesundheitsministeriums lag die Prävalenz von Kopf- und Gesichtsschmerzen im 6-Monats-Zeitraum bei 10 %, im 12-Monats-Zeitraum bei 16 % (Kohlmann, 2002). 44-55 % der Bevölkerung zeigen Zeichen einer CMD, wobei anteilig nur 20-33 % subjektive Beschwerden haben und nur 3-4 % als objektiv behandlungsbedürftig gelten. Personen im Alter von 20-40 Jahren sind am häufigsten betroffen, wobei der Anteil an Frauen mit 5,8:1 bedeutend höher ist. Die Chronifizierungsrate im Zeitraum von 2-5 Jahren ist mit etwa 70 % recht hoch.“ (Heymann et Smolenski, 2011). Laut den Untersuchungen von Bartrow (2011) sind in den meisten Studien Personen im Alter von 18-45 Jahren am häufigsten betroffen. Bei einer Geschlechtsverteilung von etwa 2:1 waren wieder deutlich mehr Frauen betroffen, wenn auch nicht ganz so stark. Ungefähr 10 % der Patienten mit CMD leiden unter Schmerzen, wobei der subjektive Behandlungsbedarf ebenso bei ca. 3 % liegt. Unstrittig ist, dass mit zunehmendem Alter die Anzahl der CMD-Patienten in der Bevölkerung abnimmt.

### **2.5.3 Ätiologie**

„Eine einzige, alleinstehende Ursache für das Entstehen einer CMD ist nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu finden.“ (Bartrow, 2011) In der Literatur haben sich multikausale Ursachenmodelle durchgesetzt, die sich unter anderen an dem biopsychosozialen Verständnis von Krankheit und Gesundheit (ICF) orientieren. Die vielfältigen Ursachen kann man in drei Komplexe einteilen (Tabelle 1):

Tabelle 1: Ursachenkomplexe der CMD (Bartrow, 2011, p.4)

Strukturell	Funktionell	Psychisch
- Knöchern - Okklusal	- neuromuskuläre Fehlsteuerung der Kaumuskulatur - zentrale Störungen des Systems (Medikamente, Alkoholabusus) - Parafunktionen (Bruxismus) - Körperhaltung und Statik	- Distress - Persönlichkeitsproblematik (Perfektionismus) - traumatische Lebensereignisse - Depression - Arbeitslosigkeit

Bei der manuellen Untersuchung des Patienten findet man vor allem strukturelle und funktionelle Störungen. Diese haben wiederum im Wesentlichen vier Ursachen: arthro-, disko-, myo- und neurogene.

#### 2.5.4 Symptome im Verlauf

Je länger eine CMD besteht, umso mehr durchdringen die Funktionsstörungen die einzelnen Körpersysteme. Anfangs kommt es meist zu lokalen Symptomen. Diese wären die bei Bruxismus typischen Abrasionen und Lockerungen der Zähne, Schmerzen der Zähne und des Zahnfleisches ohne zahnärztlichen Befund sowie lokal begrenzte Schmerzen des Kiefergelenkes und der Kaumuskulatur. Im weiteren Verlauf kommt es zur Beteiligung weiterer Symptombereiche am gesamten Schädel. Das Hauptsymptom bildet der Kopfschmerz mit 78 %, gefolgt von Ohrenscherzen ohne HNO-Befund mit 53 %. Das Auftreten von Schwindel ist mit 38 % ebenso möglich (Heymann und Smolenski, 2011). Im Spätverlauf einer CMD kann es auch zu fortgeleiteten Beschwerden kommen, deren langfristiges Auftreten eine Verbindung zu einer CMD vermuten lassen. Dass bei einem Symptomgeschehen über einen langen Zeitraum zusätzlich psychische Belastungen auftreten, ist aus der Schmerzphysiologie bekannt und muss hier ebenso angeführt werden. Gerade bei der CMD, wo psychogene Einflüsse als mögliche Ursache für das Entstehen anerkannt sind, kann von einer gegenseitigen Wechselwirkung und damit zusätzlichen Unterhaltung des Pathomechanismus ausgegangen werden.

### 2.5.5 Klassifikation und Diagnosealgorithmen

Die Vielfältigkeit der Ursachen und Folgen einer CMD-Erkrankung bedingen die Schwierigkeit einer einheitlichen Einteilung und Untersuchung der Funktionsstörungen. Gerade deshalb ist die Diagnose im Bereich der CMD vor allem von der Fachdisziplin und den individuellen Erfahrungen des Kliniklers abhängig. Ahlers und Jakstat (2015) entwickelten einen CMD-Kurzbefund, mit dessen Hilfe der Therapeut einen schnellen Überblick über die Wahrscheinlichkeit einer CMD erhalten kann. Dieser Test ist im Abschnitt „Methodik“ genauer erläutert. Eine weiterführende und umfangreichere Diagnostik bietet der weitverbreitete Dysfunktionsindex nach Helkimo (1974). Dieser beinhaltet deutlich mehr Bewertungsparameter als der Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat und liefert als Ergebnis einen Dysfunktionsindex von D0 (keine Dysfunktion) bis D3 (schwere Dysfunktion). Laut der Dissertation von Bocker (2011) wurde der Helkimo-Index trotz seiner Popularität in mehreren epidemiologischen Studien kritisch bewertet. Die Kritik galt vor allem seiner externen und internen Validität als auch der mangelnden Spezifizierung. Diese beiden Tests geben lediglich Aufschluss über eine Wahrscheinlichkeit und Stärke einer Dysfunktion, nicht jedoch über den Ort der primären Funktionsstörung und die genaue klinische Diagnose. Dworkin und LeResche (1992) präzisieren den Helkimo-Index als „research diagnostic criteria for temporomandibular disorders, RDC/TMD“. Ergebnis ist ein Klassifikationssystem, das wie der Helkimo-Index anamnesische und klinische Untersuchungen beinhaltet, nun aber durch psychosomatische und psychosoziale Parameter ergänzt wurde. Look et al. (2010) untersuchten die Reliabilität und Validität des RDC/TMD. Während Gesunde mit einer hohen Spezifität von  $>0,95$  erkannt wurden, kam die Entdeckung Kranker mit einer Sensitivität von  $<0,70$  auf ein schwaches Ergebnis. Daraufhin wurde der Test von Schiffman et al. (2014) weiter optimiert. Dies geschah durch die Definition neuer Kriterien im Bereich der physischen Untersuchung und zusätzlicher Screening-Tests im psychosozialen Befundabschnitt. Laut Hanskamp (2015) ist das neu überarbeitete Befundsystem mit dem Namen DC/TMD ein einfaches und aussagekräftiges Messinstrument. Die damit verbundene Steigerung der Validität in Achse I (Sensitivität  $>0,86$ , Spezifität  $>0,98$ ) bestätigen diese Aussage.

### **3 Methodik**

#### **3.1 Studiendesign**

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine einmalige Fall-Kontroll-Studie aus dem Bereich der Primärforschung. Die Pilotstudie wurde als monozentrische Interventionsstudie durchgeführt. Die Daten der Studie wurden prospektiv erhoben. Die Studie ist nicht randomisiert. Die Probanden wurden verblindet.

Um die Forschungsfrage beantworten zu können, besteht die Fall-Kontroll-Studie aus zwei Gruppen, einer Patientengruppe (Fall) und einer mit gesunden Probanden (Kontrolle). Dabei unterscheiden sich die beiden Gruppen in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, an einer CMD erkrankt zu sein. Im experimentellen Teil werden die Gruppen in Bezug auf die Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle verglichen. Zusätzlich werden in beiden Gruppen zwei Interventionen durchgeführt, die Messung der Gleichgewichtskontrolle mit entlasteten und belasteten TMS. Da sich die Gruppen nur in einem Merkmal unterscheiden sollen, können eventuelle Unterschiede im Outcome mit diesem Merkmal in Korrelation gesetzt werden. Jedoch bestätigt dies nicht zwangsläufig deren Kausalität. Die Pilotstudie ist einmalig und liefert die Möglichkeit, einzuschätzen, inwieweit umfangreichere Forschungen angemessen sind. Damit kann sie eventuell als Grundlage für zukünftige Fallzahlberechnungen dienen. Als Grundlage der Struktur der Masterthesis dient die Checklist des TREND Statement (Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs). Dieser Leitfaden ermöglicht eine standardisierte und transparente Berichterstattung speziell für nichtrandomisierte, kontrollierte Studien (Des Jarlais et al., 2004).

#### **3.2 Literaturrecherche**

Um die wissenschaftliche Grundlage dieser Arbeit auszubilden und um sich einen Überblick über die aktuelle Studienlage zum Thema zu verschaffen, wurde im Zeitraum vom 01. September bis zum 01. November 2017 online nach Literatur gesucht. Dazu wurden die Datenbanken Pubmed (Medline), Pedro und Embase genutzt. Die Suchbegriffe waren: postural stability, balance, body posture, balance ability, postural balance control, posture, postural balance, craniomandibular dysfunction,

craniomandibular disorders, dental occlusion, upper cervical spine (Tabelle 2). In der Datenbank Pubmed wurden die Suchanfragen – sofern vorhanden – um Distributoren aus den Thesaurus-MeSH ergänzt. Diese wurden mit den Booleschen Operatoren zu einer komplexen Suchanfrage verknüpft. Um die Ergebnisse in Pubmed weiter einzugrenzen, wurde nach hochwertigen englischen Studien am Menschen, z.B. Reviews und RCTs, der letzten zehn Jahre selektiert. Somit ließen sich 15 ähnliche Studien finden, die den Zusammenhang von Kiefergelenk und Haltung bzw. Gleichgewicht untersuchten. Jedoch ließ sich keine Studie finden, die der vorliegenden Studie exakt gleicht. Keiner der Forscher nutzte als Messinstrument den MFT-S3-Check.

*Tabelle 2: Suchanfragen und Treffer bei Pubmed (Quelle: Autor)*

Suchanfrage	Treffer
postural stability	4648
balance	214467
body posture	83827
balance ability	11905
postural balance control	9857
posture[mesh]	67666
postural balance[mesh]	18715
posture	83827
craniomandibular dysfunction	674
craniomandibular disordersn[mesh]	15875
craniomandibular disorders	15081
dental occlusion	25752
dental occlusion[mesh]	20327
upper cervical spine	5426

### **3.3 Probanden**

#### **3.3.1 Rekrutierung**

Nach Genehmigung der Studie durch die Donau-Universität Krems wurden mögliche Probanden für die Studie gesucht. Dies erfolgte in der Physiotherapie-Praxis „Reha

Kirchrode“ unter der Leitung von Ralf Kusch. Die potentiellen Probanden wurden im Praxisalltag durch die Mitarbeiter rekrutiert. Dafür wurden ihnen eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie und eine Datenschutzerklärung ausgehändigt. Zusätzlich wurden eine Checkliste der Ein- und Ausschlusskriterien sowie ein weiterer Fragebogen mitgegeben (s. Anhang). Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass die Teilnahme freiwillig erfolgt. Soweit die Probanden einverstanden und zur Teilnahme an der Studie geeignet waren, wurden Termine zur Messung vereinbart. Diese erstreckten sich über den Zeitraum vom 15.09.2017 bis zum 19.04.2108. Dabei wurden insgesamt 24 gesunde und 24 kranke Probanden in die Studie aufgenommen. Es handelte sich größtenteils um Männer und Frauen deutscher Nationalität. Zwei Probanden waren anderer Herkunft.

### **3.3.2 Ein- und Ausschlusskriterien**

Um an der Studie teilzunehmen, mussten die Probanden folgende Einschlusskriterien erfüllen:

- Alter zwischen 18 und 65 Jahren
- Unterschriebene Einverständniserklärung
- Zuordnung der Gruppen nach dem CMD-Kurzbefund gem. Ahlers und Jakstat:
  - Einschluss als Patient: min. zwei positive Merkmale
  - Einschluss als Gesunder: weniger als zwei positive Merkmale

Das Mindestalter wurde aus rechtlichen Gründen bezüglich der Einverständniserklärung auf 18 Jahre festgelegt. Das Höchstalter wurde auf 65 Jahre begrenzt, da mit steigendem Alter degenerationsbedingte Minderungen der Leistungsfähigkeit des sensomotorischen Systems zunehmen.

Gleichzeitig durften die Probanden keines der Ausschlusskriterien aufweisen, die direkt oder indirekt die Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle beeinflussen:

- Verletzung/Operationen der Halswirbelsäule oder des Kiefers innerhalb der letzten 6 Monate
- Frakturen des Kiefer- oder Schädelknochens sowie der Halswirbelsäule

- starke Schmerzen beim Zubeißen
- akute Trigemini-neuralgie
- Erkrankungen des Innenohrs/Lagerungsschwindel innerhalb der letzten 6 Monate
- freies Gehen und Stehen nicht möglich – sturzgefährdet
- entzündliche Erkrankungen (z.B. Morbus Bechterew, Rheumatoide Arthritis etc.)
- schwere neurologische Erkrankungen (z.B. Schlaganfall, Multiple Sklerose etc.)
- schwere Herzerkrankungen mit Leistungseinbußen (Herzinfarkt, Herzinsuffizienz etc.)
- bösartige Erkrankungen/Metastasierungen im Bereich von Halswirbelsäule und Kopf
- Schwangerschaft
- Schmerzen, die Gangbild und Stand stark einschränken (Fußschmerzen etc.)
- Operationen/Gelenkersatz an Fuß, Knie oder Hüfte

### **3.3.3 Randomisierung und Verblindung**

Der Untersucher wurde nicht verblindet. Er wusste zu jeder Zeit, ob der Proband der gesunden Gruppe oder der Patientengruppe angehört. Die Patienten wurden über die jeweils zwei Interventionen informiert, jedoch wurden keine daraus resultierenden Erwartungen mitgeteilt. Die Probanden wussten somit nicht, welcher potentielle Einfluss aus den Interventionen hervorgeht und waren demnach verblindet. Eine Randomisierung der Patienten war nicht nötig, da sie nach der Wahrscheinlichkeit einer CMD-Erkrankung der Gesunden- oder Patientengruppe zugeteilt worden waren.

### **3.3.4 Untersuchungsdurchführung**

Alle Probanden wurden in einem Praxisraum der Reha Kirchrode auf Erfüllung der Einschlusskriterien untersucht. Die Einordnung der Probanden in die jeweilige Gruppe erfolgte nach dem CMD-Kurzbefund von Ahlers und Jakstat. Gesunde Probanden mussten weniger als zwei Merkmale aufweisen, kranke Probanden mussten mind. zwei oder mehr Merkmale erfüllen. Bei Eignung wurde im zweiten Teil die Messung der Gleichgewichtskontrolle mithilfe des MFT-S3-Checks durchgeführt. Das

Messinstrument befand sich im Trainingsbereich der Reha Kirchröde. Die Messungen erfolgten in zwei Kipp-Ebenen: rechts/links und vor/zurück. In jeder Messebene wurden zwei Messungen von 45 Sek. Dauer durchgeführt, eine davon mit entlastenden TMS (Watterolle zwischen den Zähnen) und die andere mit belastenden TMS (isometrische Kontraktion der Kaumuskulatur). Dabei wurde darauf geachtet, dass die Watterolle an einer definierten Stelle im Bereich des zweiten Prämolaren und ersten Molaren der rechten Seite gelegt wurde. Ebenfalls wurde der Proband aufgefordert, nur den Kontakt zur Watterolle zu halten und die Kaumuskulatur entspannt zu lassen. Bei der zweiten Intervention sollte der Proband mit mittlerer Stärke zubeißen und die Zähne im Vollkontakt halten. Die Intensität des Beißens durfte nicht zu hoch sein, damit die Intervention über die gesamte Dauer der Messung aufrechterhalten werden konnte und das Beißen nicht unangenehm oder sogar schmerzhaft wurde. Der Proband wurde aufgefordert, die Intervention schon vor der eigentlichen Messung für ca. eine Min. durchzuführen und damit frei im Raum umherzugehen, um dem Körper eine Zeit der Deprogrammierung zu ermöglichen. Nach Abschluss der vier Messungen an einem Probanden wurde dieser gefragt, von welcher Intervention er die besten Ergebnisse erwartete. Die Reihenfolge der vier Messungen (A-B-C-D) wurde anhand einer Permutationsliste (s. Anhang) permanent getauscht, sodass sich etwaige Trainingseffekte während der vier Messungen in der Stichprobe gegenseitig aufhoben. Dabei ergaben sich 24 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten der Messreihenfolgen, was der Anzahl der Probanden der jeweiligen Gruppe entspricht. Hier eine zusammenfassende Übersicht des Untersuchungsablaufs:

#### 1. Voruntersuchung auf Eignung

- Einverständnis- und Datenschutzerklärung
- Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien
- Fragebogen
- Zuweisung zur Gruppe und Permutation

#### 2. Messung der Gleichgewichtskontrolle (Permutationsbeispiel: A-B-C-D)

*Freies Gehen mit Watterolle für 60 Sek.*

A      Messung rechts/links für 45 Sek. mit Watterolle

*Freies Gehen mit Zubeißen für 60 Sek.*

- B Messung rechts/links für 45 Sek. mit Zubeißen  
*Freies Gehen mit Watterolle für 60 Sek.*
- C Messung vor/zurück für 45 Sek. mit Watterolle  
*Freies Gehen mit Zubeißen für 60 Sek.*
- D Messung vor/zurück für 45 Sek. mit Zubeißen

### 3. Abschlussfrage (eigene Erwartung bezüglich der Interventionen, Placebo-Kontrolle)

Die Interventionen sind an den aus der Literatur bekannten Meersseman-Test angelehnt. Dieser Test ist im klinischen Alltag ein nützliches Werkzeug um festzustellen, inwiefern eine CMD an komplexen Funktionsstörungen beteiligt ist. Ebenso wird er von Zahnärzten eingesetzt, um zu entscheiden, ob der Patient vor einer Schienenversorgung manualtherapeutisch behandelt werden sollte oder ob eine neue Schiene korrekt angefertigt wurde. Hülse und Losert-Bruggner (2002) erforschten die Auswirkungen des Meersseman-Testes auf die Hüftabduktion (Priener-Abduktionstest) und konnten unabhängig von neuroanatomischen Erklärungen einen relevanten Einfluss feststellen.

#### **3.3.5 Datenerfassung**

Alle notwendigen Informationen wurden mithilfe einer Einverständnis- und Datenschutzerklärung und des Fragebogens ermittelt. Dieser wurde von den Probanden vor Ort oder zu Hause ausgefüllt. Zusätzlich wurden die erhobenen Messdaten in die dafür vorgesehen Felder eingefügt.

#### **3.3.6 Probandenfluss**

In Abbildung 4 ist der Probandenfluss während der Studie dargestellt. Die Grundlage für die Erstellung bildet das CONSORT-Statement (Schulz, Altman und Moher, 2010).

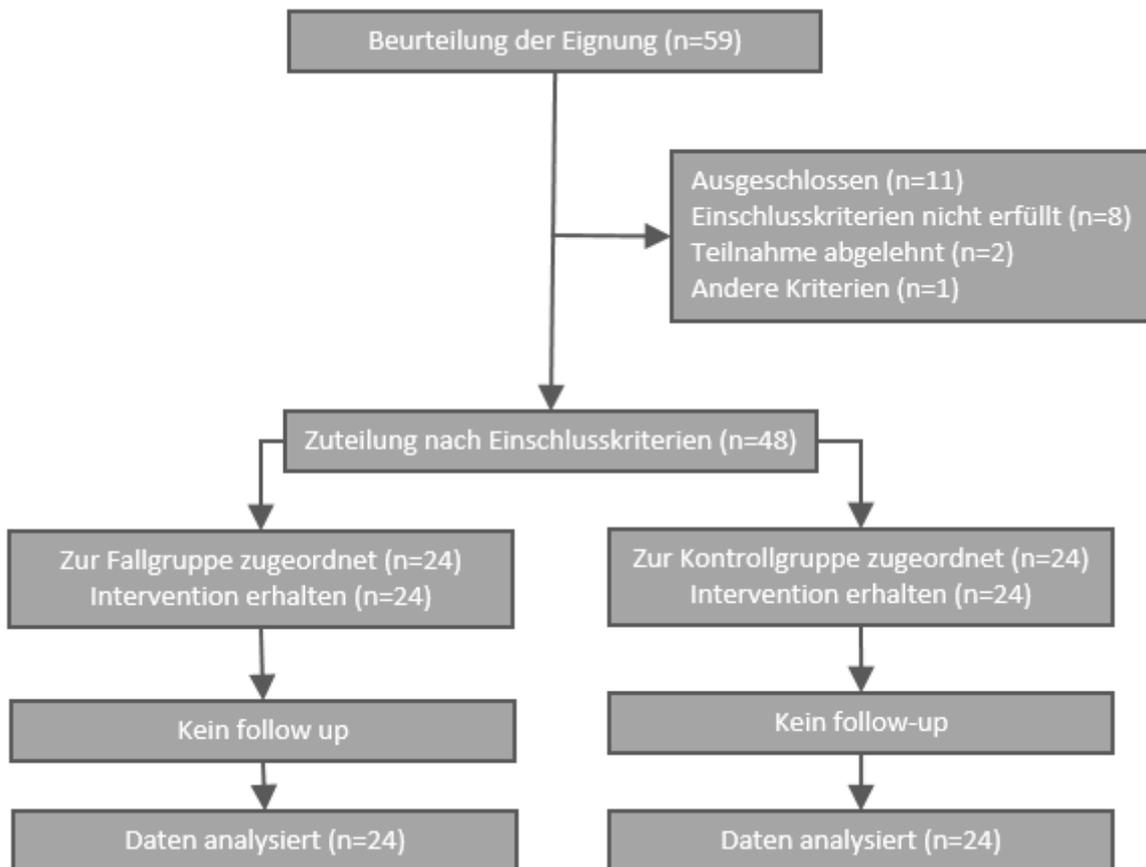


Abbildung 4: Flussdiagramm der Studie (Quelle: Autor)

### 3.4 Testverfahren

#### 3.4.1 CMD-Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat

Sowohl im Alltag des Zahnarztes als auch in dem des Therapeuten ist oftmals eine schnelle Einschätzung und Risikobewertung für das Bestehen einer CMD beim Patienten notwendig. Der Zahnarzt erhält damit die Möglichkeit, abzuschätzen, inwieweit man dem Patienten stark belastende Zahnbehandlungen zumuten kann. Der Therapeut profitiert von einem schnellen Überblick über eventuelle Beteiligungen einer CMD an komplexen Funktionseinschränkungen und Schmerzgeschehen des Organismus. Zur Identifizierung der Patienten mit CMD hat sich der CMD-Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat etabliert. Dieser wurde auch in der vorliegenden Studie als Diagnosewerkzeug verwendet. Der Test stellt keinen Anspruch auf therapieorientierte

Diagnostik, sondern ermöglicht nur eine schnelle Wahrscheinlichkeitsaussage darüber, ob eine CMD vorliegt oder nicht. Im Klinikalltag gilt er als Grundlage für die Entscheidung des Zahnarztes oder Therapeuten darüber, ob eine ausführlichere klinische Funktionsanalyse angebracht oder unnötig ist. „Vor diesem Hintergrund entwickelten und validierten die Autoren auf Vorschlägen von Krogh-Poulson einen entsprechenden CMD-Screeningtest, den ‚CMD-Kurzbefund‘ bzw. ‚CMDcheck‘.“ (Ahlers und Jakstat, 2015) Dieser Test beinhaltet insgesamt sechs Zeichen, die für eine CMD sprechen, wobei für ein positives Testergebnis mindestens zwei oder mehr Kriterien erfüllt sein müssen (Abbildung 5). In einer hochwertigen Studie wurde anhand insgesamt 200 gesunder Probanden und CMD-Patienten die Gültigkeit des CMD-Kurzbefundes analysiert. Jeder Einzelne wurde mit einer umfangreichen Funktionsanalyse als „Goldstandard“ und dem Kurzbefund untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass bei einer Summation von zwei oder mehr positiven Zeichen des Kurzbefundes eine Sensitivität von 92 % und Spezifität von 79 % erreicht wird. Bei dem Versuch, die Mindestanzahl für einen positiven Schnelltest auf drei und mehr zu erhöhen, ließen sich zwar die falsch positiv diagnostizierten Individuen auf 0 verringern, jedoch lag die Sensitivität dann bei nur 63 %. Diese Untersuchungen zeigen, dass der CMD-Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat ein gültiges Messinstrument darstellt, das in Relation zur Schnelligkeit der Durchführung eine gute Aussagekraft bezüglich einer Wahrscheinlichkeit für das Bestehen einer CMD hat.

<b>CMD-Kurzbefund</b>		dentaConcept®
Mundöffnung asymmetrisch	<input type="checkbox"/>	
Mundöffnung eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	
Gelenkgeräusche	<input type="checkbox"/>	
Okklusale Geräusche	<input type="checkbox"/>	
Muskelpalpation schmerzhaft	<input type="checkbox"/>	
Exzentrik traumatisch	<input type="checkbox"/>	
<b>CMD</b>	<input type="radio"/> <b>unwahrscheinlich</b>	(≤1)
	<input type="radio"/> <b>wahrscheinlich</b>	(≥2)

Abbildung 5: CMD-Kurzbefund (Ahlers und Jakstat, 2015, p.105)

## **Inhalt und Auswertung des CMD-Kurzbefundes**

Der Therapeut sucht am Patienten nach sechs Symptomen und Kriterien. Das Auftreten von zwei Zeichen ist ausreichend, um ein positives Testergebnis zu erzielen.

### **1. Asymmetrische Mundöffnung**

Kontrolliert wird die Abweichung der Mandibula bei endgradig geöffnetem Mund. Dabei gelten alle Messwerte von über 2 mm in Relation zur Mittellinie als asymmetrisch.

### **2. Mundöffnung eingeschränkt**

Gemessen wird die maximale Mundöffnung zwischen den Frontzähnen. Mithilfe der Innenschenkel eines Messschiebers lässt sich die Mundöffnung genau beurteilen. Der Punkt gilt als positiv, wenn die maximale aktive Mundöffnung bei weniger als 40mm liegt.

### **3. Gelenkgeräusche**

Als positiv gelten hörbare Gelenkgeräusche beim normalen Vorgang der Mundöffnung und -schließung. Dazu gehören auch leise Geräusche wie „Reiben“, die nur der Patient wahrnimmt. Optimalerweise palpiert der Untersucher gleichzeitig das Kiefergelenk, um Vibrationen zu spüren oder ein unkontrolliertes Vorschnellen des Caput mandibulae wahrzunehmen. „Bei physiologischer Funktion findet sich im Kiefergelenk keine Geräuschbildung.“ (Ahlers und Jakstat, 2015)

### **4. Okklusale Geräusche**

Der Patient wird aufgefordert, den Mund schnell zu schließen und die Zähne aufeinanderzuschlagen. Das dadurch erzeugte Geräusch gibt Aufschluss über die Zahnstellung und die neuromuskuläre Ansteuerung des Kiefers. Auffällig sind hier dumpfe oder mehrfach klingende okklusale Geräusche.

### **5. Muskelpalpation schmerzhaft**

Auf Schmerzhaftigkeit palpiert werden: M. masseter, M. temporalis, M. digastricus. Da ein leistungsfähiger Muskel unempfindlich auf Palpation reagiert, ist dies ein Hinweis auf eine Dekompensation der Weichteile.

## 6. Exzentrik traumatisch

Es folgt die Sichtung der gesamten Zahnschubstanz nach auffälligen Abrasionen und Attritionen, die nicht alterstypisch sind. Solche strukturellen Schäden gelten als Hinweis auf Knirschen und Pressen und damit auf eine Überbelastung des temporomandibulären Systems. Das Ausmaß der Schädigung ist dabei irrelevant.

### 3.4.2 S3-Check

Um eine objektive und vergleichbare Einschätzung der Gleichgewichtskontrolle der Probanden zu erhalten, wird der MFT-S3-Check des Herstellers Multifunktionale Trainingsgeräte GmbH als Messinstrument verwendet. Das Gerät besteht aus einer instabilen Messplatte und ist über eine USB-Schnittstelle mit dem PC verbunden (Abbildung 6). Die Messung findet um zwei Kippachsen statt: rechts/links in der Frontalebene und vor/zurück in der Sagittalebene. Die maximale Auslenkung der beweglichen Messplatte liegt bei 20°. Die Messung erfolgt im Stand. Der Proband wird aufgefordert, die Plattform bestmöglich stabil und horizontal zu halten. Während der Messung ermittelt ein Neigungssensor mit einer Abtastrate von 100Hz und einer Messgenauigkeit von 0,5° die Bewegungen der Messplatte, woraus die Software verschiedene Werte berechnet (Tilscher et al., 2007). Zum einen beurteilt der Sensomotorikindex Anzahl und Amplitude der Ausschläge bei der Messung und gibt damit Auskunft über die sensomotorische Regulationsfähigkeit während der Gleichgewichtsaufgabe. Zum anderen misst der Symmetrieindex, wie gleichmäßig die Standfläche bei der Messung belastet wurde. Beide Werte bilden die Grundlage für die Berechnung des Stabilitätsindex, der somit als komplexer Wert die Gleichgewichtskontrolle der Testperson abbildet (MFT-Company, 2018). Der Stabilitätsindex enthält die Werte von 1 bis 9, wobei der Wert von 1 für eine sehr gute, ein Wert von 9 für eine sehr schlechte Gleichgewichtskontrolle steht. Mildner et al. (2010), Patel et al. (2013), Tilscher et al. (2007), Raschner et al. (2008) und Huxham et al. (2001) untersuchten die Reliabilität und Validität des MFT-S3-Checks. Die Messplattform erfüllt die wissenschaftlichen Anforderungen eines Diagnosegerätes in allen Bereichen. Dank der Normierung durch Raschner et al. (2008) ist es möglich, kostengünstig und schnell die sensomotorische Regulationsfähigkeit des Probanden zu ermitteln und im Vergleich zur Norm zu bewerten.



Abbildung 6: MFT-S3-Check (Quelle: Autor)

### 3.5 Statistische Methoden

Die durch die Messplattform MFT-S3-Check generierten Werte sind vom Merkmalstyp quantitativ stetig. Die Mittelwerte beider Gruppen wurden mithilfe eines t-Tests für unabhängige Stichproben auf signifikante Unterschiede getestet. Der Vergleich der Mittelwerte auf signifikante Unterschiede innerhalb einer Gruppe wurde mit dem t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt. Die t-Test-Statistik ist an bestimmte Voraussetzungen gebunden. Zum einen müssen die Daten intervallskaliert sein, zum anderen müssen Normalverteilung und Varianzgleichheit der Gruppen gegeben sein. Die Normalverteilung wird teilweise grafisch analysiert (Boxplot) und zusätzlich über den Shapiro-Wilk-Test berechnet. Laut diesem Test ist die Normalverteilung bei einem nicht signifikanten Ergebnis sichergestellt ( $p > 0,05$ ). Die Varianzgleichheit wird mithilfe des Levene-Tests berechnet. Ebenso gilt hier bei einem nicht signifikanten Ergebnis ( $p > 0,05$ ) die Varianzhomogenität. Ergänzend zum t-Test wird das Konfidenzintervall angegeben, um Richtung und Stärke der Differenz abzuschätzen. Der Vertrauensbereich wird auf 95 % festgelegt. Um Korrelationen einzelner Merkmale der Probanden zur

Gleichgewichtskontrolle aufzudecken, wurde der Korrelationskoeffizient ( $r$ ) berechnet (Pearson-Korrelation) und auf statistische Signifikanz überprüft ( $p < 0,05$ ). Die Interpretation der Korrelation erfolgte gemäß den Richtlinien von Cohen (1988). Die Werte des Fragebogens sind qualitativ dichotom. Die zur Auswertung verwendete Teststatistik ist der Exakte Test nach Fisher. Dieser ist nicht an die Stichprobengröße gebunden und findet vor allem dann Einsatz, wenn mindestens eine der zu erwartenden Zelhäufigkeiten in der Kreuztabelle unter fünf liegt, und ist somit für die Auswertung der dichotomen Variablen der Studie geeignet. Für die Speicherung, Darstellung und Auswertung der Daten wurden die Programme Microsoft Excel und PSPP verwendet.

### **3.6 Stichprobengröße**

Die Stichprobengröße der Studie konnte im Vorfeld nicht ermittelt werden. Grund dafür war das Fehlen vergleichbarer Studien in der vorausgegangenen Literaturrecherche. Alternativ wurde die Gruppengröße auf jeweils 24 Probanden (insgesamt 48) festgelegt. Dieser Wert entspricht den maximal möglichen Permutationen aus den 4 Messungen pro Proband. Somit heben sich die zu erwartenden Trainingseffekte innerhalb einer Gruppe gegenseitig auf. Stichprobengrößen von über 24 würden somit aufgrund der teilweise wiederholten Messreihenfolgen das Outcome verzerren.

### **3.7 Outcome**

Primäres Outcome:

Das primäre Outcome ist die Mittelwertdifferenz des ermittelten Stabilitätsindex  $SI_{gesamt}$  zwischen der CMD- und der Kontrollgruppe. Ebenso wird die Mittelwertdifferenz von  $SI_{Belastung}$  und  $SI_{Entlastung}$  innerhalb der Gruppen ermittelt (Stabilitätsindex bei entlasteten und belasteten TMS).

Sekundäres Outcome:

Zusätzlich werden mithilfe eines Fragebogens die beiden Gruppen genauer analysiert. Dabei ist es das Ziel, signifikante Unterschiede bezüglich Symptomgeschehen, psychischer und physischer Leistungsfähigkeit, zahnärztlicher- und kieferorthopädischer Versorgung und vorausgegangener Traumata der HWS zu identifizieren. Anhand ausgewählter Kriterien sollen Subgruppen gebildet werden, die anschließend bezüglich der Gleichgewichtskontrolle (SI<sub>gesamt</sub>) miteinander verglichen werden.

Subgruppen:

- Sportler und Nicht-Sportler
- Mit und ohne Tiefziehschiene
- Mit und ohne CMD-Schiene
- Mit und ohne HWS-Trauma
- Mit und ohne Schwindel
- Mit und ohne kieferorthopädische Behandlung

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Deskription und Vergleichbarkeit der Stichproben

In den folgenden Tabellen wurden die demographischen Daten der Stichproben zum Vergleich gegenübergestellt. Die berechneten Lage- und Streumaße geben einen Überblick über die Bandbreite und Verteilung der Daten. Für jedes Merkmal ist eine grafische Darstellung der Verteilung durch ein Boxplot-Diagramm gegeben. Zusätzlich wurden die Stichproben mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests mathematisch auf Normalverteilung geprüft. Um die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen zu analysieren, wurden die Mittelwerte der Parameter mithilfe des t-Tests für ungebundene Stichproben und dem Exakten Test nach Fisher daraufhin überprüft, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen besteht. Um vergleichbare Gruppen erhalten zu können, ist ein nicht signifikantes Ergebnis mit  $p > 0,05$  relevant.

#### 4.1.1 Altersverteilung

*Tabelle 3: Lage- und Streumaße des Alters*

Alter (Jahren)	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe
Mittelwert	38,3	43,1
Median	37,0	46,5
Standardabweichung	10,2	14,6
Minimum	20	18
Maximum	55	65
Spannweite	35	47

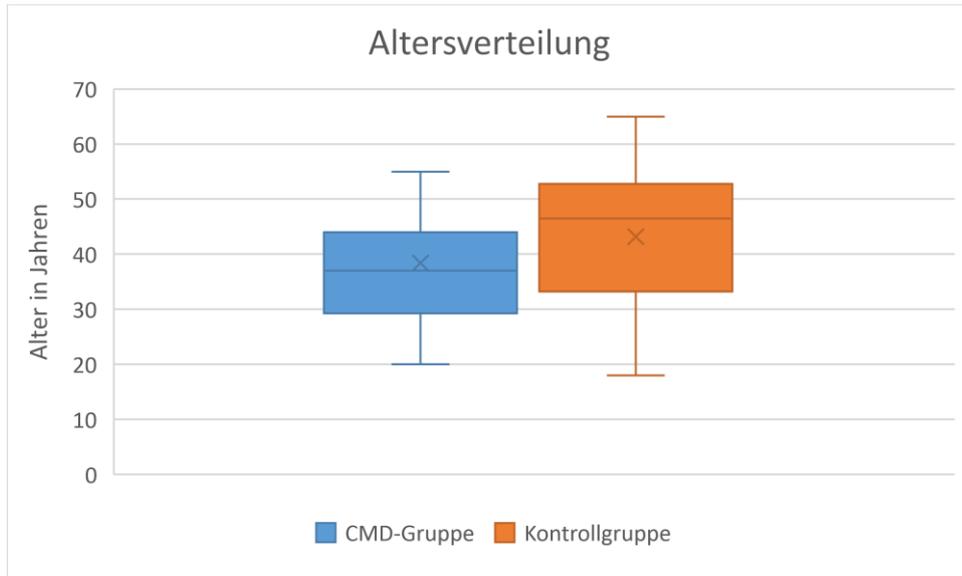


Abbildung 7: Boxplot des Alters

Nach dem Shapiro-Wilk-Test ist die Normalverteilung des Alters in der CMD-Gruppe ( $p = 0,36$ ) und der Kontrollgruppe ( $p = 0,11$ ) gegeben. Mit einer Differenz der Mittelwerte von 4,8 Jahren ist die Kontrollgruppe geringfügig älter. Laut dem t-Test für unabhängige Stichproben ist jedoch kein signifikanter Unterschied gegeben ( $p = 0,19$ ). Die Vergleichbarkeit der Gruppen bezüglich des Alters ist somit gegeben.

#### 4.1.2 Geschlechtsverteilung

Tabelle 4: Geschlechtsverteilung in den Gruppen

Geschlecht	CMD-Gruppe (n = 24)	Kontrollgruppe (n = 24)	Summe
weiblich	21 (87,5 %)	12 (50 %)	33 (68,7 %)
männlich	3 (12,5 %)	12 (50 %)	15 (31,3 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

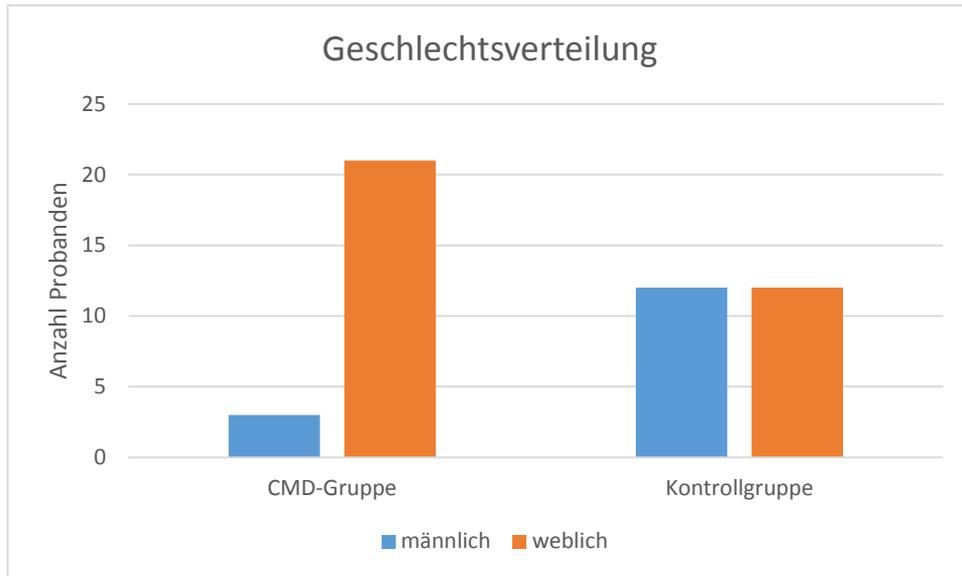


Abbildung 8: Geschlechtsverteilung in den Gruppen

In der CMD-Gruppe sind mit 87,5 % deutlich mehr Frauen rekrutiert worden. Dies steht in starkem Kontrast zur Kontrollgruppe mit 50 % Frauenanteil, in der das Verhältnis zwischen weiblichen und männlichen Probanden ausgewogen ist. Laut dem Exakten Test nach Fisher ist ein signifikanter Unterschied des Geschlechtsverhältnisses gegeben ( $p = 0,01$ ). In Bezug auf das Geschlecht ist somit keine Vergleichbarkeit gegeben.

#### 4.1.3 Körpergrößenverteilung

Tabelle 5: Lage- und Streumaße der Körpergröße

Körpergröße (cm)	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe
Mittelwert	169,2	177,5
Median	167,0	177,5
Standardabweichung	8,0	10,0
Minimum	160	158
Maximum	194	197
Spannweite	34	39

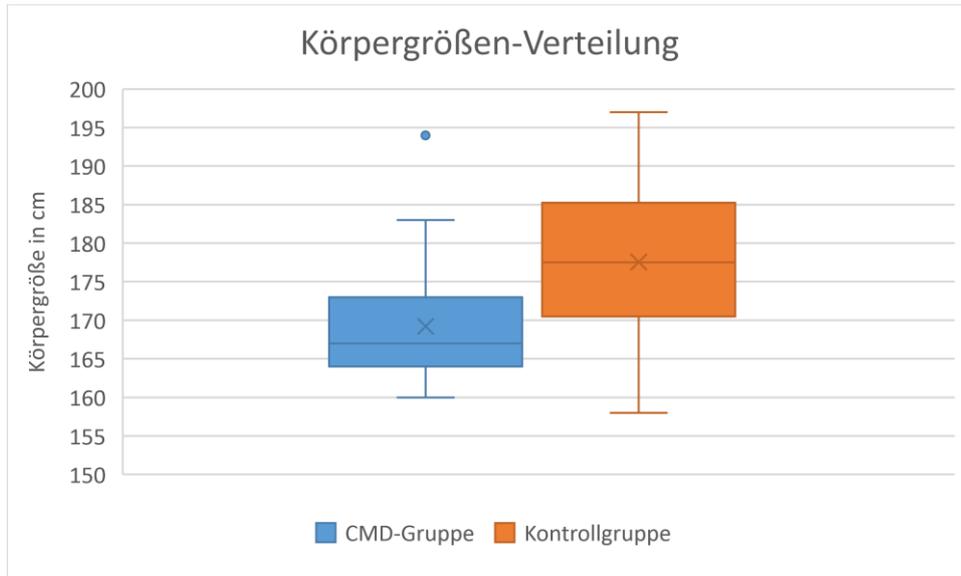


Abbildung 9: Boxplot zur Körpergröße

In Abbildung 9 ist die schiefe Verteilung der Körpergröße innerhalb der CMD-Gruppe erkennbar. Der Shapiro-Wilk-Test bestätigt dies mit einem signifikanten Ergebnis ( $p = 0,001$ ). Die Normalverteilung ist demnach in der CMD-Gruppe nicht gegeben. Im Gegensatz dazu zeigt das Boxplot der Kontrollgruppe eine gleichmäßige Verteilung der Daten. Das Ergebnis des Shapiro-Wilk-Tests ist nicht signifikant ( $p = 0,86$ ). Damit ist die Normalverteilung der Körpergröße in der Kontrollgruppe gegeben. Mit einer Mittelwertdifferenz von 8,3 cm ist die Kontrollgruppe größer als die CMD-Gruppe. Dieser Unterschied ist laut t-Test für unabhängige Stichproben signifikant ( $p = 0,006$ ). In Bezug auf die Körpergröße sind die beiden Gruppen somit nicht vergleichbar.

#### 4.1.4 Körpergewichtsverteilung

Tabelle 6: Lage- und Streumaße des Körpergewichts

Körpergewicht (kg)	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe
Mittelwert	70,2	75,9
Median	69,0	72,5
Standardabweichung	14,8	12,8
Minimum	48	58
Maximum	99	100
Spannweite	51	44

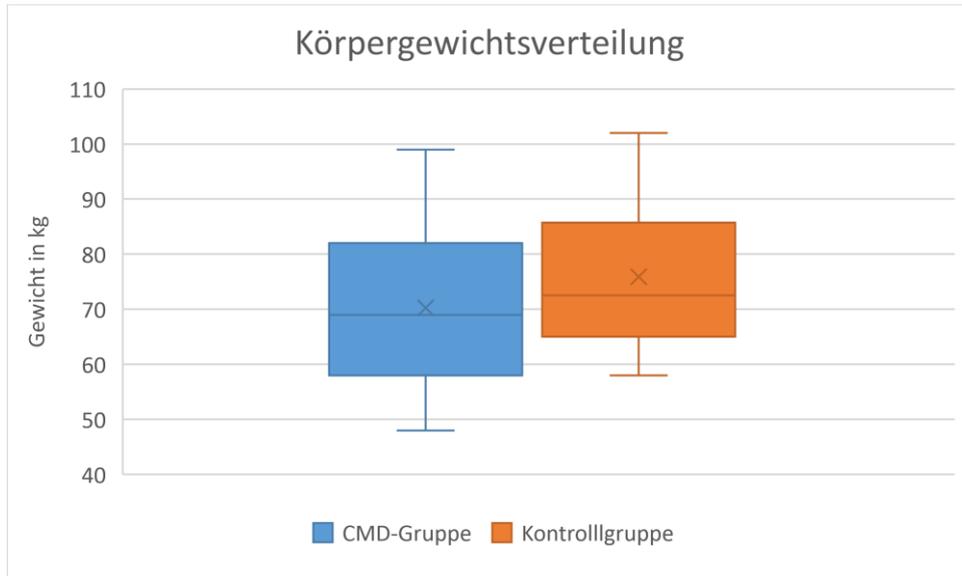


Abbildung 10: Boxplot zum Körpergewicht

Die Verteilung der Daten scheint optisch (Abbildung 10) nahezu normal. Rechnerisch konnte eine Normalverteilung der Daten belegt werden. Der Shapiro-Wilk-Test ergab in beiden Fällen ein nicht signifikantes Ergebnis (CMD-Gruppe mit  $p = 0,07$ , Kontrollgruppe mit  $p = 0,07$ ). Im Durchschnitt ist die Kontrollgruppe mit einer Mittelwertdifferenz von 5,7 kg geringfügig schwerer. Jedoch ist dieser Unterschied laut dem t-Test für unabhängige Stichproben nicht signifikant ( $p = 0,16$ ). Daher sind die Gruppen bezüglich des Gewichts miteinander vergleichbar.

#### 4.1.5 BMI-Verteilung

Tabelle 7: Lage- und Streumaße des BMI

Body-Mass-Index (BMI)	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe
Mittelwert	24,3	23,9
Median	24,1	23,9
Standardabweichung	3,9	2,26
Minimum	18,7	20,6
Maximum	34,5	30,4
Spannweite	15,8	9,7

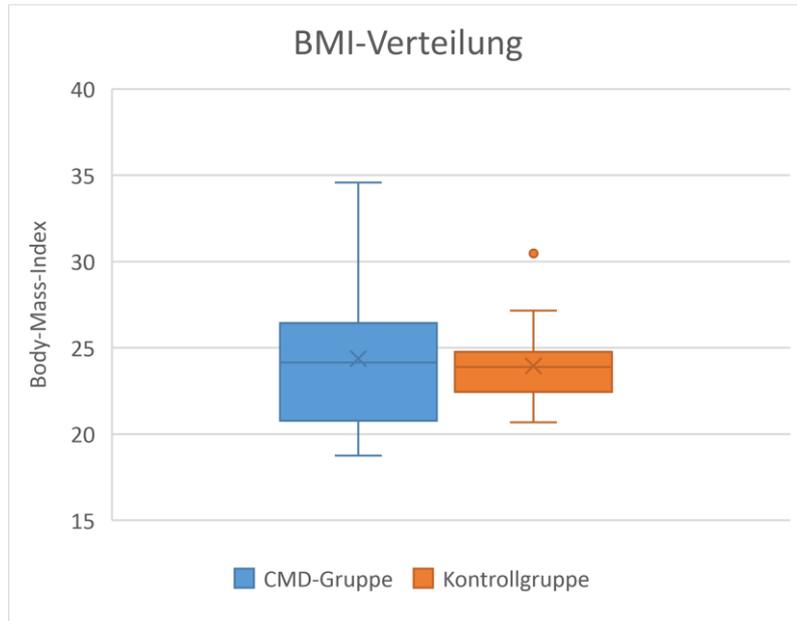


Abbildung 11: Boxplot des BMI

Die schiefe Verteilung des BMI innerhalb der CMD-Gruppe ist in Abbildung 11 gut zu erkennen. Auch nach dem Shapiro-Wilk-Test ist keine Normalverteilung gegeben ( $p = 0,04$ ). In der Kontrollgruppe dagegen sind die Daten optisch und rechnerisch normalverteilt ( $p = 0,14$ ). Die Mittelwertdifferenz des BMI zwischen der CMD-Gruppe und der Kontrollgruppe beträgt 0,4. Laut t-Test gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = 0,64$ ). Aufgrund der ungleichen Verteilung des BMI in der CMD-Gruppe ist das Ergebnis des t-Tests anzuzweifeln und die Vergleichbarkeit beider Gruppen bezüglich des BMI nicht gegeben.

#### 4.1.6 Korrelationsanalyse

Die Werte des  $S_{\text{gesamt}}$  aller Probanden wurden auf Korrelationen zu Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI überprüft, da sich die Gruppen in diesen Kriterien teilweise signifikant unterscheiden. Auf Basis der Korrelationsanalyse ergibt sich die Möglichkeit, das Ergebnis der Studie kritisch einzuschätzen.

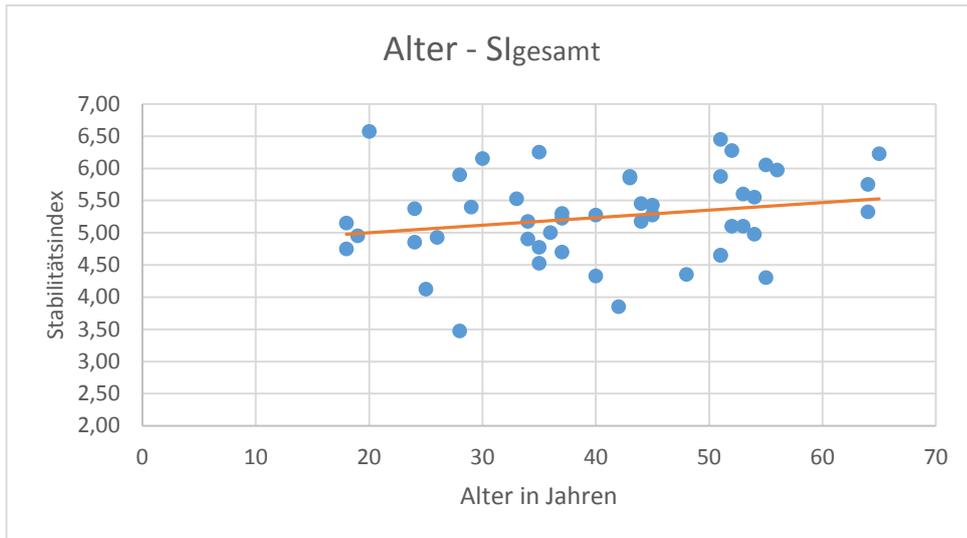


Abbildung 12: Korrelation des SIgesamt zum Alter

Je älter die Probanden sind, umso schlechter sind die Ergebnisse des SIgesamt (Abbildung 12). Die Korrelation des Alters zur Gleichgewichtskontrolle ist als schwach zu interpretieren (Pearson-Korrelation mit  $r = 0,21$ ). Das Ergebnis ist nicht signifikant mit  $p = 0,13$ .

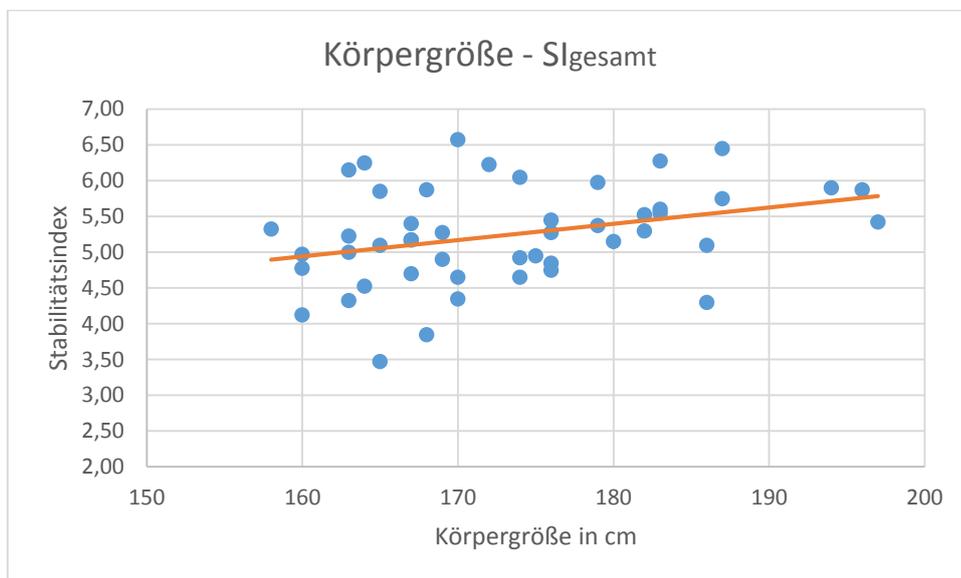


Abbildung 13: Korrelation des SIgesamt zur Körpergröße

Die Trendlinie in Abbildung 13 lässt erkennen, dass die Körpergröße der Probanden einen negativen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle hat. Je

höher die Körpergröße, umso schlechter sind die gemessenen Werte des SIgesamt. Die Körpergröße der Probanden korreliert moderat mit dem SIgesamt (Pearson-Korrelation mit  $r = 0,32$ ). Das Ergebnis ist signifikant mit  $p = 0,02$ .

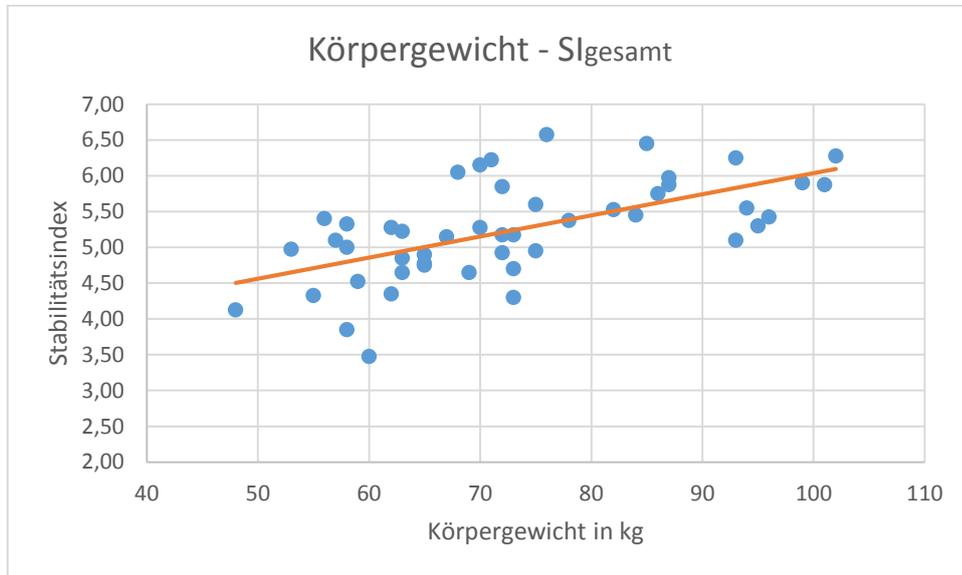


Abbildung 14: Korrelation des SIgesamt zum Körpergewicht

Im Streudiagramm (Abbildung 14) sieht man deutlich, dass mit zunehmendem Körpergewicht der Probanden schlechtere Messwerte des SIgesamt erreicht werden. Die Korrelation des Körpergewichts zur Gleichgewichtskontrolle ist als stark zu bewerten (Pearson-Korrelation mit  $r = 0,60$ ). Das Ergebnis ist signifikant mit  $p < 0,01$ .

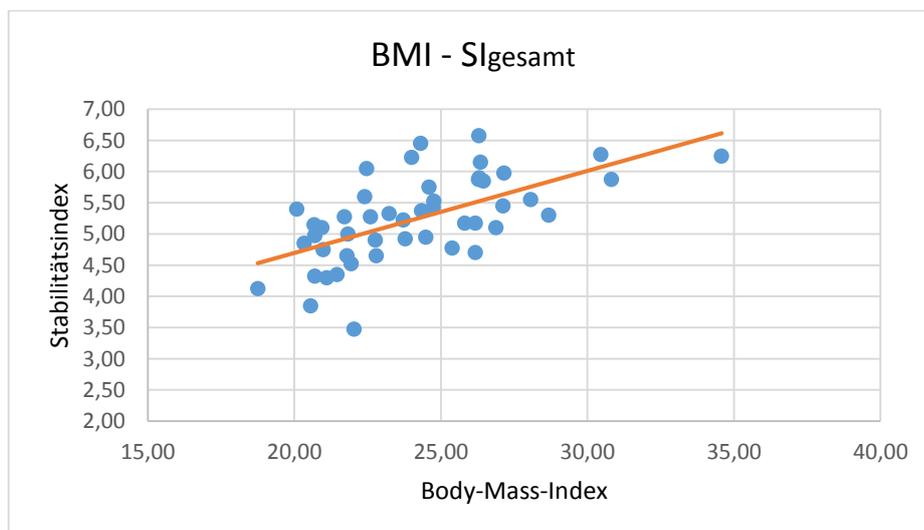


Abbildung 15: Korrelation des SIgesamt zum BMI

Ähnlich stark wie das Körpergewicht korreliert der BMI zum Stabilitätsindex. Je höher die Werte des BMI, desto schlechter sind die Messergebnisse des MFT-S3-Checks (Abbildung 15). Die Korrelation des BMI zur Gleichgewichtskontrolle ist als stark zu bewerten (Pearson-Korrelation mit  $r = 0,61$ ). Das Ergebnis ist signifikant mit  $p < 0,01$ .

## 4.2 Ergebnisse des CMD-Kurzbefundes nach Ahlers und Jakstat

Tabelle 8: Verteilung der Wahrscheinlichkeit einer CMD

Ergebnis	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
wahrscheinlich $2 \leq$ pos. Merkmale	24 (100 %)	0 (0 %)	24 (100 %)
unwahrscheinlich $< 2$ pos. Merkmale	0 (0 %)	24 (100 %)	24 (100 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

In Tabelle 8 ist deutlich erkennbar, dass in der CMD-Gruppe alle Probanden min. zwei Merkmale im Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat aufweisen. Im Durchschnitt kommen die Probanden auf 3 von 6 Punkten. Im Gegensatz dazu kommen die Probanden der Kontrollgruppe im Durchschnitt auf 0,5 von 6 Punkten, wobei alle Probanden weniger als zwei Merkmale aufweisen. Die Gruppen unterscheiden sich deutlich in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer CMD (Exakter Test nach Fisher mit  $p < 0,01$ ).

In Abbildung 16 ist die Verteilung und Häufigkeit der einzelnen Merkmale des CMD-Kurzbefundes in den Gruppen zu sehen. Dabei zeigen in der CMD-Gruppe 100 % der Probanden palpationsempfindliche Kaumuskeln. Ein ebenso hoher Anteil von 92 % weist Abrasionen der Zähne auf. Das am häufigsten vorkommende Merkmal in der Kontrollgruppe sind ebenfalls die palpationsempfindlichen Kaumuskeln (38 %), jedoch fällt der Anteil im Vergleich deutlich geringer aus. Zusätzlich zeigen weniger Probanden okklusale Geräusche (8 %) und Abrasionen der Zähne (4 %). Ausschließlich in der CMD-Gruppe dominieren die arthrogenen Zeichen wie Gelenkgeräusche (46 %) und reduzierte Mundöffnung  $< 40\text{mm}$  (50 %). Es ist feststellbar, dass sich die beiden Stichproben hinsichtlich des Bestehens einer CMD deutlich unterscheiden.

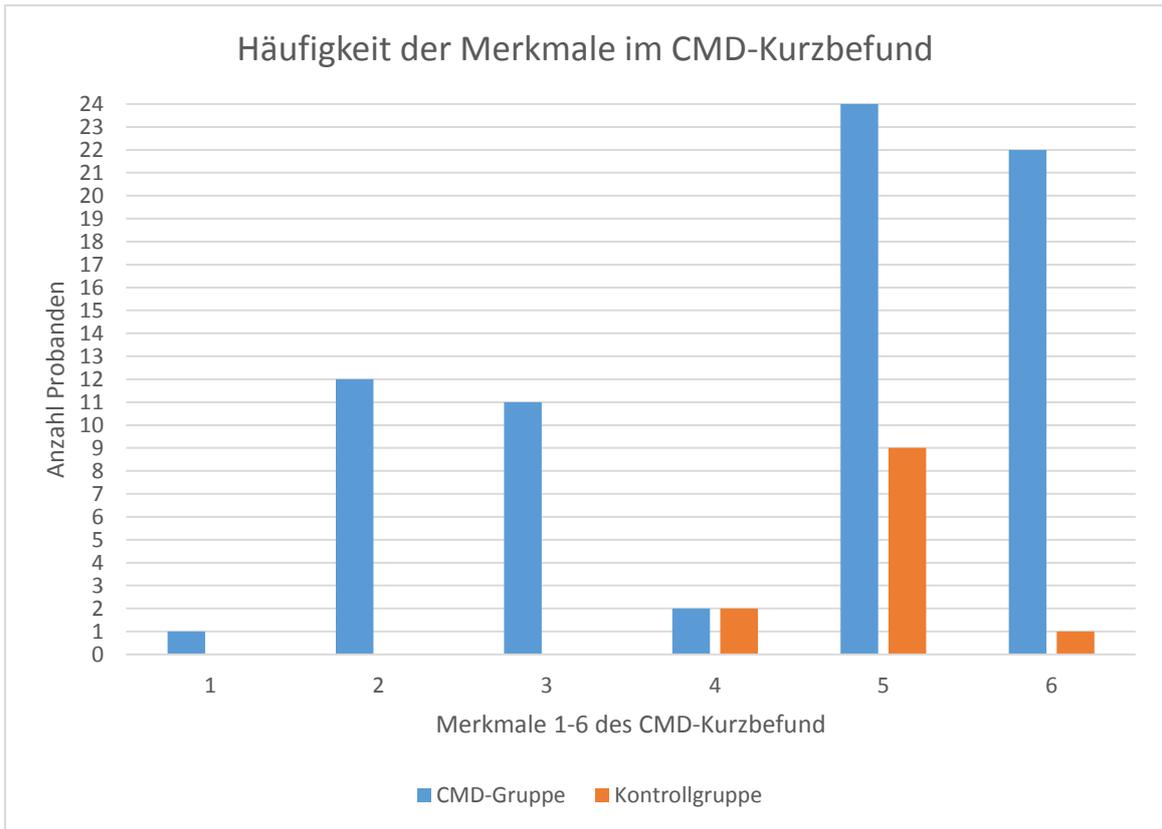


Abbildung 16: Verteilung der Merkmale des CMD-Kurzbefundes

- 1-Mundöffnung asymmetrisch
- 2-Mundöffnung<40mm,
- 3-Gelenkgeräusch
- 4-Okklusale Geräusche
- 5-Kaumuskulatur schmerzhaft
- 6-Exzentrik traumatisch

### 4.3 Analyse der primären Endpunkte

#### 4.3.1 Messwerte im Überblick

In der folgenden Tabelle 9 sind die Mittelwerte der Messungen in den einzelnen Messebenen unter Belastung und Entlastung des TMS dargestellt und mit Lage- und Streuungsmaßen genauer beschrieben.

Tabelle 9: Werte des  $SI_{gesamt}$  im gesamten Testablauf

Gruppe	Messebene	TMS	$\bar{x} \pm SD$	MD	Min	Max	Spannweite
CMD (n = 24)	Rechts/Links	Entlastung	4,91 ± 0,80	5,0	3,0	6,3	3,3
		Belastung	4,83 ± 1,03	4,7	2,5	6,3	3,8
	Vor/Zurück	Entlastung	5,60 ± 0,66	5,7	4,5	6,8	2,3
		Belastung	5,37 ± 0,95	5,1	2,9	6,9	4,0
Kontrolle (n = 24)	Rechts/Links	Entlastung	5,09 ± 0,82	5,0	3,7	6,5	2,8
		Zubeißen	5,12 ± 0,77	5,0	3,2	6,4	3,2
	Vor/Zurück	Entlastung	5,54 ± 0,78	5,6	4,0	7,3	3,3
		Zubeißen	5,50 ± 0,46	5,5	4,9	6,5	1,6

#### 4.3.2 Gleichgewichtskontrolle bei CMD-Patienten und gesunden Probanden

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde ebenenübergreifend der Mittelwert aus den vier Messungen pro Proband ermittelt. Somit ergeben sich pro Gruppe 24 Messwerte mit der Bezeichnung  $SI_{gesamt}$ . Diese wurden in Tabelle 10 anhand von Lage- und Streumaßen weiter analysiert.

Tabelle 10: Lage- und Streumaße des  $SI_{gesamt}$

$SI_{gesamt}$	CMD-Gruppe (n = 24)	Kontrollgruppe (n = 24)
Mittelwert	5,18	5,31
Median	5,18	5,28
Standardabweichung	0,78	0,58
Minimum	3,48	4,30
Maximum	6,58	6,45
Spannweite	3,10	2,15

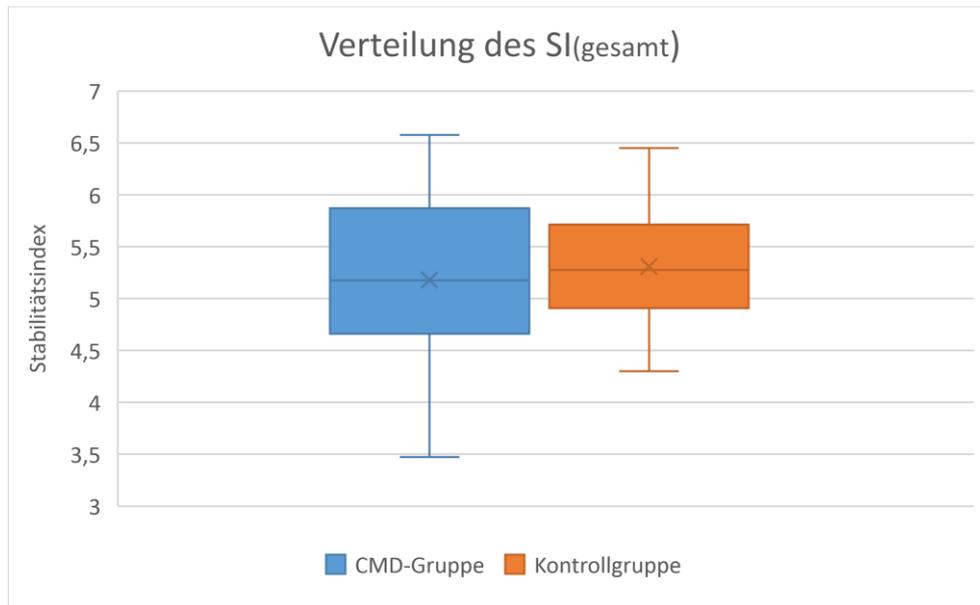


Abbildung 17: Boxplot des  $SI_{gesamt}$

Die Abbildung 17 zeigt eine weitgehende Normalverteilung der Daten innerhalb der beiden Gruppen. Diese Annahme wird durch den nicht signifikanten Shapiro-Wilk-Test bestätigt (CMD-Gruppe mit  $p = 0,96$  und Kontrollgruppe mit  $p = 0,82$ ). Der Test auf Varianzgleichheit (Levene) ist ebenfalls nicht signifikant ( $p = 0,17$ ). Damit ist Varianzhomogenität und Normalverteilung der Daten gegeben.

Die CMD-Gruppe erreichte im Durchschnitt einen Wert von 5,18 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,78$ . Die Kontrollgruppe erreichte im Durchschnitt einen Wert von 5,31 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,58$ . Die Mittelwertdifferenz zwischen beiden Gruppen beträgt im Durchschnitt - 0,13 bei einem Standardfehler von 0,2 und einem 95-%-KI [-0,53; 0,27]. Da das Konfidenzintervall den Wert 0 enthält, gilt der Unterschied als nicht signifikant. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt dies mit einem nicht signifikanten Ergebnis von  $t(46) = 0,66$  und  $p = 0,51$ . Die  $H_0$ -Hypothese wird angenommen: Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen CMD-Patienten und gesunden Probanden.

#### 4.3.3 Gleichgewichtskontrolle bei belasteten und entlasteten TMS

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurden pro Proband zwei Mittelwerte aus den vier Messungen gebildet:  $SI_{Belastung}$  und  $SI_{Entlastung}$ . Damit ergeben sich in jeder

Gruppe 24 Mittelwerte unter Belastung und 24 Mittelwerte unter Entlastung, die auf einen signifikanten Unterschied geprüft werden.

#### 4.3.3.1 Innerhalb der CMD-Gruppe

In Tabelle 11 werden die Verteilung der Werte  $SI_{\text{Belastung}}$  und  $SI_{\text{Entlastung}}$  innerhalb der CMD-Gruppe anhand von Lage- und Streuungsmaßen genauer analysiert.

Tabelle 11: Lage- und Streumaße des  $SI_{\text{Belastung}}$ ,  $SI_{\text{Entlastung}}$  und  $SI_{\text{Differenz}}$

	$SI_{\text{Belastung}}$ (n = 24)	$SI_{\text{Entlastung}}$ (n = 24)	$SI_{\text{Differenz}}$ (n = 24)
Mittelwert	5,10	5,25	-0,15
Median	5,18	5,33	-0,10
Standardabweichung	0,94	0,68	0,48
Minimum	2,70	4,10	-1,55
Maximum	6,60	6,55	0,60
Spannweite	3,90	2,45	2,15

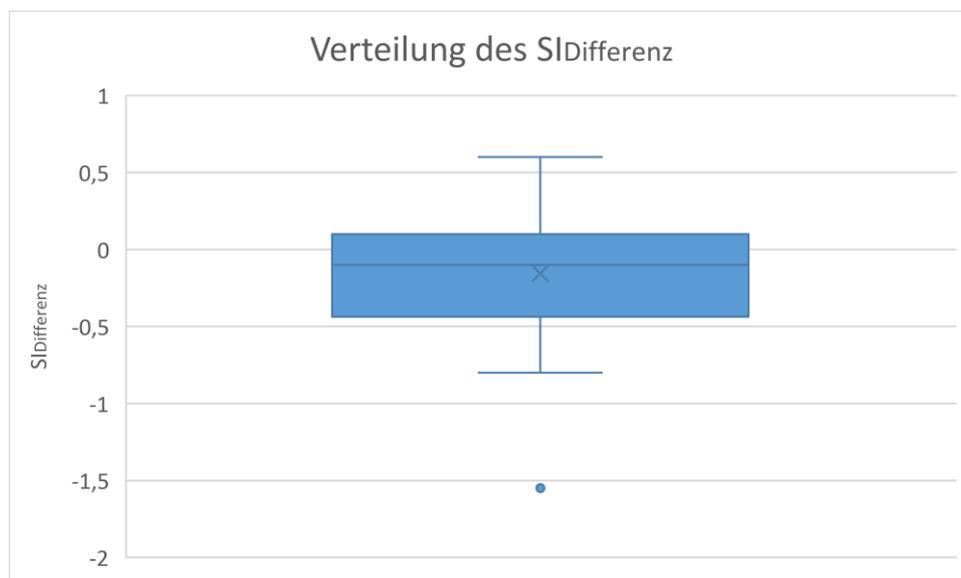


Abbildung 18: Boxplot des  $SI_{\text{Differenz}}$  innerhalb der CMD-Gruppe

Bis auf einen leichten Ausreißer mit dem Wert  $SI_{Differenz} = -1,55$  ist in Abbildung 18 eine Normalverteilung der Differenzen zu erkennen. Der Ausreißer wird in der Stichprobe belassen und in die statistische Berechnung miteinbezogen. Die Normalverteilung der Differenzen ist durch ein nicht signifikantes Ergebnis des Shapiro-Wilk-Tests gegeben ( $p = 0,23$ ). Somit sind die Daten normalverteilt und keine relevanten Ausreißer vorhanden. Die Probanden der CMD-Gruppe erreichten unter belasteten TMS einen Mittelwert  $SI_{Belastung} = 5,10$  bei einer Standardabweichung von  $\pm 0,94$ . Unter entlasteten TMS erreichten sie einen Mittelwert  $SI_{Entlastung} = 5,25$  bei einer Standardabweichung von  $\pm 0,68$ . Mit einer mittleren Differenz von  $0,15$  bei einem Standardfehler von  $0,10$  und einem 95%-KI  $[-0,36; 0,05]$  sind die Messungen unter Belastung des TMS etwas besser als unter Entlastung. Da das KI-Intervall den Wert  $0$  enthält, gilt der Unterschied jedoch als nicht signifikant. Laut t-Test für abhängige Stichproben ( $p = 0,12$ ) gibt es ebenso keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten  $SI_{Belastung}$  und  $SI_{Entlastung}$ . Die  $H_0$ -Hypothese kann angenommen werden. Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle bei entlasteten und belasteten TMS innerhalb der CMD-Gruppe.

#### 4.3.3.2 Innerhalb der Kontrollgruppe

*Tabelle 12: Lage- und Streumaße des  $SI_{Belastung}$  und  $SI_{Entlastung}$  innerhalb der Kontrollgruppe*

	$SI_{Belastung}$ (n = 24)	$SI_{Entlastung}$ (n = 24)	$SI_{Differenz}$ (n = 24)
Mittelwert	5,30	5,31	-0,01
Median	5,30	5,20	0,1
Standardabweichung	0,50	0,71	0,42
Minimum	4,35	4,25	-0,90
Maximum	6,20	6,90	0,85
Spannweite	1,85	2,56	1,75

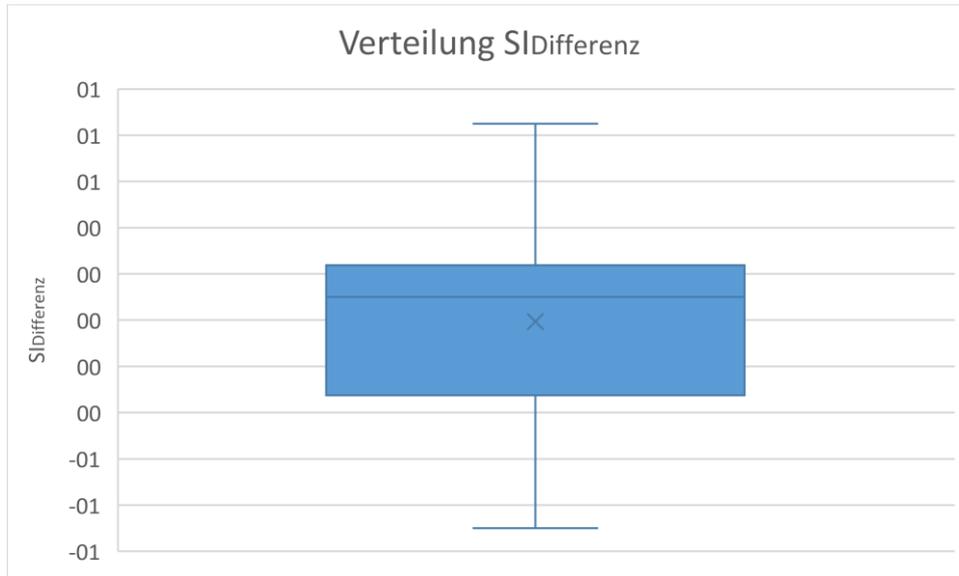


Abbildung 19: Boxplot des SIDifferenz innerhalb der Kontrollgruppe

Die Werte des SIDifferenz der Kontrollgruppe sind optisch normalverteilt. Es sind keine Ausreißer vorhanden. Bestätigt wird die Annahme der Normalverteilung durch ein nicht signifikantes Ergebnis des Shapiro-Wilk-Tests ( $p = 0,93$ ). Innerhalb der Kontrollgruppe erreichten die Probanden unter belasteten TMS einen Mittelwert  $SI_{\text{Belastung}} = 5,30$  bei einer Standardabweichung von  $\pm 0,50$ . Bei entlasteten TMS erzielten diese einen Mittelwert  $SI_{\text{Entlastung}}$  von  $5,31$  mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,71$ . Die mittlere Differenz beider Mittelwerte beträgt  $0,01$  bei einem Standardfehler von  $0,09$  und einem 95-%-KI  $[-0,17; 0,18]$ . Das Konfidenzintervall beinhaltet den Wert  $0$ , dadurch ist das Ergebnis nicht signifikant. Der t-Test für abhängige Stichproben ergibt ebenso ein nicht signifikantes Ergebnis mit  $t(23) = 0,07$  und  $p = 0,94$ .  $H_0$  kann angenommen werden. Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle bei entlasteten und belasteten TMS innerhalb der Kontrollgruppe.

#### 4.3.3.3 Analyse der subjektiven Erwartung (Placebo-Kontrolle)

Nachdem die vier Messungen mit dem MFT-S3-Check pro Proband durchgeführt worden waren, wurden diese nach ihrer Erwartungshaltung bezüglich der Interventionen befragt:

Placebo-Frage: Welche Intervention würde Ihrer Meinung nach den Test der Gleichgewichtsfähigkeit verbessern?

In Tabelle 13 sind die Antworten im Gruppenvergleich dargestellt.

Tabelle 13: Erwartungshaltung der Probanden

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Belastung	10 (42 %)	7 (29 %)	17 (35,4 %)
Entlastung	14 (58 %)	17 (71 %)	31 (64,6 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

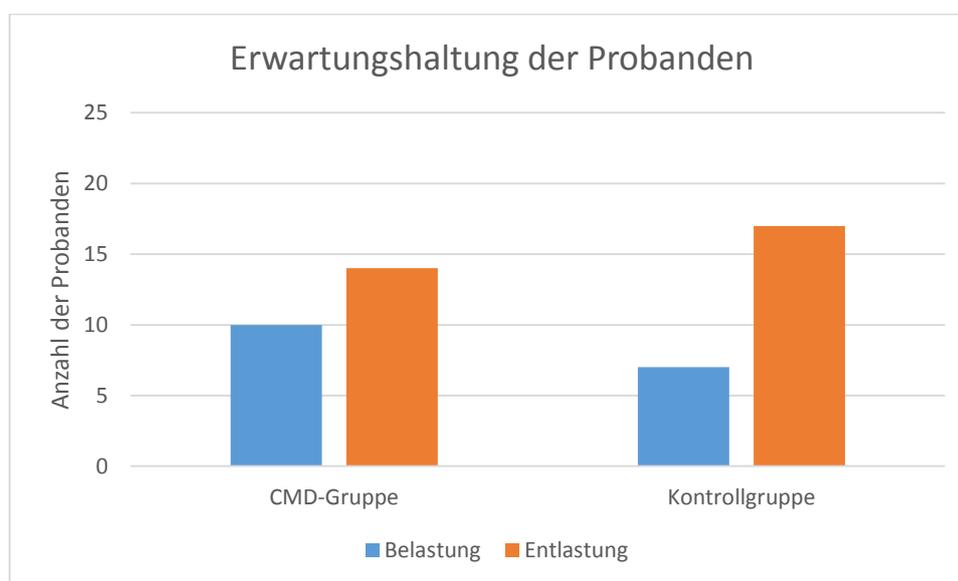


Abbildung 20: Erwartungshaltung der Probanden

Demnach ging in beiden Gruppen die Mehrheit der Probanden davon aus, dass unter Entlastung des TMS (Intervention: Watterolle) eine bessere Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle abzurufen ist. In der Kontrollgruppe ist diese Erwartung mit 71 % stärker ausgeprägt als in der CMD-Gruppe mit 58 %. Der Unterschied in der subjektiven Erwartungshaltung zwischen den beiden Gruppen ist statistisch nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,54$ ).

## 4.4 Analyse der sekundären Endpunkte

### 4.4.1 Fragebogen

Im Folgenden sind die Ergebnisse des Fragebogens in Kreuztabelle und Diagramm dargestellt. Die Probanden konnten die einzelnen Fragen jeweils mit „ja“ oder „nein“ beantworten. Die Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen der CMD-Gruppe und der Kontrollgruppe erfolgte jeweils mit dem Exakten Test nach Fisher.

#### Frage 1: Treiben Sie mindestens 1h/Woche Sport?

Tabelle 14: Sporttätigkeit

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	20 (83 %)	17 (71 %)	37 (77,1 %)
Nein	4 (17 %)	7 (29 %)	11 (22,9 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

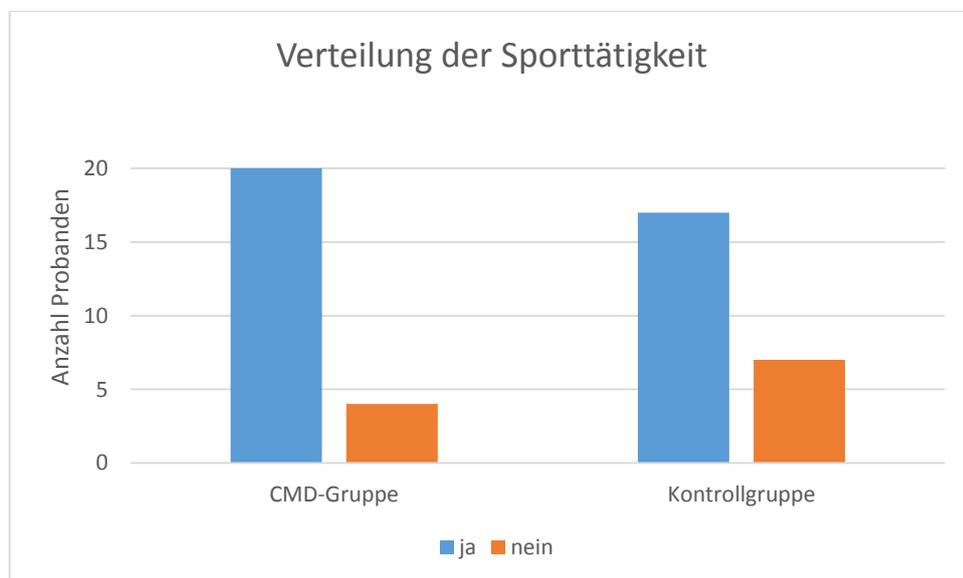


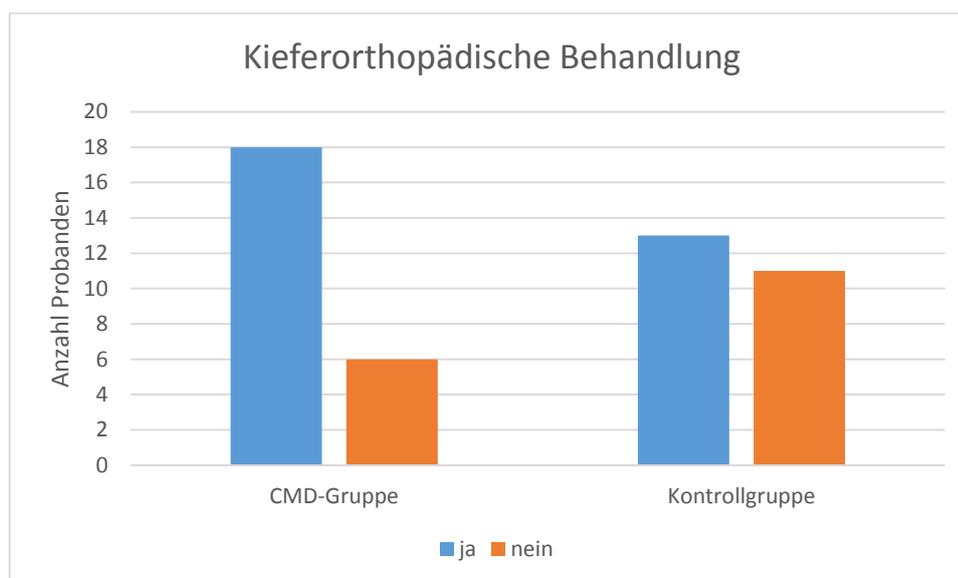
Abbildung 21: Sporttätigkeit

In der CMD-Gruppe treiben 83 % der Probanden mind. 1h pro Woche Sport. In der Kontrollgruppe ist der Anteil mit 71 % etwas geringer. Nach dem Exakten Test nach Fisher ist der Unterschied nicht signifikant ( $p = 0,49$ ).

**Frage 2: Befanden Sie sich jemals in kieferorthopädischer Behandlung?**

*Tabelle 15: Kieferorthopädische Behandlung*

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	18 (75 %)	13 (54,2 %)	31 (64,5 %)
Nein	6 (25 %)	11 (45,8 %)	17 (35,5 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)



*Abbildung 22: Kieferorthopädische Behandlung*

In der CMD Gruppe hatten sich 75 % der Probanden einer kieferorthopädischen Behandlung unterzogen. In der Kontrollgruppe war der Anteil mit 54,2 % etwas geringer. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,22$ ).

**Frage 3: Wurden bei Ihnen Maßnahmen zum Zahnersatz durchgeführt (Brücken, Kronen, Implantate, Prothesen)?**

Tabelle 16: Durchführung von Maßnahmen zum Zahnersatz

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	12 (50 %)	13 (54,2 %)	25 (52 %)
Nein	12 (50 %)	11 (45,8 %)	23 (48 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

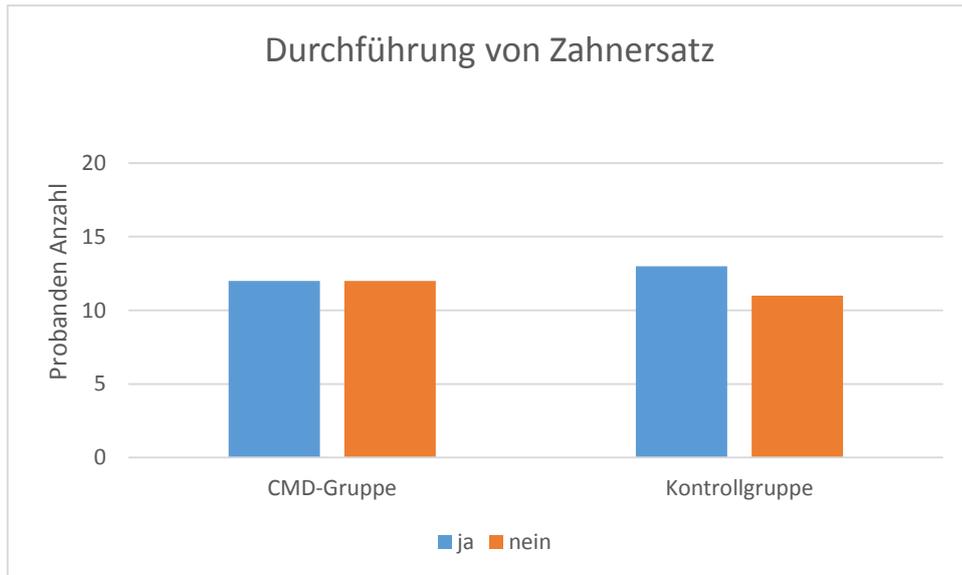


Abbildung 23: Durchführung von Zahnersatz

In der CMD-Gruppe war das Verhältnis zwischen den Probanden mit Zahnersatz und denen ohne Zahnersatz mit 50 % genau ausgeglichen. In der Kontrollgruppe hatten 54,2 % der Probanden Zahnersatz erhalten. Dieser geringfügige Unterschied ist nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,77$ ).

**Frage 4: Tragen Sie eine einfache Tiefziehschiene zum Zahnschutz (meist keine Zuzahlung)?**

Tabelle 17: Tragen einer Tiefziehschiene

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	11 (45,8 %)	0 (0 %)	11 (22,9 %)
Nein	13 (54,2 %)	24 (100 %)	37 (77,1 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

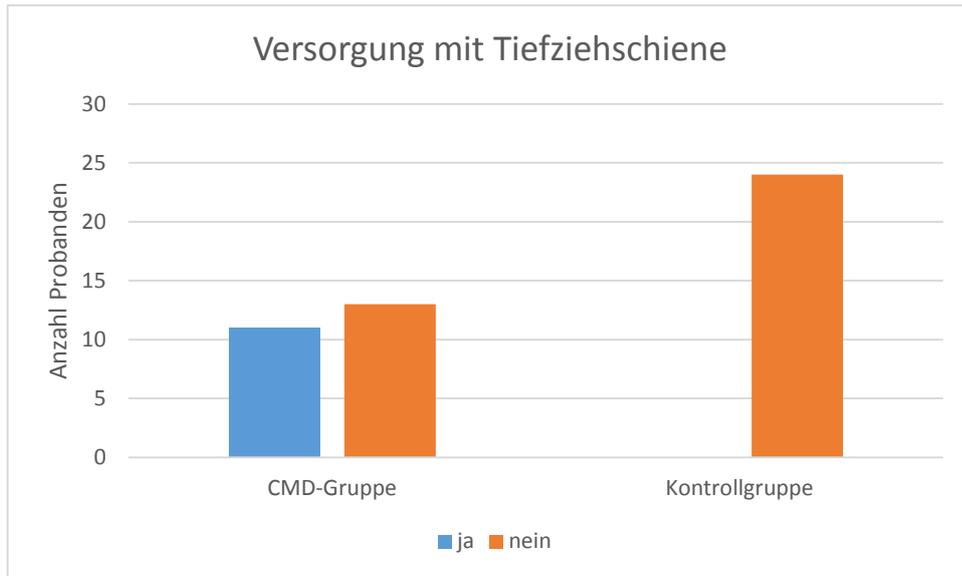


Abbildung 24: Tragen einer Tiefziehschiene

In Abbildung 24 ist ein starker Unterschied in der Versorgung mit einer Tiefziehschiene unter den Probanden zu erkennen. In der CMD-Gruppe ist es mit 45,8 % fast die Hälfte der gesamten Gruppe. In der Kontrollgruppe trägt niemand eine Tiefziehschiene. Das Ergebnis ist statistisch signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p < 0,01$ ).

**Frage 5: Tragen Sie eine aufwändigere Schiene zur Entkoppelung/Relaxierung /Zentrierung (meist mit Zuzahlung)?**

Tabelle 18: Tragen einer speziellen CMD-Schiene

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	7 (29 %)	0 (0 %)	7 (14,5 %)
Nein	17 (71 %)	24 (100 %)	41 (85,5 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

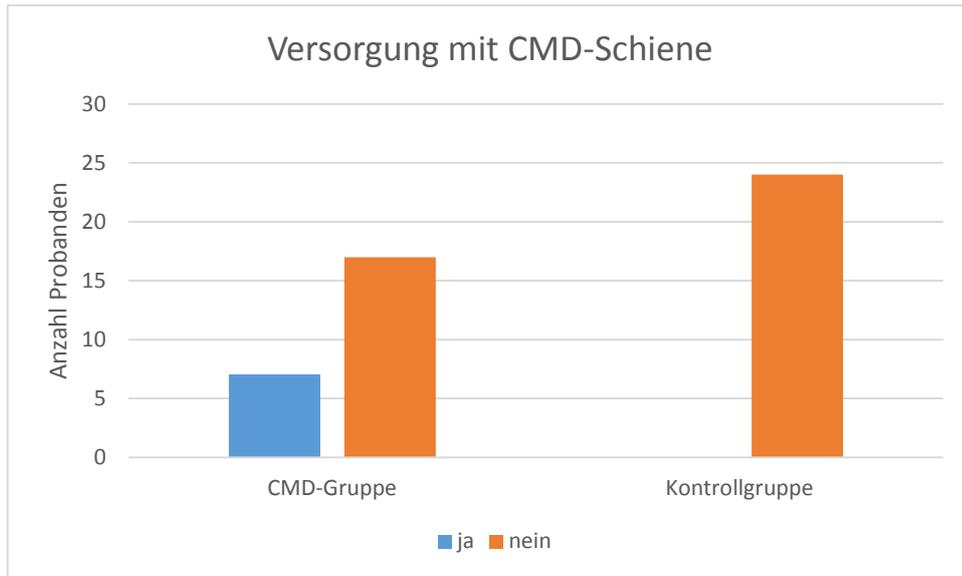


Abbildung 25: Tragen einer speziellen CMD-Schiene

Die Tiefziehschiene ist unter den CMD-Probanden das häufigste Mittel der zahnärztlichen Schienenversorgung (45,2 %). Nur 29 % wurden mit einer speziellen CMD-Schiene versorgt. In der Kontrollgruppe trägt kein Proband eine spezielle CMD-Schiene (Abbildung 24). Der Unterschied zwischen der Versorgung mit einer CMD-Schiene zwischen beiden Gruppen ist signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p < 0,01$ ).

**Frage 6: Haben Sie mindestens 1x pro Monat Kopfschmerzen?**

Tabelle 19: Vorhandensein von Kopfschmerzen

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	19 (79 %)	7 (29 %)	26 (54,1 %)
Nein	5 (21 %)	17 (71 %)	22 (45,9 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

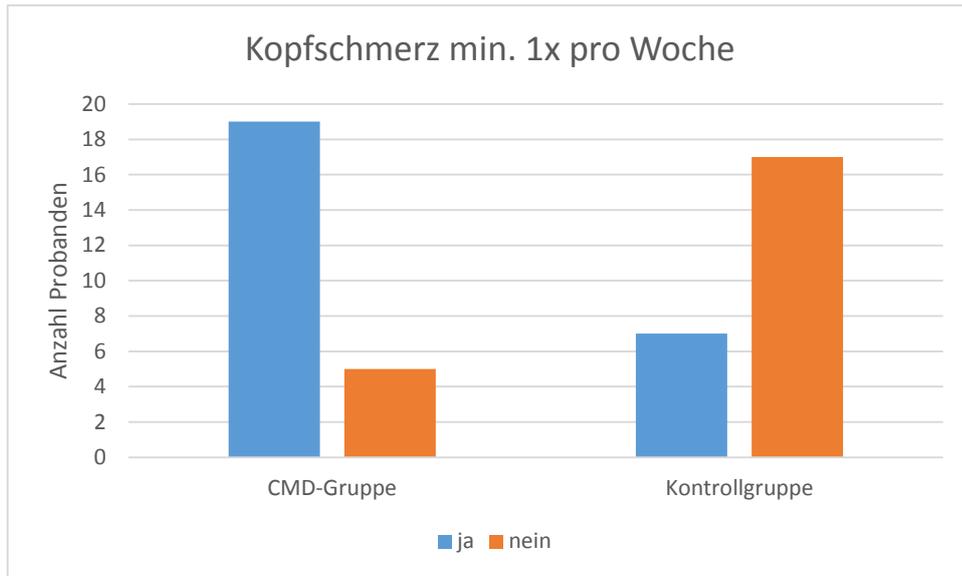


Abbildung 26: Vorhandensein von Kopfschmerzen

In der CMD-Gruppe leiden 79 % der Probanden mind. 1x pro Woche unter Kopfschmerzen. Dieser Anteil ist in der Kontrollgruppe mit 29 % deutlich geringer. Der Unterschied ist signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p < 0,01$ ).

**Frage 7: Haben Sie mindestens 1x pro Monat Nackenschmerzen?**

Tabelle 20: Vorhandensein von Nackenschmerzen

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	24 (100 %)	5 (21 %)	29 (60,4 %)
Nein	0 (0 %)	19 (79 %)	19 (39,6 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

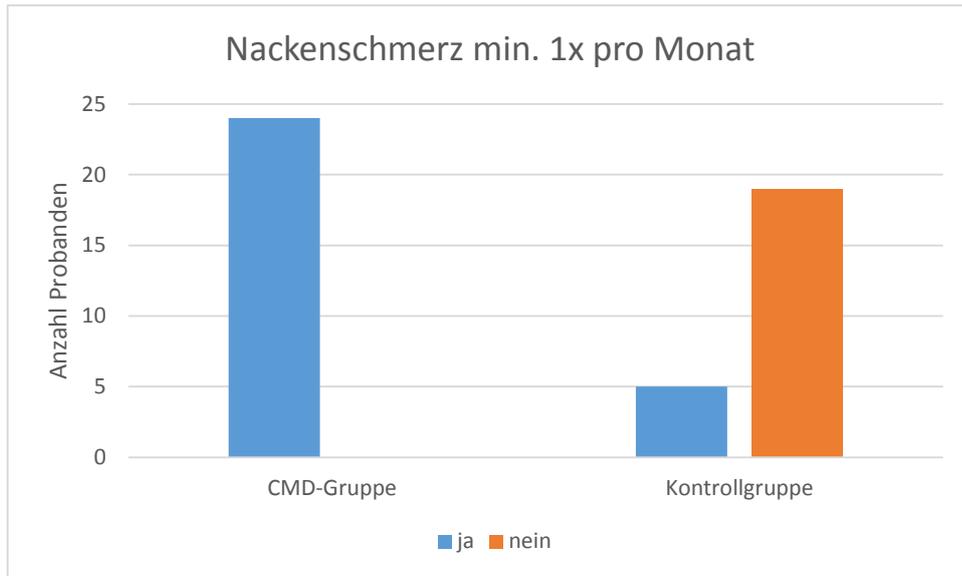


Abbildung 27: Vorhandensein von Nackenschmerzen

In Abbildung 27 ist der Unterschied zwischen den Gruppen deutlich zu erkennen. Alle Probanden der CMD-Gruppe leiden mind. 1x pro Woche unter Nackenschmerzen, dagegen lediglich 21 % der Probanden in der Kontrollgruppe. Der Unterschied ist statistisch signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p < 0,01$ ).

### Frage 8: Haben Sie Zahnschmerzen unklarer Genese?

Tabelle 21: Vorhandensein von Zahnschmerzen unklarer Genese

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	4 (17 %)	0 (0 %)	4 (8,3 %)
Nein	20 (83 %)	24 (100 %)	44 (91,7 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

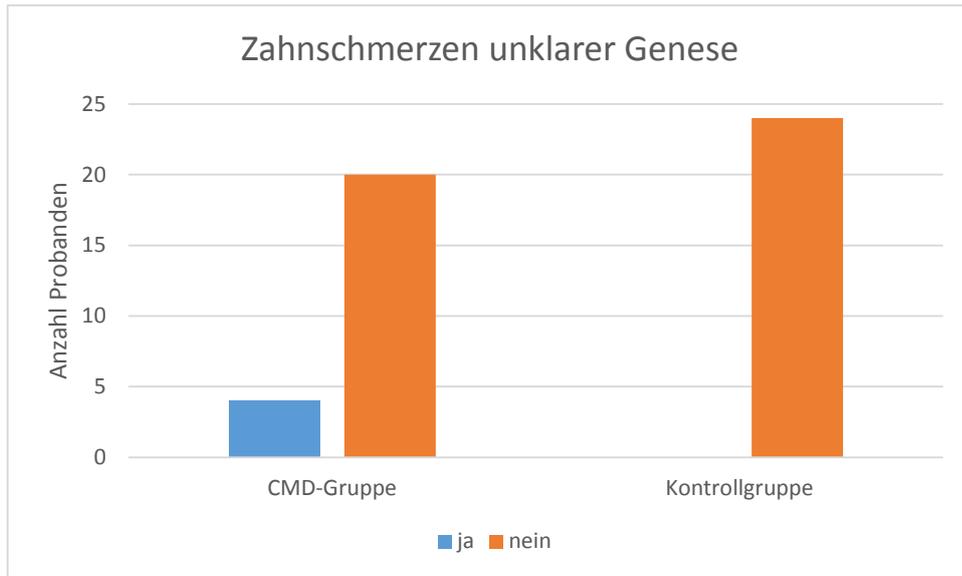


Abbildung 28: Vorhandensein von Zahnschmerzen unklarer Genese

In der CMD-Gruppe wiesen 17 % der Probanden Zahnschmerzen mit unklarer Genese auf, dagegen keiner in der Kontrollgruppe (Tabelle 21). Dieses Ergebnis ist nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,10$ ).

**Frage 9: Haben Sie Gleichgewichtsstörungen bzw. Schwindel ohne organischen Befund?**

Tabelle 22: Vorhandensein von Gleichgewichtsstörungen ohne organischen Befund

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	6 (25 %)	1 (4 %)	7 (14,5 %)
Nein	18 (75 %)	23 (96 %)	41 (85,5 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

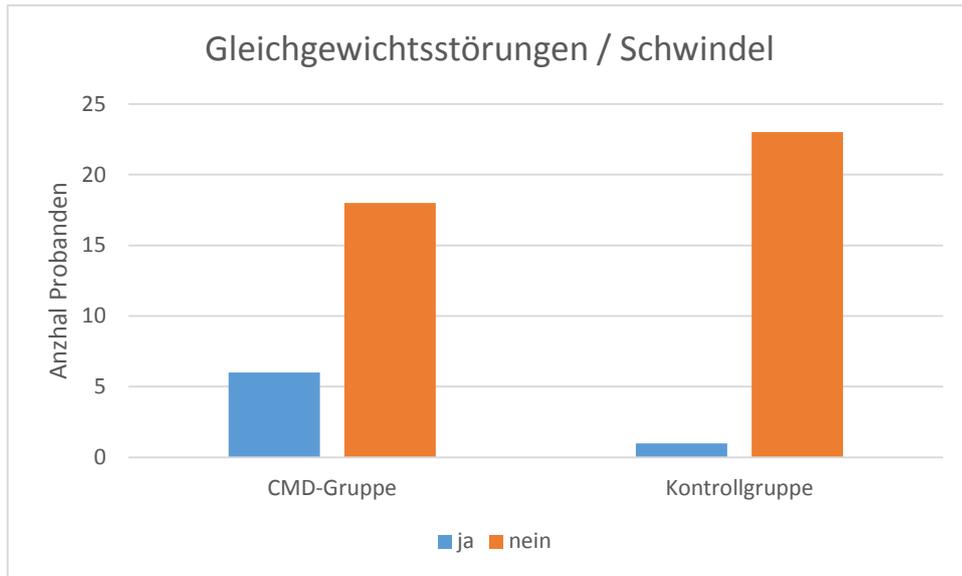


Abbildung 29: Vorhandensein von Gleichgewichtsstörungen

Ein Viertel der Probanden der CMD-Gruppe leidet unter Gleichgewichtsstörungen ohne organischen Befund. In der Kontrollgruppe gibt nur ein Proband an, unter diesen Symptomen zu leiden (4 %). Dieser Unterschied ist nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,09$ ).

**Frage 10: Hatten Sie jemals eine Verletzung der Halswirbelsäule (z.B. Schleudertraumata) mit einhergehenden Schmerzen oder Funktionsstörungen?**

Tabelle 23: Vorausgegangenes HWS-Trauma

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	4 (17 %)	4 (17 %)	8 (16,6 %)
Nein	20 (83 %)	20 (83 %)	40 (83,4 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

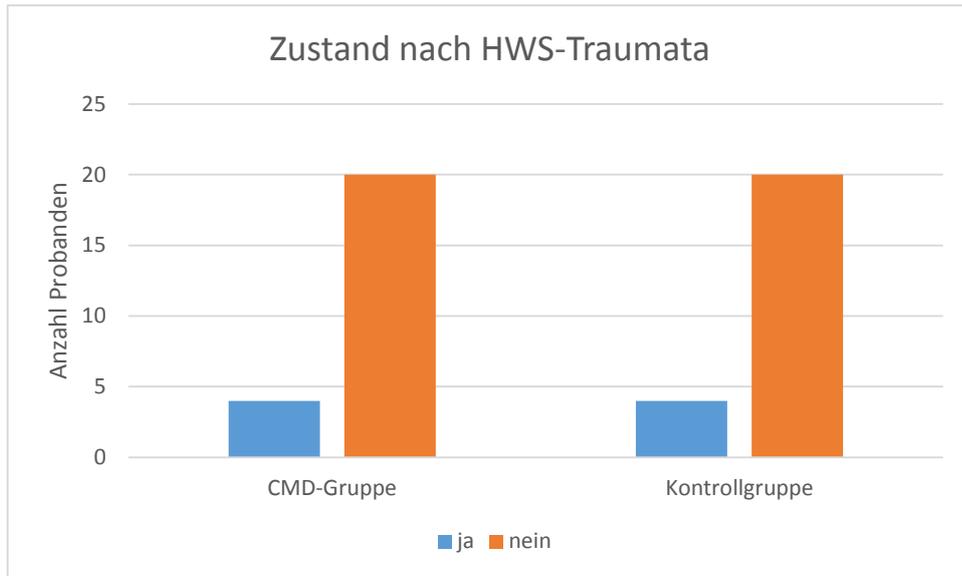


Abbildung 30: Vorausgegangenes HWS-Trauma

Der Anteil der Probanden mit einem HWS-Trauma war in beiden Gruppen mit 17 % genau gleich verteilt. Dieses Ergebnis ist nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 1$ ).

**Frage 11: Fühlen Sie sich außerordentlich gestresst?**

Tabelle 24: Stressbelastung der Probanden

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	9 (38 %)	3 (13 %)	12 (25 %)
Nein	15 (63 %)	21 (87 %)	36 (75 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

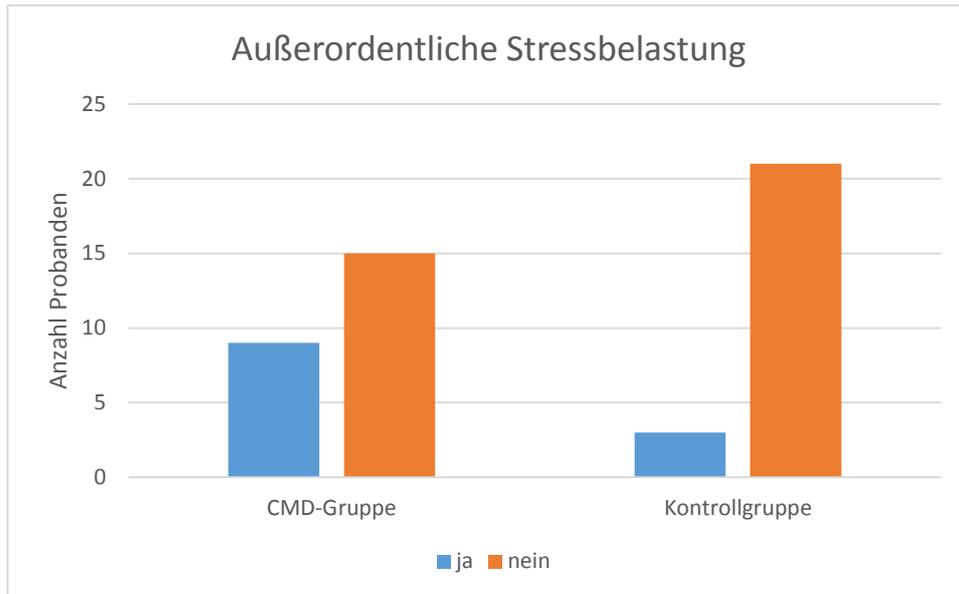


Abbildung 31: Stressbelastung der Probanden

38 % der Probanden der CMD-Gruppe fühlen sich außerordentlich gestresst. In der Kontrollgruppe fällt der Anteil mit 13 % deutlich geringer aus. Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,09$ ).

### Frage 12: Leiden Sie an Tinnitus?

Tabelle 25: Vorhandensein von Tinnitus

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	6 (25 %)	3 (12,5 %)	9 (18,7 %)
Nein	18 (75 %)	21 (86,5 %)	39 (81,3 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

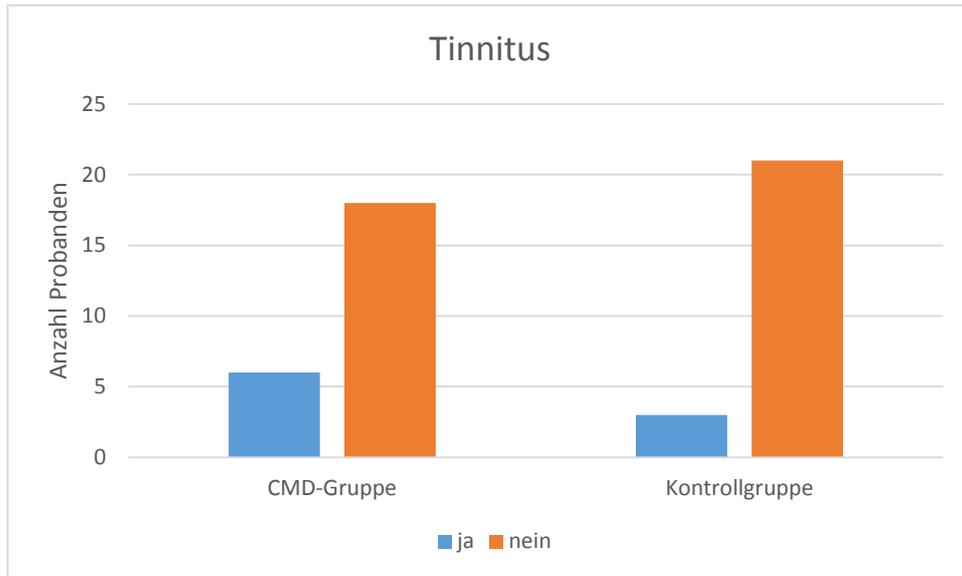


Abbildung 32: Vorhandensein von Tinnitus

In der CMD-Gruppe leiden mit 25 % doppelt so viel Probanden an Tinnitus wie in der Kontrollgruppe mit 12,5 %. Dieses Ergebnis ist nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,4$ ).

**Frage 13: Knirschen bzw. pressen Sie nachts mit den Zähnen?**

Tabelle 26: Vorhandensein von Bruxismus

	CMD-Gruppe	Kontrollgruppe	Summe
Ja	22 (92 %)	2 (8 %)	24 (50 %)
Nein	2 (8 %)	22 (92 %)	24 (50 %)
Summe	24 (100 %)	24 (100 %)	48 (100 %)

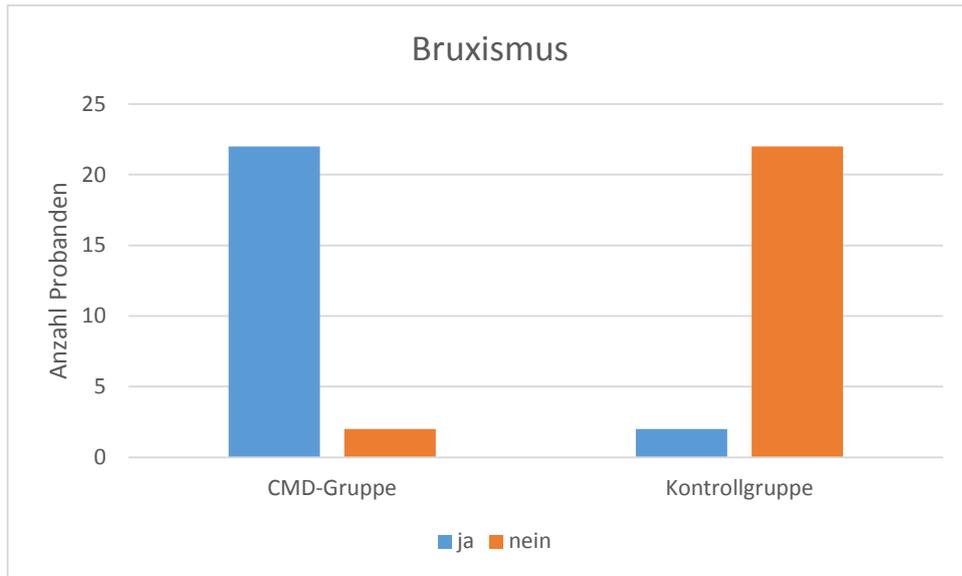


Abbildung 33: Vorhandensein von Bruxismus

In der CMD-Gruppe sind unter Bruxismus leidende Probanden mit 92 % stark vertreten. Im Gegensatz dazu steht die Kontrollgruppe mit einem Anteil derselben von nur 8 %. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant (Exakter Test nach Fisher mit  $p < 0,01$ ).

#### 4.4.2 Subgruppenanalyse innerhalb der CMD-Gruppe

Durch die Ergebnisse des Fragebogens konnten die Stichproben in ausgewählte Subgruppen selektiert werden, die wiederum in Bezug auf die Gleichgewichtskontrolle (Stabilitätsindex) verglichen wurden. Stratifikationen solch kleiner Stichproben ( $n = 24$ ) sind statistisch gesehen weniger sinnvoll, dennoch wurde – um der eingangs gestellten Forschungsfrage gerecht zu werden – der Versuch einer Subgruppenbildung und statistischen Prüfung unternommen.

##### 4.4.2.1 Sportler und Nicht-Sportler

Tabelle 27: Lage- und Streumaße des  $SI_{\text{gesamt}}$

$SI_{\text{gesamt}}$	Sportler (n = 17)	Nicht-Sportler (n = 7)
Mittelwert	5,04	5,53
Median	5,10	5,90
Standardabweichung	0,72	0,88
Minimum	3,48	4,13
Maximum	6,25	6,58
Spannweite	2,78	2,45

Nach der grafischen Darstellung im Boxplot-Diagramm (Abbildung 34) sind die Daten der Sportlergruppe normalverteilt. Im Gegensatz dazu sind die Daten der Nichtsportler geringfügig schief verteilt. Jedoch liefert der Shapiro-Wilk-Test in beiden Stichproben ein nicht signifikantes Ergebnis (Sportler-Gruppe mit  $p = 0,90$ , Nicht-Sportler-Gruppe mit  $p = 0,50$ ). Der Test auf Varianzgleichheit (Levene) ist ebenfalls nicht signifikant ( $p = 0,33$ ). Damit ist Varianzhomogenität und Normalverteilung der Daten gegeben.

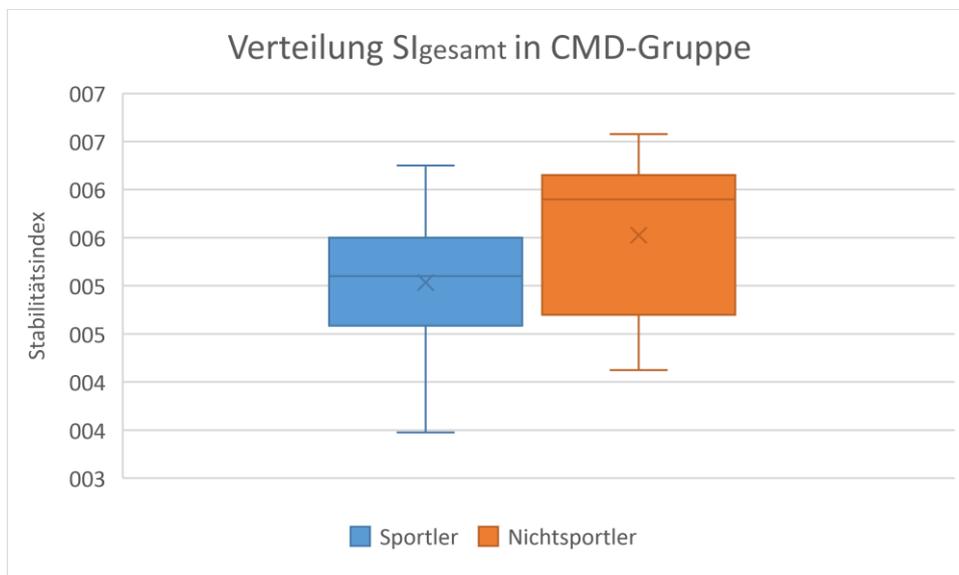


Abbildung 34:  $SI_{\text{gesamt}}$  bei Sportlern und Nicht-Sportlern in der CMD-Gruppe

Die Sportler erreichten im Durchschnitt einen Wert von 5,04 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,72$ . Die Nicht-Sportler erreichten im Durchschnitt einen Wert von 5,53 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,88$ . Die Mittelwertdifferenz zwischen beiden Subgruppen beträgt im Durchschnitt - 0,49 bei einem Standardfehler von 0,34 und

einem 95%-KI [-1,2; 0,23]. Da das Konfidenzintervall den Wert 0 enthält, gilt der Unterschied als nicht signifikant. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt dies mit einem nicht signifikanten Ergebnis von  $t(22) = -1,42$  und  $p = 0,17$ . Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle ( $Sl_{gesamt}$ ) zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern innerhalb der CMD-Gruppe.

#### 4.4.2.2 Probanden mit und ohne HWS-Trauma

Tabelle 28: Lage- und Streumaße des  $Sl_{gesamt}$

$Sl_{gesamt}$	Ohne HWS-Trauma (n = 20)	Mit HWS-Trauma (n = 4)
Mittelwert	5,16	5,29
Median	5,14	5,59
Standardabweichung	0,76	1,03
Minimum	3,48	3,85
Maximum	6,58	6,15
Spannweite	3,10	2,3

In Tabelle 28 sind die Lage- und Streumaße der Subgruppen dargestellt. Der Abstand vom Mittelwert zum Median ist innerhalb der HWS-Trauma-Gruppe geringfügig weiter als in der Gruppe ohne Trauma. Dieser leichte Unterschied in der Verteilung ist im Boxplot-Diagramm (Abbildung 35) gut sichtbar. Laut dem Shapiro-Wilk-Test ist in beiden Fällen die Normalverteilung gegeben (Gruppe ohne Trauma mit  $p = 0,99$  und Gruppe mit Trauma mit  $p = 0,38$ ). Die Varianzhomogenität wurde durch den Levene-Test mit  $p = 0,60$  bestätigt.

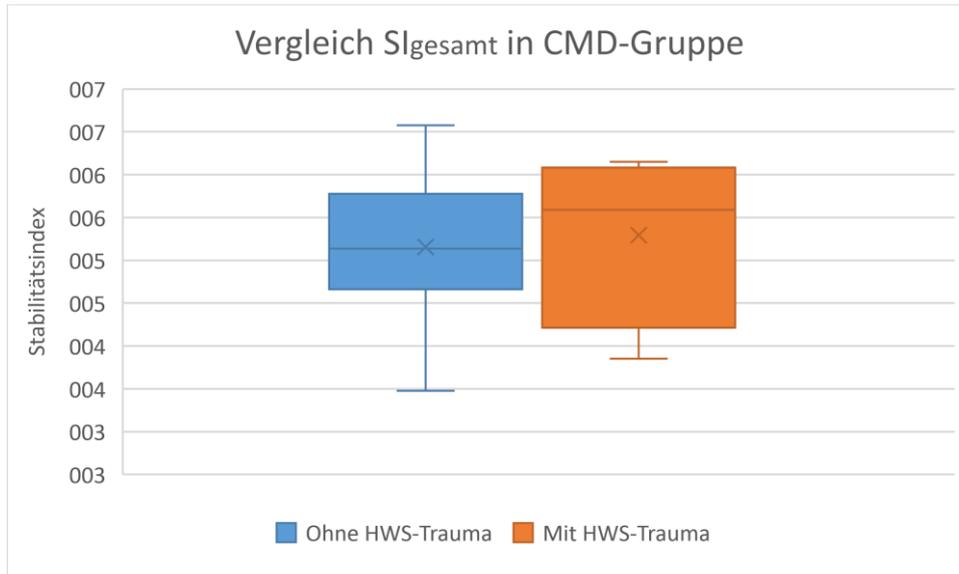


Abbildung 35:  $SI_{gesamt}$  bei Probanden mit und ohne HWS-Trauma in der CMD-Gruppe

Die Probanden mit vorausgegangenem HWS-Trauma erreichten im Mittel einen  $SI_{gesamt}$  von  $5,29 \pm 1,03$ . Die Probanden ohne Trauma der HWS erreichten einen geringfügig besseren Wert mit einem  $SI_{gesamt}$  von  $5,16 \pm 0,76$ . Die Mittelwertdifferenz zwischen beiden Subgruppen beträgt im Durchschnitt  $-0,14$  bei einem Standardfehler von  $0,44$  und einem 95-%-KI  $[-1,05; 0,77]$ . Da das Konfidenzintervall den Wert  $0$  enthält, gilt der Unterschied als nicht signifikant. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt dies mit einem nicht signifikanten Ergebnis von  $t(22) = -0,32$  und  $p = 0,75$ . Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle ( $SI_{gesamt}$ ) zwischen Probanden mit und ohne HWS-Trauma innerhalb der CMD-Gruppe.

#### 4.4.2.3 Probanden mit und ohne Schwindel

In Tabelle 29 sind die Daten der beiden Subgruppen zum Vergleich gegenübergestellt und weitere Lage- und Streumaße angegeben. Rein optisch kann man von einer Normalverteilung der Werte in beiden Gruppen ausgehen (Abbildung 36). Die statistische Prüfung durch den Shapiro-Wilk-Test ergibt ebenso eine Normalverteilung (Gruppe ohne Schwindel mit  $p = 0,95$  und Gruppe mit Schwindel mit  $p = 0,59$ ). Die Varianzhomogenität ist gegeben (Levene-Test mit  $p = 0,28$ ).

Tabelle 29: Lage- und Streumaße des Slgesamt

Slgesamt	Ohne Schwindel (n = 18)	Mit Schwindel (n = 6)
Mittelwert	5,23	5,02
Median	5,18	5,08
Standardabweichung	0,75	0,94
Minimum	3,48	3,85
Maximum	6,58	6,15
Spannweite	3,10	2,3

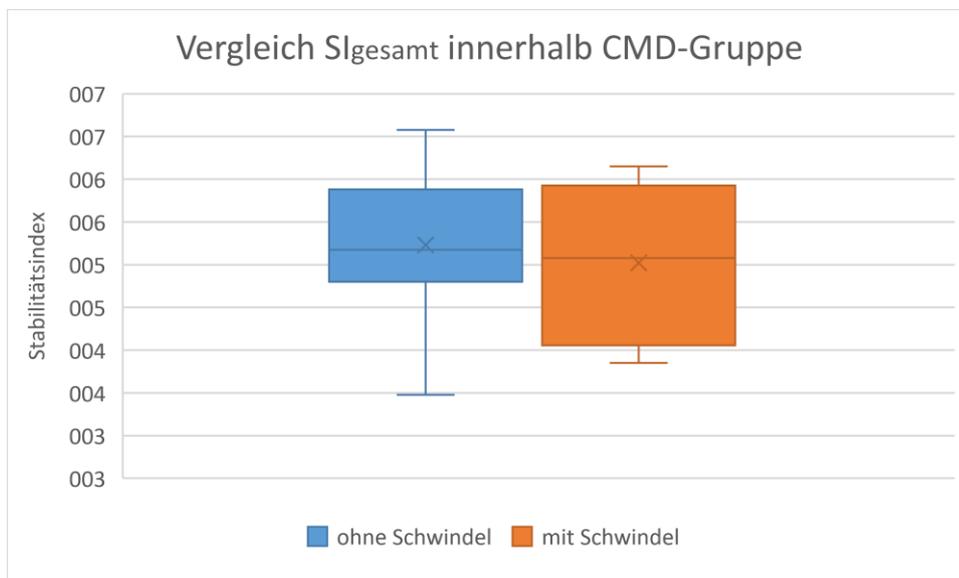


Abbildung 36: Probanden mit und ohne Schwindel innerhalb der CMD-Gruppe

Die Probanden ohne Schwindel erreichten im Durchschnitt einen Wert von 5,23 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,75$ . Die Probanden mit Schwindel erreichten im Durchschnitt einen Wert von 5,02 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,94$ . Die Mittelwertdifferenz zwischen beiden Subgruppen beträgt im Durchschnitt 0,21 bei einem Standardfehler von 0,38 und einem 95%-KI [-0,57; 0,99]. Da das Konfidenzintervall den Wert 0 enthält, gilt der Unterschied als nicht signifikant. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt dies mit einem nicht signifikanten Ergebnis von  $t(22) = 0,56$  und  $p = 0,57$ . Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle (Slgesamt) zwischen Probanden mit und ohne Schwindel innerhalb der CMD-Gruppe.

#### 4.4.2.4 Probanden mit und ohne Tiefziehschiene

In Tabelle 30 sind die Ergebnisse der Subgruppen gegenübergestellt. Die Normalverteilung der Daten in den Gruppen ist optisch (Abbildung 37) und rechnerisch durch den Shapiro-Wilk-Test gegeben (Gruppe ohne Schiene mit  $p = 0,77$  und Gruppe mit Tiefziehschiene mit  $p = 0,82$ ). Die Varianzhomogenität ist durch den Levene-Test mit  $p = 0,44$  bestätigt.

Tabelle 30: Lage- und Streumaße des  $Sl_{gesamt}$

$Sl_{gesamt}$	Ohne Schiene (n = 6)	Mit Tiefziehschiene (n = 11)
Mittelwert	5,02	5,35
Median	4,94	5,40
Standardabweichung	0,92	0,62
Minimum	3,85	4,13
Maximum	6,58	6,25
Spannweite	2,73	2,13

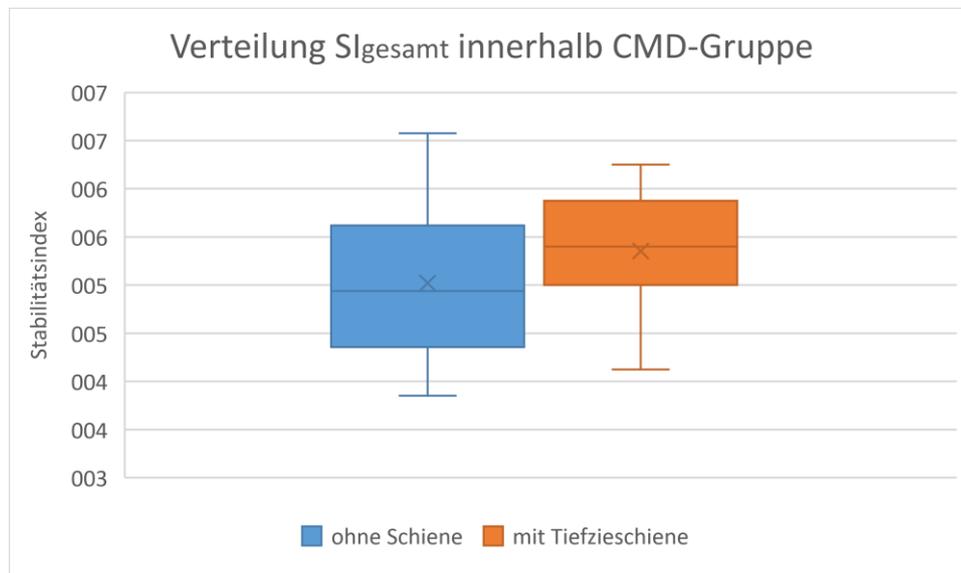


Abbildung 37: Probanden mit und ohne Tiefziehschiene innerhalb CMD-Gruppe

Die Probanden ohne Schiene erreichten im Durchschnitt einen Wert von 5,02 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,92$ . Die Probanden mit Tiefziehschiene erreichten im

Durchschnitt einen geringfügig schlechteren Wert von 5,35 mit einer Standardabweichung von  $\pm 0,62$ . Die Mittelwertdifferenz zwischen beiden Subgruppen beträgt im Durchschnitt -0,33 bei einem Standardfehler von 0,37 und einem 95%-KI [-1,13; 0,47]. Da das Konfidenzintervall den Wert 0 enthält, gilt der Unterschied als nicht signifikant. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt dies mit einem nicht signifikanten Ergebnis von  $t(15) = -0,88$  und  $p = 0,39$ . Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle ( $SI_{\text{gesamt}}$ ) zwischen Probanden mit und ohne Tiefziehschiene innerhalb der CMD-Gruppe.

#### 4.4.2.5 Probanden mit und ohne CMD-Schiene

Für die Subgruppenbildung wurden sowohl die Probanden ausgewählt, die keine Schiene trugen als auch jene, die eine spezielle CMD-Schiene zur Zentrierung, Relaxierung, Entkoppelung etc. trugen. In Tabelle 31 sind die Ergebnisse der Subgruppen aufgelistet.

*Tabelle 31: Lage- und Streumaße des  $SI_{\text{gesamt}}$*

$SI_{\text{gesamt}}$	Ohne Schiene (n = 6)	Mit CMD-Schiene (n = 7)
Mittelwert	5,02	5,04
Median	4,94	4,98
Standardabweichung	0,92	0,95
Minimum	3,85	3,48
Maximum	6,58	6,15
Spannweite	2,73	2,68

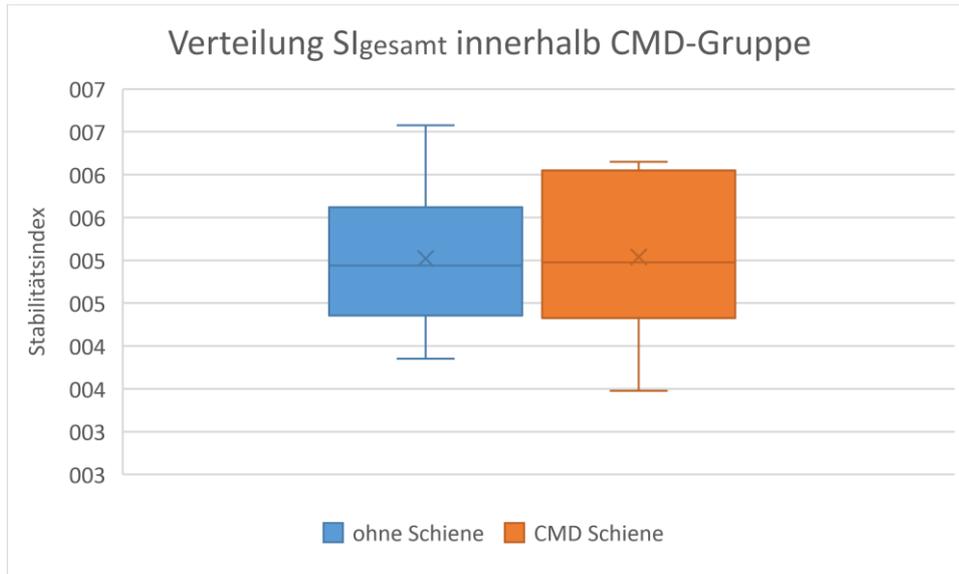


Abbildung 38: Probanden mit und ohne CMD-Schiene innerhalb der CMD-Gruppe

Im Boxplot-Diagramm (Abbildung 38) ist weitestgehend Normalverteilung zu erkennen. Der Shapiro-Wilk-Test ist in beiden Gruppen nicht signifikant (Probanden ohne Schiene mit  $p = 0,77$ , Probanden mit CMD-Schiene mit  $p = 0,76$ ). Varianzhomogenität zwischen den beiden Gruppen ist gegeben (Levene-Test mit  $p = 0,85$ ).

Die Probanden ohne Schiene erreichten im Mittel einen  $SI_{gesamt}$  von  $5,02 \pm 0,92$ . Die Probanden mit einer speziellen CMD-Schiene erreichten einen minimal schlechteren Wert mit einem  $SI_{gesamt}$  von  $5,04 \pm 0,95$ . Die Mittelwertdifferenz zwischen beiden Subgruppen beträgt im Durchschnitt  $-0,02$  bei einem Standardfehler von  $0,52$  und einem 95%-KI  $[-1,16; 1,13]$ . Da das Konfidenzintervall den Wert  $0$  enthält, gilt der Unterschied als nicht signifikant. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt dies mit einem nicht signifikanten Ergebnis von  $t(11) = -0,03$  und  $p = 0,97$ . Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle ( $SI_{gesamt}$ ) zwischen Probanden mit und ohne spezielle(r) CMD-Schiene innerhalb der CMD-Gruppe.

#### 4.4.2.6 Probanden mit und ohne kieferorthopädische(r) Behandlung (KFOB)

In Tabelle 32 sind die Ergebnisse der Subgruppenanalyse zu sehen. Es wurden Probanden verglichen, die bislang keine kieferorthopädische Behandlung hatten und jene, die sich schon einmal in kieferorthopädischer Behandlung befanden.

Tabelle 32: Lage- und Streumaße des  $SI_{gesamt}$

$SI_{gesamt}$	Ohne KFOB (n = 6)	Mit KFOB (n = 18)
Mittelwert	5,46	5,08
Median	5,70	5,14
Standardabweichung	0,95	0,73
Minimum	4,13	3,48
Maximum	6,59	6,25
Spannweite	2,45	2,78

In der Gruppe ohne KFOB ist eine leichte Schiefe der Verteilung der Daten zu erkennen (Abbildung 39). Der Shapiro-Wilk-Test ergibt ein nicht signifikantes Ergebnis in beiden Fällen (Gruppe ohne KFOB mit  $p = 0,61$ , Gruppe mit KFOB mit  $p = 0,69$ ). Die Varianzhomogenität ist gegeben (Levene-Test mit  $p = 0,33$ ).

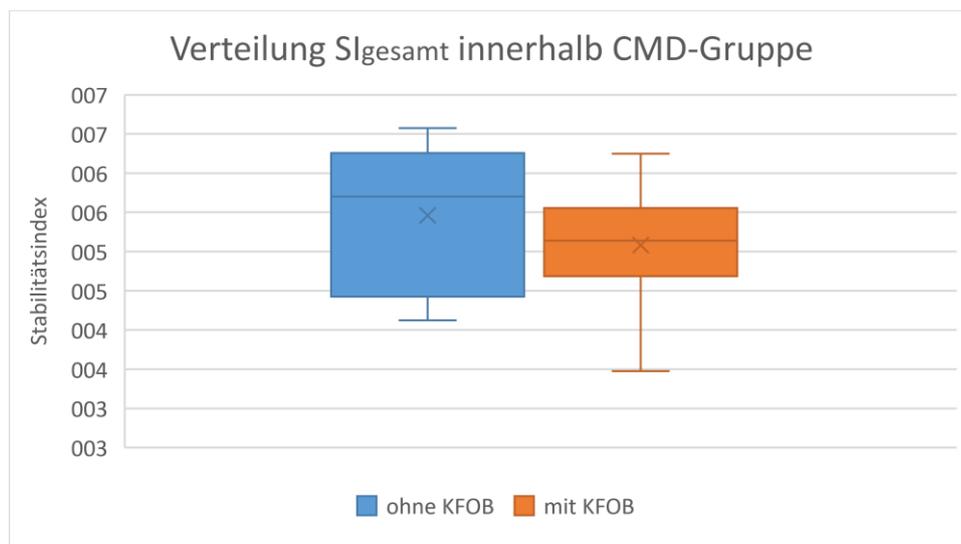


Abbildung 39: Probanden mit und ohne KFOB

Die Probanden ohne KFOB erreichten im Mittel einen  $SI_{gesamt}$  von  $5,46 \pm 0,95$ . Die Probanden mit KFOB erreichten einen besseren Wert mit einem  $SI_{gesamt}$  von  $5,08 \pm 0,73$ . Die Mittelwertdifferenz zwischen beiden Subgruppen beträgt im Durchschnitt  $-0,38$  bei einem Standardfehler von  $0,37$  und einem 95%-KI  $[-0,39; 1,15]$ . Da das Konfidenzintervall den Wert  $0$  enthält, gilt der Unterschied als nicht signifikant. Der t-Test für unabhängige Stichproben bestätigt dies mit  $t(22) = 1,03$  und  $p = 0,31$ . Der

Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle (SI<sub>gesamt</sub>) zwischen Probanden mit und ohne KFOB innerhalb der CMD-Gruppe ist nicht signifikant.

## **4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse**

### **4.5.1 Primäre Endpunkte**

Die CMD-Gruppe erreichte minimal bessere Werte (SI<sub>gesamt</sub> = 5,18 ± 0,78) im Durchschnitt als die Kontrollgruppe (SI<sub>gesamt</sub> = 5,31 ± 0,58). Jedoch konnte keine statistische Signifikanz des Unterschieds nachgewiesen werden. Daher wird H1 abgelehnt und H0 angenommen:

*Es gibt keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen CMD-Patienten und gesunden Probanden.*

Innerhalb der CMD-Gruppe zeigten die Probanden unter Belastung des TMS (SI<sub>Belastung</sub> = 5,10 ± 0,68) geringfügig bessere Werte als unter Entlastung des TMS (SI<sub>Entlastung</sub> = 5,25 ± 0,68). Das Ergebnis ist statistisch nicht signifikant. Innerhalb der Kontrollgruppe wurden nahezu gleiche Werte erreicht (SI<sub>Belastung</sub> = 5,30 ± 0,50; SI<sub>Entlastung</sub> = 5,31 ± 0,71). Es konnte ebenso keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden. Daher wird H1 abgelehnt und H0 angenommen:

*Es gibt keinen Unterschied zwischen entlastetem und belastetem TMS innerhalb der CMD- und der Kontrollgruppe.*

### **4.5.2 Sekundäre Endpunkte**

#### **4.5.2.1 Fragebogen**

Im folgenden Abschnitt werden die Kriterien des Fragebogens vorgestellt, bei denen ein signifikanter Unterschied zwischen der CMD- und Kontrollgruppe besteht. Besonders auffällig sind die Unterschiede bei den Symptomen. In der CMD-Gruppe ist der Anteil der Probanden, die an Kopfschmerzen (min1x/Monat) leiden, um das 2,7-fache erhöht. Bei Nackenschmerzen (min1x/Monat) sogar um den Faktor 4,8. Die

Gruppen unterscheiden sich ebenso bezüglich der Parafunktionen Knirschen und Beißen. Der Anteil der Probanden, die unter Bruxismus leiden, ist in der CMD-Gruppe mit 92 % deutlich höher als in der Kontrollgruppe mit nur 8 %. Dass es einen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Schienenversorgung zwischen den beiden Gruppen gibt, war zu erahnen und konnte in der Studie bestätigt werden. In der Kontrollgruppe trug keiner der Probanden eine Schiene. In der CMD-Gruppe trugen dagegen insgesamt 75 % der Probanden eine Schiene. 46 % waren mit einer Tiefziehschiene und 29 % mit einer speziellen CMD-Schiene versorgt. Alle anderen Analysen des Fragebogens lieferten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Details unter 4.4.1 Fragebogen).

#### 4.5.2.2 Subgruppenanalyse innerhalb der CMD-Gruppe

Anhand ausgewählter Kriterien des Fragebogens wurden die Probanden der CMD-Gruppe (n = 24) in Subgruppen unterteilt und bezüglich des SI<sub>gesamt</sub> verglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 33 dargestellt.

Tabelle 33: Ergebnisse der Subgruppenbildung innerhalb der CMD-Gruppe

Subgruppe	Positiv	Negativ	Differenz	Signifikanz
Sport	5,04±0,72	5,53±0,83	0,49	negativ
HWS-Trauma	5,29±1,03	5,16±0,76	0,14	negativ
Schwindel	5,02±0,94	5,23±0,75	0,21	negativ
Tiefziehschiene	5,35±0,62	5,02±0,92	0,33	negativ
CMD-Schiene	5,04±0,95	5,02±0,92	0,02	negativ
KFOB	5,08±0,73	5,46±0,95	0,38	negativ

Der größte gemessene Unterschied in den Subgruppen ist zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern mit SI<sub>Differenz</sub> = 0,49 zu finden. Damit sind die Sportler innerhalb der CMD-Gruppe geringfügig besser. Alle anderen gemessenen Differenzen sind sehr gering und daher klinisch weniger relevant. Keine der gebildeten Subgruppen lieferte signifikante Ergebnisse (Details unter 4.4.2 Subgruppenanalyse innerhalb CMD-Gruppe).

## 5 Diskussion

Dieser Abschnitt der Arbeit ist der Evaluation der Methode und den Ergebnissen der Studie gewidmet. Dies beinhaltet die Prüfung der Validität der durchgeführten Forschung und der Analyse von Limitationen. Es werden mögliche Ursachen und Folgen der Ergebnisse diskutiert und Empfehlungen für zukünftige Untersuchungen abgeleitet.

### 5.1 Methodik

Die Rekrutierung der Probanden für die Studie erfolgte zum Großteil in der Physiotherapie-Praxis „Reha-Kirchrode“ unter der Leitung von Ralf Kusch. Die Probanden waren somit Patienten, die anhand der Ein- und Ausschlusskriterien der CMD- und der Kontrollgruppe zugeordnet wurden. Ein kleiner Anteil setzte sich aus Arbeitskollegen und Freunden zusammen. Es ist davon auszugehen, dass die vorwiegende Rekrutierung von Probanden in einer Physiotherapie-Praxis die Zusammensetzung der Stichprobe beeinflussen kann und somit die Möglichkeit einer Selektions-Bias besteht. Zusätzlich ist es vorstellbar, dass aufgrund der Praxis-Verknüpfung der Probanden eine gewisse Einflussnahme auf deren Verhalten erfolgt. Dies wäre eine mögliche Erklärung für den hohen Sportleranteil (70%<) in beiden Gruppen. Die Sporthäufigkeit ist einer der stärksten Confounder der Studie. Es ist bekannt, dass die Ausübung von Sport die Fähigkeiten des sensomotorischen Systems und damit auch der Gleichgewichtskontrolle verbessert. Im Gegensatz dazu führt physische Inaktivität zur Degeneration des sensomotorischen Systems und damit zum Verlust von Kraft, Ausdauer und Koordination (Laube, 2017). Damit stehen die Faktoren Sporthäufigkeit und CMD in Konkurrenz zueinander. Es ist vorstellbar, dass Sportler das Bestehen einer CMD besser kompensieren als Nicht-Sportler. Daher könnte es bei einem solch hohen Sportleranteil schwieriger sein, die Auswirkungen einer CMD auf die Gleichgewichtskontrolle festzustellen. Die Rekrutierung der Probanden in einer Praxis hatte aber auch Vorteile für die Durchführung der Studie. So war es durch die fachliche Ausrichtung der Praxis relativ einfach, Patienten mit einer CMD zu rekrutieren. Deutlich schwieriger war es, gesunde Probanden mit einer möglichst geringen Wahrscheinlichkeit einer CMD nach Ahlers und Jakstat zu finden.

Es war häufig zu beobachten, dass die Probanden – obwohl subjektiv beschwerdefrei – Funktionsstörungen des TMS aufwiesen. Erklärungsversuche findet man in der Epidemiologie, wobei Funktionsstörungen relativ häufig vorkommen, aber nur ein geringer Anteil objektiv als therapiebedürftig und krankhaft eingeschätzt wird (Kohlmann, 2002). Da sich die Rekrutierung streng nach dem Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat richtete, wurden viele Probanden ausgeschlossen, die subjektiv symptomfrei waren, aber offensichtlich kompensierte Funktionsstörungen des TMS zeigten. Die Probanden der gesunden Kontrollgruppe waren ebenso Patienten der Physiotherapie-Praxis, wiesen jedoch keine Zeichen einer CMD auf. Mithilfe der Ausschlusskriterien wurde sichergestellt, dass eine Verzerrung der Messungen durch andere Pathologien der Patienten verhindert wurde. Es wird beobachtet, dass allgemeine Gelenkerkrankungen und chronische Schmerzen das Risiko der Ausbildung einer CMD erhöhen können (Ebinger, 2010). Dies könnte ein weiterer Grund dafür sein, warum die Rekrutierung von kiefergesunden Probanden gerade in einer Physiotherapie-Praxis schwierig umzusetzen war, da anzunehmen ist, dass die gesunden Probanden an anderen Schmerzproblematiken litten.

Eine Randomisierung der Probanden war nicht notwendig, da die Zuordnung anhand der unabhängigen Variable der Studie (CMD: positiv/negativ) in die beiden Gruppen erfolgte. Den Probanden wurden keine persönlichen Erwartungshaltungen des Untersuchers in Bezug auf den Untersuchungsgang und die Interventionen mitgeteilt. Diese galten daher als verblindet. Jedoch muss man davon ausgehen, dass gerade die therapieerfahrenen CMD-Patienten schon einmal mit dem Meersseman-Test in Kontakt gekommen waren und deshalb eine subjektive Erwartungshaltung und der daraus resultierende Placebo-Effekt die Ergebnisse abgefälscht haben könnte. Diese Überlegungen würden zu den Ergebnissen der Placebo-Kontrolle passen: Demnach geht mit 58 % die Mehrheit der Probanden der CMD-Gruppe davon aus, unter Entlastung des TMS (Watterolle) eine verbesserte Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle abzurufen. Die Verbesserung von klinischen Tests unter Entkoppelung des Gebisses mit Watterolle und Verschlechterung beim Zubeißen ist das Hauptphänomen des Meersseman-Tests.

Es ist als positiv zu bewerten, dass auf eine standardisierte Durchführung der Untersuchung Wert gelegt wurde. Die Vorbereitungs- und Pausenzeiten zwischen den Messungen waren gleich. Ebenso wurde darauf geachtet, dass die Erläuterung der

Durchführung der Studie ähnlich aufgebaut war, damit alle Probanden die gleichen Instruktionen und Voraussetzungen erhielten. Der Untersucher versuchte, bei den Befehlen während der Messung auf eine gleichbleibende Melodik der Stimme zu achten, um die Probanden nicht unterschiedlich anzutreiben. Der aufgebrachte Präzisionsdruck beim Messen der Gleichgewichtskontrolle hängt stark von der eigenen Motivation des Probanden ab. Höchstleistungen der Koordination sind nur unter maximalem physischen und psychischen Einsatz abrufbar. Faktoren wie geringe Anstrengungsbereitschaft, mangelndes Interesse und Ablenkbarkeit können die Leistungsfähigkeit deutlich reduzieren. Zwischen den Probanden gab es nach der subjektiven Einschätzung des Untersuchers relativ große Unterschiede in der Eigenmotivation und Konzentration, die als Störfaktoren die Ergebnisse der Messungen beeinflusst haben könnten. Gerade in kleinen Stichproben wie den vorliegenden ( $n = 24$ ) kann eine solche Problematik die Aussagekraft der Ergebnisse vermindern.

Im Rahmen dieser Pilot-Studie war es nicht möglich, alle äußeren Faktoren während der Messung zu kontrollieren. So konnte nicht sichergestellt werden, dass der Raum, in dem die Messungen stattfanden, zur alleinigen Verfügung stand. Um eventuellen Ablenkungen entgegenzuwirken, wurde der Proband ggf. auf diesen Umstand hingewiesen und dazu aufgefordert, seinen Fokus auf die Messungen zu richten und sich nicht durch äußere Faktoren ablenken zu lassen. Laut Literatur scheint die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit des Menschen zudem an die Tageszeit geknüpft. Dieses Phänomen ist in dem noch jungen Forschungsgebiet der Chronobiologie verankert. So können zirkadiane Rhythmen auf jeden Bereich der Physiologie Einfluss nehmen. Die Wissenschaftler Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash und Michael W. Young erhielten 2017 für ihre Forschung den Nobelpreis für Medizin, da sie ein bis dahin nicht identifiziertes Gen entdeckten, das die „innere Uhr“ repräsentiert (Lalchandama, 2017). Die einzelnen Messungen der Teilnehmer fanden zu unterschiedlichen Tageszeiten statt. Das Zeitfenster belief sich von 7.00 bis 20.00 Uhr. Es ist anzunehmen, dass nicht alle Probanden gleichermaßen wach und aus Sicht des Biorhythmus bereit waren, eine optimale Leistung der Gleichgewichtskontrolle abzurufen. Der MFT-S3-Check war das Messinstrument der Studie, mit dessen Hilfe über eine Variable, den Stabilitätsindex, die Gleichgewichtskontrolle des Probanden ermittelt wurde. Verschieden Autoren wie Mildner et al. (2010), Patel et al. (2013),

Tilscher et al. (2007), Raschner et al. (2008), Huxham et al. (2001) bestätigen in ihren Arbeiten die Validität und Reliabilität des verwendeten Messinstrumentes und sind der Meinung, dass die Messplattform eine objektive Einschätzung der Gleichgewichtskontrolle zulässt und die wissenschaftlichen Anforderungen eines Diagnosegeräts erfüllt. Trotz der positiven Einschätzungen der Autoren könnte der MFT-S3-Check auch Schwachstellen in seiner Gültigkeit aufweisen. Während der Messungen fiel auf, dass insbesondere große und/oder schwere Probanden besondere Schwierigkeiten hatten, die Plattform zu stabilisieren. Im Gegensatz dazu fiel dies kleinen und/oder leichten Probanden bedeutend leichter. Dieser Umstand konnte durch signifikante Korrelationsanalysen des Stabilitätsindex zu Körpergröße und Körpergewicht bestätigt werden. Demnach korreliert die Körpergröße moderat positiv und das Körpergewicht sogar stark positiv mit dem Stabilitätsindex. Je größer und schwerer die Probanden sind, desto höher ist der erreichte Stabilitätsindex. Dabei bedeuten höhere Werte eine schlechtere Gleichgewichtskontrolle. Eine mögliche Erklärung bei großen Probanden ist die größere Entfernung des Körperschwerpunktes zum Drehpunkt der Messplatte. Bei kleinen Menschen ist der Schwerpunkt viel näher am Drehpunkt, wodurch es einfacher ist, die Plattform in Balance zu halten. Die Standebene des MFT-S3-Checks wird in Ruhe und ohne Belastung genau horizontal gehalten. Diese leichte Steifigkeit wird durch ein Elastomer umgesetzt. Dadurch findet die Messplatte bei kurzer Belastung auf einer Seite automatisch in die Horizontale zurück. Es ist denkbar, dass gerade leichte Probanden eher von dieser gewissen, unterstützenden Steifigkeit profitieren als schwere Probanden, und daher die stark positive Korrelation des Körpergewichts zum Stabilitätsindex entsteht. Da Körpergröße und Gewicht in die Berechnung des BMI einfließen, ist eine ähnliche Beziehung zum Stabilitätsindex zu erwarten. Die Korrelation des BMI zur Gleichgewichtskontrolle ist ebenfalls als stark positiv zu bewerten. In der Studie kam es zu signifikanten Unterschieden hinsichtlich der Körpergröße zwischen der CMD-Gruppe und der Kontrollgruppe. Die Vergleichbarkeit der Gruppen in Bezug auf den BMI ist aufgrund mangelnder Normalverteilung nicht feststellbar. Die Kontrollgruppe ist im Mittel etwas schwerer als die CMD-Gruppe, wobei der Unterschied statistisch nicht signifikant ist. Diese Aspekte sollten bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Es ist somit fraglich, ob der MFT-S3-Check beim Vergleich von stark heterogenen Gruppen in

Bezug auf Körpergewicht und -größe sowie BMI der Probanden ein optimales Messinstrument ist.

Die Gleichgewichtskontrolle wurde zusätzlich unter entlasteten und belasteten TMS getestet, um mögliche Einflüsse einer CMD auf die Gleichgewichtskontrolle feststellen zu können. Dieses Vorgehen orientiert sich an dem im klinischen Alltag weit verbreiteten Meersseman-Test und dem Untersuchungsgang von Marx (2000). Schuhmacher (2012) zeigte in seiner Dissertation, wie sensibel das posturale System auf Änderungen des TMS reagiert. Hülse und Losert-Bruggner (2002) konnten hochsignifikante Verbesserungen des Priener-Abduktions-Tests messen, allein durch die Bissperre mit zwei Lagen dünnem Papier. Dass Veränderungen der Okklusion und Aktivität des TMS manualtherapeutische Tests beeinflussen können, ist unter Therapeuten und Zahnmedizinern anerkannt. Laut Marx (2000) kann eine CMD als primäre Läsion dominant auf weite Teile des Bewegungssystems wirken. Seit langem nutzen Therapeuten standardisierte Testverfahren, um einen Einfluss zu bestätigen. So werden verschiedene Untersuchungen wie der Flex-Rotations-Test der oberen Halswirbelsäule, der Priener-Abduktionstest der Hüfte, der Leg-turn-in-Test sowie Tests für Arm- und Beinlängendifferenzen unter Ruheschwebelage und maximaler Interkuspitation durchgeführt. Aktive Tests der Gleichgewichtskontrolle über den MFT-S3-Check sind möglicherweise weniger geeignet, um Beteiligungen des TMS festzustellen. Der Proband muss unter der Messung die maximale Leistungsfähigkeit des sensomotorischen Systems abrufen, dabei kann eine Watterolle zwischen den Zähnen durchaus störend und ablenkend wirken. Dieser Umstand wurde von einigen Probanden nach Abschluss der Messungen angesprochen. Ebenso ist es vorstellbar, dass unter belasteten TMS eine bessere Aktivierung des sensomotorischen Systems erzeugt wird und der Proband das Gleichgewicht besser halten kann. Es ist bekannt, dass die aktive Innervation lokaler Muskelgruppen zu einer Erregung der Muskelspindeln des gesamten Körpers führt (Hoffmann, 1952). Dieses Phänomen findet seinen Nutzen auch bei der Reflextestung. Durch den Jendrassik-Handgriff sowie durch das Aufeinanderbeißen der Zähne kommt es zu einer gesteigerten Reflexantwort. Somit ist es fraglich, ob Unterschiede in den Messungen der Gleichgewichtskontrolle unter Entlastung und Belastung wirklich in Zusammenhang mit einer CMD zu bringen sind.

Pro Proband wurden vier Messungen hintereinander durchgeführt. Es war vorstellbar, dass Trainingseffekte entstehen, die das Ergebnis abfälschen. Um dies zu verhindern, wurde eine Permutationsliste erstellt und die Messreihenfolgen permanent durchgewechselt. Somit wurde sichergestellt, dass pro Gruppe keine Messreihenfolge der anderen glich und sich mögliche Trainingseffekte innerhalb der Gruppe gegenseitig aufhoben. Diese Maßnahmen ermöglichten aussagekräftige Ergebnisse und sind in der Studie als positiv zu bewerten.

Die 48 Probanden dieser Studie wurden nach dem positiven oder negativen Ausfall des Kurzbefundes nach Ahlers und Jakstat in die CMD- oder die Kontrollgruppe eingeteilt. Dabei liefert dieser Befund nur eine Wahrscheinlichkeitsaussage bezüglich des Bestehens einer CMD. Ob wirklich eine CMD existiert oder welche Form der CMD vorliegt, kann nur durch eine komplette klinische Funktionsanalyse untersucht werden. Eine Studie untersuchte die Validität des Kurzbefundes im Vergleich zum Goldstandard, der kompletten klinischen Funktionsanalyse (Ahlers und Jakstat, 2015). Dabei erreichte der Kurzbefund eine beachtliche Sensitivität von 92 % und eine akzeptable Spezifität von 79 %. Somit entspricht dieser Test den wissenschaftlichen Anforderungen und ist ein gültiges und zeitsparendes Messinstrument dieser Studie.

## **5.2 Ergebnisse**

Die Werte des Stabilitätsindex als Parameter für die Gleichgewichtskontrolle bewegen sich von 1 bis 9. Dabei steht der Wert 1 für eine sehr gute Gleichgewichtskontrolle, der Wert 9 für eine sehr schwache Gleichgewichtskontrolle. Der MFT-S3-Check beurteilt unter Berücksichtigung des Alters die Messergebnisse und gibt jeweils eine Bewertung dafür aus. Beide Gruppen erzielten demnach im Durchschnitt eine schwache Gleichgewichtskontrolle. Die CMD-Gruppe erreichte mit einer Differenz von 0,13 minimal bessere Werte ( $SI_{\text{gesamt}} = 5,18 \pm 0,78$ ) als die Kontrollgruppe ( $SI_{\text{gesamt}} = 5,31 \pm 0,58$ ). Der Unterschied ist statistisch nicht signifikant. Selbst wenn bei größeren Fallzahlen Signifikanz möglich wäre, ist es fraglich, ob dieser kleine Unterschied auch klinisch relevant ist. Im Vorfeld der Studie ergaben sich Erwartungen, die nicht eingetroffen sind. Normalerweise würde man der CMD-Gruppe aufgrund der vorhandenen Pathologie und neurophysiologischer Konsequenzen eine schlechtere Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle zuschreiben. Im folgenden

Abschnitt werden Faktoren angeführt, die für eine genaue Interpretation des Studienergebnisses von Bedeutung sind. Eine wichtige Voraussetzung ist die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen. Die Homogenität bezüglich des Alters ist dabei besonders wichtig. Laut Laube (2009) greift der Alterungsprozess in alle Bereiche des sensomotorischen Systems ein. Die Degeneration wirkt sich somit auch auf die Gleichgewichtsfähigkeit aus. Je älter ein Mensch ist, desto schlechter ist diese und desto höher ist das Sturzrisiko. Dieser Zusammenhang zeichnete sich auch geringfügig in den Messwerten der Studie ab. Es kam zu einer schwach positiven Korrelation des Alters zum Stabilitätsindex, wobei die Analyse keine statistische Signifikanz erreichte. Die CMD-Gruppe ist im Durchschnitt rund 5 Jahre jünger als die Kontrollgruppe (38,3 zu 43,1 Jahre). Auch wenn dieser Unterschied in den relativ kleinen Stichproben statistisch nicht signifikant war, könnte man dennoch von einer gewissen Relevanz ausgehen. Die Kontrollgruppe wäre demnach aufgrund des höheren Altersdurchschnitts und den damit verbundenen schlechteren Ressourcen des sensomotorischen Systems benachteiligt.

Ein weiterer Faktor für das schlechtere Abschneiden der Kontrollgruppe könnte die mangelnde Homogenität der Gruppen in Bezug auf die Körpermaße sein. Hervorzuheben ist hier der statistisch signifikante Unterschied der Körpergröße. Die Kontrollgruppe war im Mittel um 8,3 cm größer als die CMD-Gruppe (169 cm zu 177 cm). Entsprechend den durchgeführten Berechnungen korreliert die Körpergröße signifikant moderat positiv mit dem Stabilitätsindex. Ursache hierfür könnten die physikalischen Gegebenheiten bei der Messung mit dem MFT-S3-Check sein (siehe 5.1 Methodik). So könnte sich die Körpergröße nachteilig auf die Ergebnisse der Messung ausgewirkt haben. Da die Kontrollgruppe im Mittel deutlich größer war, ist eine weitere Benachteiligung im Vergleich zur CMD-Gruppe gegeben.

Die stärkste und statistisch signifikanteste Korrelation zum Stabilitätsindex findet man beim Körpergewicht. Hierfür finden sich ebenso mögliche physikalische Erklärungen (siehe 5.1 Methodik). Schwerere Probanden erreichten höhere Messwerte, die eine schlechtere Gleichgewichtskontrolle repräsentieren. Die Kontrollgruppe ist im Mittel 5,7 kg schwerer als die CMD-Gruppe (70,2 kg zu 75,9 kg). Trotz fehlender statistischer Signifikanz des Unterschiedes ist dennoch von einer gewissen Bedeutung des Unterschiedes für die Interpretation der Studienergebnisse auszugehen. Aufgrund der hohen Korrelation wäre es denkbar, dass selbst geringe Unterschiede im Körper-

gewicht zwischen beiden Gruppen das Ergebnis verfälschen. Wie bei der Körpergröße könnte die Kontrollgruppe durch ein im Mittel höheres Körpergewicht einen Nachteil hinsichtlich der Messung der Gleichgewichtskontrolle mit dem MFT-S3-Check gehabt haben. Farkas (2009) untersuchte in seiner Diplomarbeit die Wirkung von anthropometrischen Faktoren und des BMI auf die Messergebnisse des MFT-S3-Checks. In seiner Analyse an 257 Probanden fand er ebenfalls eine positive Korrelation der Körpergröße zum Stabilitätsindex. Dabei fiel die Stärke der Korrelation in seiner Stichprobe deutlich schwächer aus und ist nur in der Messebene rechts/links nachweisbar. Zusätzlich untersuchte er den Zusammenhang des Stabilitätsindex mit dem BMI und konnte in allen Messebenen hoch signifikante Korrelationen feststellen. Jedoch fällt die Stärke der Korrelation in seiner Stichprobe deutlich geringer aus als bei den Probanden in der vorliegenden Studie. Der Vergleich der Korrelationsanalysen dieser Studie mit den Untersuchungen von Farkas (2009) bestätigen die gefunden Korrelationen. Die Körpermaße und die Zusammensetzung der Probanden können die Ergebnisse des MFT-S3-Checks beeinflussen.

Die Bedeutung der Sporthäufigkeit wurde bereits angesprochen und ist für die Diskussion der Ergebnisse besonders wichtig. In beiden Gruppen ist der Anteil an Probanden, die min. einmal pro Woche Sport treiben, relativ hoch. Die CMD-Gruppe stellt mit 83 % mehr Sportler als die Kontrollgruppe mit nur 71 %. Auch bei mangelnder statistischer Signifikanz aufgrund der geringen Fallzahl könnte dieser kleine Unterschied die besseren Werte der CMD-Gruppe begründet haben. Gerade, weil Sport die Leistungsfähigkeit des sensomotorischen Systems so stark verbessert, ist von einem größeren Einfluss – selbst bei geringen Unterschieden in der sportlichen Aktivität – auszugehen. Der Begriff „Sport“ ist jedoch ziemlich abstrakt. Aus dem Fragebogen wird nicht ersichtlich, welche Form von Sport ausgeübt und wie intensiv trainiert wird. Somit können große Unterschiede in der Effektstärke des Sports bei den Probanden vorkommen. Deshalb bleibt es fraglich, inwiefern dieser kleine Unterschied bei der Vielfalt möglicher sportlicher Betätigungsformen eine Interpretation zulässt.

Neben der körperlichen Konstitution der Probanden sind es letztendlich die psychologischen Faktoren, welche die Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle hemmen oder steigern können. Es ist möglich, dass die Patienten trotz standardisierter Abläufe und Anweisungen während der Messungen unterschiedlich motiviert waren. Dabei könnten die CMD-Patienten aufgrund ihrer Erkrankung ein stärkeres Interesse

an der Studie gehabt haben, als die gesunden Probanden der Kontrollgruppe, die keinen persönlichen Bezug zum Thema der Studie hatten. Falls dies so gewesen ist, wäre eine gesteigerte Eigenmotivation bei den CMD-Patienten während der Messungen zu erwarten. Dies würde ebenfalls die Kontrollgruppe ungewollt benachteiligen und die Ergebnisse verzerren.

Im zweiten Teil der Forschungsfrage wurde die Gleichgewichtskontrolle unter belasteten und entlasteten TMS untersucht und auf Unterschiede innerhalb der CMD- und Kontrollgruppe geprüft. In keiner der beiden Gruppen konnten statistisch signifikante und klinisch relevante Unterschiede ermittelt werden. Innerhalb der CMD-Gruppe zeigten die Probanden unter Belastung des TMS ( $SI_{\text{Belastung}} = 5,10 \pm 0,68$ ) geringfügig bessere Werte als unter Entlastung des TMS ( $SI_{\text{Entlastung}} = 5,25 \pm 0,68$ ). Innerhalb der Kontrollgruppe wurden annähernd gleiche Werte erreicht ( $SI_{\text{Belastung}} = 5,30 \pm 0,50$ ;  $SI_{\text{Entlastung}} = 5,31 \pm 0,71$ ). Bezüglich dieser Forschungsfrage ergaben sich auch hier im Vorfeld der Studie gewisse Erwartungen, die nicht eingetroffen sind. Geht man vom Phänomen des Meersseman-Tests oder dem Untersuchungsgang nach Marx aus, so erwartet man unter belastetem TMS (Zubeißen) eine Provokation des Einflusses einer CMD und eine damit verbundene Verschlechterung der Befunde in den klinischen Tests. Im Gegensatz dazu erwartet man bei entlastetem TMS mit einer Watterolle (alternativ zur Ruheschwebelage) eine Verbesserung der Befunde durch das Entkoppeln pathologischer Okklusion und die Unterbrechung fehlerhafter Propriozeption. Überträgt man diese Erwartungen in die Studie, so geht man davon aus, dass unter Belastung des TMS eine Verschlechterung und unter entlasteten TMS eine Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle eintritt. Innerhalb der CMD-Gruppe trat jedoch genau das Gegenteil ein. Unter belastetem TMS wurden mit einer Mittelwertdifferenz von 0,15 geringfügig bessere Werte des Stabilitätsindex erreicht als unter Entlastung des TMS. In der Kontrollgruppe ist mit einer Mittelwertdifferenz von 0,01 zwischen Entlastung und Belastung des TMS kein Unterschied messbar. Mögliche Erklärungen für die Ergebnisse, die nicht den persönlichen Erwartungen entsprachen, sollen nun diskutiert werden. Ein wichtiger Punkt ist die Intervention selbst. Wie unter 5.1 Methodik erläutert, ist der Meersseman-Test möglicherweise nicht für aktive Tests geeignet. Zum einen gibt es durch die Watterolle im Mund ein gewisses Ablenkungspotential und mangelnden Fokus, woraus nicht bessere, sondern schlechtere Leistungsfähigkeiten der Gleichgewichtskontrolle resultieren. Diese

Problematik erwähnten einige Probanden nach Abschluss der Messungen. Zum anderen kann das Zusammenbeißen der Zähne die Leistungsfähigkeit des sensomotorischen Systems und damit die Gleichgewichtskontrolle steigern, anstatt diese zu verschlechtern. Erklärungen hierfür gibt es in der Physiologie des Reflexgeschehens. Es ist bekannt, dass die aktive Innervation lokaler Muskelgruppen zu einer Erregung der Muskelspindeln im ganzen Körper führt. Dieses Phänomen wird auch bei der Reflextestung über den Jendrassik-Handgriff und das Aufeinanderpressen der Zähne angewendet, wodurch eine bessere Reflexantwort die Folge ist. Diese Faktoren könnten die geringfügig besseren Werte unter belastetem TMS vor allem innerhalb der CMD-Gruppe erklären. Außer diesen neuromuskulären Ursachen kann eine verbesserte Gleichgewichtskontrolle unter belastetem TMS auch aus dem Blickwinkel der kinematischen Kette erklärt werden. Wie im theoretischen Hintergrund der Arbeit erläutert, bildet die Mandibula bei der Äquilibration des Kopfes auf der Halswirbelsäule ein instabiles Moment. Tonussteigerungen der Kaumuskeln können diesen Effekt reduzieren und für Stabilität sorgen. Somit kann es zur Leistungssteigerung der kinematischen Kette im Kiefer- und Nackenbereich kommen, was eine verbesserte Justierung des Kopfes und damit eine verbesserte Gleichgewichtskontrolle mit sich bringt. Reguliert werden die vorausgegangenen Annahmen durch die Auswertung der Placebo-Frage, wobei in beiden Gruppen die Mehrheit der Probanden davon ausgeht, unter der Intervention Watterolle bessere Werte der Gleichgewichtskontrolle zu erreichen. Interessanterweise ist der Anteil in der Kontrollgruppe mit 71 % größer als in der CMD-Gruppe mit 58 % (statistisch nicht signifikant). Da in der Kontrollgruppe mehr Probanden an die Watterolle glaubten, ist das gemessene Ergebnis eventuell abgefälscht.

Bei der Auswertung des Fragebogens wurden signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ermittelt. Die CMD-Gruppe litt demnach fast 5-mal so häufig unter Nackenschmerzen und fast 3-mal so häufig unter Kopfschmerzen. Laut Literatur sind vor allem Kopfschmerzen das Hauptsymptom einer CMD (Heymann und Smolenski, 2011). Aber auch (subokzipitale) Nackenschmerzen gehören zum Symptombild. Weitere signifikante Unterschiede gab es bei den Parafunktionen und der zahnärztlichen Schienenversorgung. Fast alle Probanden der CMD-Gruppe knirschten oder bissen (92 % zu 8 %). Dazu trugen fast drei Viertel aller Probanden eine Tiefziehschiene oder eine spezielle CMD-Schiene (75 % zu 0 %). Anhand des Fragebogens

wurde zusätzlich zur Struktur- und Funktionsanalyse (Kurzbefund nach Ahlers und Jakstat) auch der Leidensdruck analysiert. Die großen Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Symptome bestätigen die Ergebnisse aus dem Kurzbefund und erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass fast alle Probanden der CMD- Gruppe eine aktive Pathologie des TMS aufwiesen.

Im letzten Teil der Auswertung wurden Subgruppen innerhalb der CMD-Gruppe gebildet und miteinander verglichen. Hierbei war zu erwarten, dass aufgrund der geringen Stichprobengröße keine signifikanten Unterschiede auftraten. Um der Forschungsfrage gerecht zu werden, wurde der Versuch dennoch unternommen. Hierbei wurde der größte Unterschied im Stabilitätsindex mit einer Differenz von 0,49 zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern gemessen. Eine Diskussion dieser Ergebnisse ist wissenschaftlich nicht zielführend und wurde deshalb unterlassen.

Bei der Literaturrecherche ließen sich ähnliche Studien finden, die den Zusammenhang von CMD, Änderungen der Okklusion und Mandibulastellung auf die Körperhaltung bzw. Gleichgewichtskontrolle untersuchten. Keine der Studien nutzte den MFT-S3-Check. Ries und Bérzin (2008) untersuchten ebenfalls die posturale Stabilität zwischen CMD-Patienten und gesunden Probanden, und zwar mithilfe des „System of Chattecx Balance“. Dieses Gerät besteht aus mehreren Druckmessplatten, welche die Schwankungen des Körperschwerpunktes registrieren und Asymmetrien identifizieren. Die Autoren stellten ebenso einen signifikanten Unterschied bezüglich des Vorhandenseins von Nackenschmerzen zwischen den Gruppen fest. Zudem zeigten die CMD-Patienten häufiger Asymmetrien bei der Gewichtsverteilung auf beide Beine, jedoch interessanterweise auch eine verbesserte posturale Stabilität. Die Autoren überprüften ebenso den Einfluss von Entlastungsposition, maximaler Interdiskupidation sowie isometrischer- und tonischer Kontraktion der Kaumuskeln. Dabei stellten sie in beiden Gruppen signifikante Verbesserungen der posturalen Stabilität unter isometrischer Kontraktion der Kaumuskeln fest. Bei der genauen Analyse wird jedoch klar, dass die Messreihenfolge nicht gewechselt wurde und etwaige Trainingseffekte nicht auszuschließen sind, gerade weil die Messungen unter Belastung zuletzt gemessen wurden. Da in der dieser Masterthesis zugrundeliegenden Studie keine relevanten Unterschiede zwischen Entlastung und Belastung des TMS messbar waren, könnte dies ein Hinweis darauf sein, wie gut sich die Trainingseffekte

durch die Permutationen aufgehoben haben, und dass der Einfluss des Kieferstatus nicht messbar war.

Auch Bracco, Deregibus und Piscetta (2004) untersuchten den Zusammenhang auf ähnliche Art und Weise, kamen jedoch zu gegensätzlichen Ergebnissen. Diesmal wurden signifikante Verbesserungen der posturalen Stabilität unter Entlastungsposition des Kiefers gemessen (Myozentrik). Da auch hier die Intervention Myozentrik an letzter Stelle stand und kein Wechsel der Messreihenfolgen durchgeführt wurde, ist es ebenso vorstellbar, dass der Einfluss von Trainingseffekten vorhanden war.

Kiwamu Sakaguchi et al. (2007) zeigten wiederum geringere Schwankungen des Körperschwerpunktes und damit eine verbesserte posturale Stabilität unter zentrischer Okklusion gegenüber der Ruheposition. Leider ist in diesem Artikel die genaue Messreihenfolge nicht definiert und daher auch keine genaue Interpretation des Ergebnisses möglich.

Die angeführten Studien zeigen jeweils statistisch signifikante Unterschiede, jedoch mit teilweise gegensätzlichen Resultaten. Zusammenfassend könnte man sagen, dass Änderungen im TMS durchaus Haltung und Gleichgewichtskontrolle beeinflussen können. Jedoch ist nicht klar, welche Interventionen genau die Leistungsfähigkeit steigern oder verschlechtern, oder ob andere Effekte einen Einfluss haben. Diese Feststellung wird durch die Untersuchungen von Ohlendorf et al. (2008) untermauert: „Die Ergebnisse zeigen, dass eine Veränderung im stomatognathen System die Auslenkungen des Körperschwerpunktes sowohl verbessern ( $p = 0,006$  bzw.  $p = 0,05$ ) als auch verschlechtern ( $p = 0,04$ ) kann.“

Manfredini et al. 2012 untersuchten in ihrem Review die aktuelle Evidenzlage hinsichtlich der Zusammenhänge von Okklusion, Körperhaltung und CMD. Nach ihrer Analyse gibt es bislang keine messbaren Zusammenhänge:

*„In conclusion, there is no evidence for the existence of a predictable relationship between occlusal and postural features, and it is clear that the presence of TMD pain is not related with the existence of measurable occlusopostural abnormalities.“*  
(Manfredini et al., 2012).

Die Verfasser eines weiteren Reviews sind optimistischer, da sie generell an mögliche Zusammenhänge glauben. Ihnen ist jedoch bewusst, dass das Thema aufgrund der Komplexität nicht einfach zu untersuchen ist. Sie kritisieren vor allem die vielen Verständnislücken bei der Analyse der ausgewählten Studien:

*„However, due to the complexity of the factors involved, existing studies have left important gaps in understanding. Therefore, further controlled investigations of the long-term clinical effects of different stomatognathic inputs are necessary.“ (Cuccia und Caradonna, 2009)*

Die aktuelle Studienlage offenbart einen Mangel an methodologisch exzellenten Studien bezüglich der Forschungsfrage. Cuccia und Caradonna (2009) geben dies in ihrem Review als Hauptargument dafür an, warum es momentan unmöglich ist, einen Zusammenhang zu bestätigen oder zu verneinen:

*„The insufficient number of articles considered of excellent methodological quality is a factor that hinders the acceptance or denial of this association.“ (Cuccia und Caradonna, 2009)*

Die Ergebnisse der Studie und der Vergleich mit der aktuellen Evidenzlage offenbaren die Problematik, die Forschungsfrage definitiv zu beantworten. Weder in dieser Fall-Kontrollstudie noch im aktuellen Studienfeld gibt es eine einheitlich messbare und vorhersehbare Assoziation zwischen Statusänderungen des Kiefers, CMD sowie Haltung und Gleichgewicht. Abgesehen von der nicht messbaren Beeinflussung ist aufgrund der erläuterten neurophysiologischen Zusammenhänge die Möglichkeit einer gegenseitigen Einflussnahme in der Wissenschaft akzeptiert. Es ist theoretisch annehmbar, dass Störungen im zervikotrigeminalen Komplex als Bestandteil des sensomotorischen Systems Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle haben können. Ihre Messbarkeit könnte auch durch die Vielzahl von Kompensationsmechanismen des Individuums erschwert sein.

### **5.3 Empfehlungen für zukünftige Forschung**

Anhand der durchgeführten Fall-Kontroll-Studie konnten mögliche Schwachstellen identifiziert werden, die in zukünftigen Untersuchungen verbessert werden können. Um bestmögliche Homogenität zwischen der CMD-Gruppe und der Kontrollgruppe zu erreichen, wären größere Stichproben von Vorteil. Starke Unterschiede in den anthropometrischen Daten wie Körpergröße, Gewicht und Alter könnten so besser reguliert werden. In der Studie konnte gezeigt werden, dass gerade die Körpergröße und das Körpergewicht bei der Nutzung des MFT-S3-Checks die Ergebnisse beeinflussen können. Durch größere Stichproben könnte man auch kleinere

Unterschiede zwischen den Gruppen eher statistisch signifikant darstellen, wobei ihre klinische Relevanz extra bewertet werden müsste. Des Weiteren wäre es sinnvoll, sich auf einen Teil der Forschungsfrage festzulegen. So könnte man den generellen Unterschied der Gleichgewichtskontrolle zwischen den Gruppen isoliert untersuchen, ohne Faktoren der Okklusion miteinzubeziehen. Durch diese Vereinfachung könnte man mögliche Störfaktoren reduzieren, denn bei der Interpretation der Ergebnisse und der Analyse der aktuellen Evidenzlage ist gerade der Einfluss der Okklusion kontrovers diskutiert. Auch Faktoren der Chronobiologie sollten miteinbezogen werden, um gleiche Voraussetzungen für die Probanden zu schaffen. Bei der Messung mit dem MFT-S3-Check wäre der frühe Vormittag der beste Zeitpunkt für die Untersuchungsdurchführung (Farkas, 2009). Es stellten sich aber auch Stärken dieser Fall-Kontroll-Studie heraus, die weiterhin berücksichtigt werden sollten. Falls die Gleichgewichtskontrolle unter entlasteten und belasteten TMS hintereinander getestet wird, so ist dringend zu empfehlen, eine Permutationsliste zu erstellen, um die Messreihenfolge von Proband zu Proband zu wechseln. Nur so können die zu erwartenden Trainingseffekte in den Stichproben ausgeglichen werden. Gerade dieser Punkt wurde in den vorausgegangenen Studien nicht umgesetzt und müsste verbessert werden. Den Einsatz von Bissperren wie einer Watterolle ist zu überdenken, da ein gewisses Ablenkungspotential bei der Messung der Gleichgewichtskontrolle gegeben ist. Dieses Problem wurde von mehreren Probanden nach Abschluss der Messungen geschildert. Eine Alternative wäre hier, die reine Ruheschwebelage des Unterkiefers einzustellen. Die maximale Interkuspitation könnte ebenso durch eine einfache habituelle Okklusion ohne starke Kontraktion der Kaumuskulatur ausgetauscht werden. Dadurch könnte eine verbesserte sensomotorische Aktivierung durch die starke Kontraktion der Kaumuskulatur reduziert werden und eine mögliche fehlerhafte Propriozeption aus der Okklusion besser identifiziert werden.

## 6 Fazit

Die Fall-Kontroll-Studie untersuchte den Zusammenhang zwischen einer CMD und der Gleichgewichtskontrolle. Dafür wurden insgesamt 48 Probanden rekrutiert und mithilfe des CMD-Kurzbefundes nach Ahlers und Jakstat in eine CMD- und eine Kontrollgruppe eingeteilt. Um die Gleichgewichtskontrolle der Probanden objektiv zu erfassen, wurde in der Pilotstudie erstmalig der MFT-S3-Check als Messinstrument verwendet. Dabei handelt es sich um eine computergestützte Messplattform, welche die komplexe sensomotorische Regulationsfähigkeit des Probanden als Stabilitätsindex abbildet. Dieser Wert verläuft auf einer Skala von 1 bis 9, wobei geringe Werte eine höhere Leistungsfähigkeit der Gleichgewichtskontrolle bedeuten. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0,05$  festgelegt. Die CMD-Gruppe erzielte im Mittel einen geringfügig besseren Stabilitätsindex von  $5,18 \pm 0,78$  als die Kontrollgruppe mit  $5,31 \pm 0,58$ . Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = 0,51$ ). Zusätzlich wurde die Gleichgewichtskontrolle der Probanden beider Gruppen unter zwei Interventionen gemessen. Dies erfolgte unter belastetem TMS (isometrische Kontraktion der Kaumuskeln) und unter entlastetem TMS mithilfe einer Watterolle zwischen den Zähnen (entspannte Kaumuskeln). Die Probanden der CMD-Gruppe zeigten unter Belastung geringfügige Verbesserungen der Gleichgewichtskontrolle mit  $5,10 \pm 0,68$  als unter Entlastung mit  $5,25 \pm 0,68$ . Der Unterschied ist mit  $p = 0,12$  statistisch nicht signifikant. Innerhalb der Kontrollgruppe wurden fast die gleichen Werte erreicht ( $SI_{\text{Belastung}} = 5,30 \pm 0,50$ ,  $SI_{\text{Entlastung}} = 5,31 \pm 0,71$ ). Auch dieses Ergebnis ist statistisch nicht signifikant ( $p = 0,94$ ). Die Ergebnisse zeigen, dass es in dieser Studie keinen Unterschied in der Gleichgewichtskontrolle zwischen CMD-Patienten und gesunden Probanden gibt. Ebenso konnte kein Unterschied der Gleichgewichtskontrolle bei entlasteten und belasteten TMS der Probanden nachgewiesen werden. Dennoch kann die Pilotstudie als Orientierung für die zukünftige Forschung dienen. Es wurden Stärken und Schwächen der Methodik analysiert, insbesondere die des MFT-S3-Checks und der Interventionen, die in weiteren Untersuchungen beachtet und verbessert werden können. Es wurde auch klar, wie komplex die Forschungsfrage ist und wie viele Faktoren einen Einfluss auf die Gleichgewichtskontrolle des Probanden haben können. In der Neurophysiologie scheint ein Zusammenhang zwischen Erkrankungen des Kiefergelenkes und der

Gleichgewichtskontrolle über die Konvergenzen im zervikotrigeminalen Komplex theoretisch möglich. Es ist jedoch schwer einzuschätzen, inwiefern die Möglichkeit besteht, diese zu messen. Es ist vorstellbar, dass gerade die Kompensationsfähigkeit des sensomotorischen Systems solche Effekte regulieren kann. Hier können nur weitere, methodologisch exzellente Studien mit hohem Stichprobenumfang aussagekräftigere Ergebnisse liefern. Im Moment bleibt ein messbarer Zusammenhang von CMD und Gleichgewichtskontrolle kontrovers diskutiert.

## LITERATURVERZEICHNIS

Ahlers, M.O., Jakstat, H., 2015. CMD-Screening mit dem „CMD-Kurzbefund“. ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt, 124, pp.102-6.

Bartrow, K., 2011. Physiotherapie am Kiefergelenk. Stuttgart: Thieme.

Bocker, R., 2011. Funktionelle Diagnostik der Craniomandibulären Dysfunktion aus Manualmedizinischer Sicht. *medicinae dentariae*. Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Bracco, P., Deregibus, A., Piscetta, R., 2004. Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects. *Neuroscience Letters*, 356, pp.228-30.

Cohen, J., 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum Associates.

Colicchia, G., Künzl, A., Wiesner, H., n.d.. Drehmomente – Teil 3: Statik des Kauapparates. [pdf] München: Ludwig-Maximilians-Universität. Available at: <[https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt\\_materialien/phy\\_med\\_mech/kauap\\_lehrerinfo.pdf](https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/phy_med_mech/kauap_lehrerinfo.pdf)>[Accessed 04 August 2018].

Cuccia, A., Caradonna, C., 2009. The relationship between the stomatognathic system and body posture. *Clinics*, 64(1), pp.61-6.

Des Jarlais, Don C. et al., 2004. Improving the Reporting Quality of Nonrandomized Evaluations of Behavioral and Public Health Interventions: The TREND Statement. *American Journal of Public Health*, 94, pp.361-66.

Dvorak, J. 1988. Funktionelle Anatomie der oberen Halswirbelsäule unter Berücksichtigung des Bandapparates. In: H.-D. Wolff, ed. 1988. *Dies Sonderstellung des Kopfgelenkbereichs*. Berlin-Heidelberg: Springer, pp.19-46.

Dvorak, J., Panjabi, M.M., Gerber, M., Wichmann, W., 1987. Diagnostik der Hyper- und Hypomobilität der oberen Halswirbelsäule mittels funktioneller Computertomographie. Orthopäde, 16, pp.13-19.

Dworkin, S.F., LeResche, L., 1992. Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. Craniomandibular disorders, 6, pp.301-55.

Ebinger, F., 2010. Schmerzen bei Kindern und Jugendlichen: Ursachen, Diagnostik und Therapie. Stuttgart: Thieme.

Farkas, B., 2009. Einflussfaktoren auf den MFT-S3 Körperstabilitätstest unter besonderer Berücksichtigung der anthropometrischen Faktoren und des Body-Mass-Index. Mag. rer. Nat. Universität Wien. Available at: <<https://core.ac.uk/download/pdf/11585239.pdf>>[17.08.18]

Fink, M., Wähling, K., Stiesch-Scholz, M., Tschernitschek, H., 2003. The functional relationship between the craniomandibular system, cervical spine, and the sacroiliac joint: a preliminary investigation. Cranio, 21, pp.202-8.

Galm, R., Rittmeister, M., Schmitt, E., 1998. Vertigo in patients with cervical spine dysfunction. European Spine Journal, 7, pp-55-8.

Greenbaum, T., Dvir, Z., Reiter, S., Winocur, E., 2017. Cervical flexion-rotation test and physiological range of motion – A comparative study of patients with myogenic temporomandibular disorder versus healthy subjects. Musculoskeletal Science and Practice, 27, pp.7-13.

Hall, T., Robinson, K., 2004. The flexion-rotation-test and aktiv cervical mobility-a comparative measurementstudy in cervicogenic headache. Manual Therapy, 9, pp.197-202.

Hanskamp, M., 2015. Craniomandibuläre Dysfunktion (CMD) - Diagnostiksystem »Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders« (DC / TMD). pt-Zeitschrift für Physiotherapeuten, 67, pp.48-51.

Hauswirth, J., 2008. Zervikogener Schwindel: Diagnose und manualtherapeutische Behandlung. Manuelle Therapie, 12, pp.80-93.

Helkimo, M., 1974. Studies on function and dysfunction of the masticatory system. Swedish Dental Journal, 67, pp.255-67.

Heymann, W., 2015. Kopfschmerz, Schwindel, Tinnitus und Halswirbelsäule. Manuelle Medizin, 53, pp. 361-73.

Heymann, W., Smolenski, U.C., 2011. Die Craniomandibuläre Dysfunktion (CMD). Manuelle Medizin, 49, pp.347-60.

Hoffmann, F.A., 1952. Wirkt der JENDRASSIKSche Handgriff nur auf monosynaptische oder auch auf polysynaptische Reflexe?. Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde, 167, pp.310-16.

Hülse, M., Losert-Bruggner, B., 2002. Der Einfluss der Kopfgelenke und/oder der Kiefergelenke auf die Hüftabduktion. Manuelle Medizin, 40, pp.97-100.

Huxham, F.E., Goldie, P.A., Patla, A.E., 2001. Theoretical considerations in balance assessment. Australian Journal of Physiotherapie, 47, pp.89-100.

Kapandji, I.A., 2006. Funktionelle Anatomie der Gelenke. 5rd ed. Stuttgart: Thieme.

Kiwamu Sakaguchi, D.D.S., Noshir, R., Mehta, D.M.D., M.D.S., M.S., Emad F. Abdallah, D.M.D., M.S., Albert G. Forgione, Hiroshi Hirayama, D.D.S., D.M.D., M.S., Takao Kawasaki, D.D.S., Atsuro Yokoyama, D.D.S., 2007. Examination of the Relationship Between Mandibular Position and Body Posture. Journal Of Craniomandibular Practice, 25(49), pp.237-49.

Kohlmann, T., 2002. Epidemiologie des orofacialen Schmerzes. Schmerz, 16, pp.339-45.

Kusch, R., 2012. Gelenkstellungen/Biomechanik Kiefergelenk, Modul MT-OWS. Fortbildungszentrum Langenhagen GbR, unpublished.

Kusch, R. 2012. Gelenkstellungen/Biomechanik Kopfgelenke, Modul MT-OWS. Fortbildungszentrum Langenhagen GbR, unpublished.

Kusch, R. 2007. Schwindel, S.I.O.-Modul: Behandlung der oberen Kopfgelenke/Kinder/Atlasterapie. Fortbildungszentrum Langenhagen GbR, unpublished.

Lalchandama, K., 2017. The path to the 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. Science Vision, 17, pp.1-13.

Laube, W., 2009. Sensomotorisches System. Stuttgart: Thieme.

Laube, W., 2017. Wie beeinflusst der Alterungsprozess das sensomotorische System?. Orthopädieschuhtechnik, 1, pp.32-41.

Look, J.O., Schiffman, E.L., Truelove. E.L., Ahmad, M., 2010. Reliability and validity of axis I of the Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD) with proposed revisions. Journal of Oral Rehabilitation, 37, pp.744-59.

Manfredini, D., Castroflorio, T., Perinetti, G., Guarda-Nardini, L., 2012. Review Article Dental occlusion, body posture and temporomandibular disorders: where we are now and where we are heading for. Journal Of Oral Rehabilitation, 39(6), pp.463-71.

Marx, G., 2000. Über die Zusammenarbeit mit der Kieferorthopädie und Zahnheilkunde in der manuellen Medizin. Manuelle Medizin, 38, pp.342-45.

MFT-Company, 2018. S3-Konzept Body Teamwork – Das intelligente Koordinationstraining. [pdf] Großhöflein: TST Trend Sport Trading GmbH. Available at: <https://www.mft-company.com/wpcontent/uploads/2017/11/MFT-S3-Folder-korr.pdf> [Accessed 29 Juli 2018].

Mildner, E., Lember, S., Raschner, C., 2010. Einfluss des Skischuhs auf das Gleichgewichtsverhalten. *Sportverletzung Sportschaden*, 24, pp.31-35.

Neuhuber, W., 2007. Anatomie und funktionelle Neuroanatomie der oberen Halswirbelsäule. *Manuelle Medizin*, 45, pp.227-31.

Neuhuber, W., 2005. M. longissimus als Vermittler zwischen kraniozervikalem Übergang und Becken. *Manuelle Medizin*, 43, pp.395-99.

Neuhuber, W.L., 1998. Der kraniozervikale Übergang: Entwicklung, Gelenke, Muskulatur und Innervation. In: H.D. Wolff, ed. 1998. *Der kranio-zervikale Übergang*. Berlin-Heidelberg: Springer, pp.11-31.

Ohlendorf, D., Riegel, M., Kopp, S., 2012. Auswirkung von Veränderungen der Unterkieferlage auf die Bewegungsqualität in sportmotorischen Tests. *Manuelle Medizin*, 50, pp.43-49.

Ohlendorf, D., Parey, K., Kemper, S., Natrup, J., Kopp, S., 2008. Können experimentell herbeigeführte Veränderungen der Okklusion das menschliche Gleichgewicht beeinflussen?. *Manuelle Medizin*, 46, pp.412-17.

Patel, S.K., Khatri, S.M., Shende, M.L., 2013. MFT a new diagnostic tool to check the balance in a normal healthy individuals. *Journal of Dental and Medical Sciences*, 5, pp.14-8.

Piekartz, H. von, Hall, T., 2013. Orofacial manual therapy improves cervical movement impairment associated with headache and features of temporomandibular dysfunction: A randomized controlled trial. *Manual Therapy*, 18, pp.345-50.

Raschner, C., Hilden, T., Lemberg, S., Lutz, M., Patterson, C., Platzer, H.P., 2008. S3-Check-Evaluierung und Normwertenerhebung eines Tests zur Erfassung der Gleichgewichtsfähigkeit und Körperstabilität. Sportverletzung Sportschaden, 22, pp.100-5.

Ries, L.G.K., Bérzin, F., 2008. Analysis of the postural stability in individuals with or without signs and symptoms of temporomandibular disorder. Brazilian Oral Research, 22, pp.378-83.

Schiffman, E.L., Ohrbach, R., Truelove, E., Look, J., Anderson, G., et al., 2014. Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/ TMD) for clinical and research applications: recommendations of the international RDC / TMD Consortium Network and orofacial pain special interest group. Journal of Oral & Facial Pain and Headache, 28, pp.6-27.

Schmidt, H.M., 1994. Kopf und Hals. In: W. Zenker, ed. 1994. Anatomie. München: Urban und Schwarzenberg, pp.471-527.

Schöttl, R., Losert-Bruggner, B., 2004. ICCMO-Kompendium. Rastatt: Greiserdruck.

Schulz, K.F., Altman, D.G., Moher, D., 2010. CONSORT 2010 Statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. BMJ, 340, pp.698-702.

Schumacher, G.H., Schmidt, H., 1990. Anatomie und Biochemie der Zähne. 4rd ed. Stuttgart: Fischer Verlag.

Schuhmacher, P., 2012. Der Einfluss der CMD auf das posturale System, demonstriert durch den Meersseman-Test. [pdf] Mannheim: Dekanat Mannheim. Available at:<[http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/16782/1/diss14\\_038.pdf](http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/16782/1/diss14_038.pdf)>[17.08.18].

Tilscher, H., Gruber, D., Lember, S., Raschner, C., 2007. Auswirkungen von Beeinträchtigungen am Bewegungsapparat auf das Ergebnis des S3-Körperstabilitätstests. *Manuelle Medizin*, 45, pp.1-6.

Walczynska-Dragon, K., Baron, S., Nitecka-Buchta, A., Tkacz, E., 2014. Correlation between TMD and Cervical Spine Pain and Mobility: Is the Whole Body Balance TMJ Related?. *BioMed Research International*, 2014, pp.1-7.

Wolff, H.D., 1988. *Die Sonderstellung des Kopfgelenkbereichs*. Berlin-Heidelberg: Springer.

Wrisley, D.M., Sparto, P.J., Whitney, S.L., Furman, J.M., 2000. Cervicogenic dizziness: a review of diagnosis and treatment. *Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 30, pp.755-66.

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Ursachenkomplexe der CMD (Bartrow, 2011, p.4) .....	26
Tabelle 2: Suchanfragen und Treffer bei Pubmed (Quelle: Autor).....	29
Tabelle 3: Lage- und Streumaße des Alters .....	41
Tabelle 4: Geschlechtsverteilung in den Gruppen.....	42
Tabelle 5: Lage- und Streumaße der Körpergröße.....	43
Tabelle 6: Lage- und Streumaße des Körpergewichts .....	44
Tabelle 7: Lage- und Streumaße des BMI.....	45
Tabelle 8: Verteilung der Wahrscheinlichkeit einer CMD .....	49
Tabelle 9: Werte des SIgesamt im gesamten Testablauf .....	51
Tabelle 10: Lage- und Streumaße des SIgesamt.....	51
Tabelle 11: Lage- und Streumaße des SIBelastung, SIEntlastung und SIDifferenz ..	53
Tabelle 12: Lage- und Streumaße des SIBelastung und SIEntlastung innerhalb der Kontrollgruppe .....	54
Tabelle 13: Erwartungshaltung der Probanden .....	56
Tabelle 14: Sporttätigkeit.....	57
Tabelle 15: Kieferorthopädische Behandlung.....	58
Tabelle 16: Durchführung von Maßnahmen zum Zahnersatz.....	59
Tabelle 17: Tragen einer Tiefziehschiene .....	59
Tabelle 18: Tragen einer speziellen CMD-Schiene .....	60
Tabelle 19: Vorhandensein von Kopfschmerzen .....	61
Tabelle 20: Vorhandensein von Nackenschmerzen .....	62
Tabelle 21: Vorhandensein von Zahnschmerzen unklarer Genese .....	63
Tabelle 22: Vorhandensein von Gleichgewichtsstörungen ohne organischen Befund .....	64
Tabelle 23: Vorausgegangenes HWS-Trauma.....	65
Tabelle 24: Stressbelastung der Probanden .....	66
Tabelle 25: Vorhandensein von Tinnitus .....	67
Tabelle 26: Vorhandensein von Bruxismus .....	68
Tabelle 27: Lage- und Streumaße des SIgesamt.....	70
Tabelle 28: Lage- und Streumaße des SIgesamt.....	71
Tabelle 29: Lage- und Streumaße des SIgesamt.....	73

Tabelle 30: Lage- und Streumaße des SIgesamt .....	74
Tabelle 31: Lage- und Streumaße des SIgesamt .....	75
Tabelle 32: Lage- und Streumaße des SIgesamt .....	77
Tabelle 33: Ergebnisse der Subgruppenbildung innerhalb der CMD-Gruppe .....	79

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Kraftvektoren am menschlichen Kiefer (Colicchia, Künzl und Wiesner, n.d., p.2) .....	10
Abbildung 2: Subokzipitale Muskulatur (Kapandji, 2006, p.225).....	15
Abbildung 3: Kinematische Kette im Kiefer-Halskomplex (Neuhuber, 2007, p. 228) .	17
Abbildung 4: Flussdiagramm der Studie (Quelle: Autor) .....	34
Abbildung 5: CMD-Kurzbefund (Ahlers und Jakstat, 2015, p.105) .....	35
Abbildung 6: MFT-S3-Check (Quelle: Autor).....	38
Abbildung 7: Boxplot des Alters.....	42
Abbildung 8: Geschlechtsverteilung in den Gruppen.....	43
Abbildung 9: Boxplot zur Körpergröße .....	44
Abbildung 10: Boxplot zum Körpergewicht.....	45
Abbildung 11: Boxplot des BMI .....	46
Abbildung 12: Korrelation des S1gesamt zum Alter .....	47
Abbildung 13: Korrelation des S1gesamt zur Körpergröße .....	47
Abbildung 14: Korrelation des S1gesamt zum Körpergewicht.....	48
Abbildung 15: Korrelation des S1gesamt zum BMI .....	48
Abbildung 16: Verteilung der Merkmale des CMD-Kurzbefundes .....	50
Abbildung 17: Boxplot des S1gesamt.....	52
Abbildung 18: Boxplot des SIDifferenz innerhalb der CMD-Gruppe .....	53
Abbildung 19: Boxplot des SIDifferenz innerhalb der Kontrollgruppe .....	55
Abbildung 20: Erwartungshaltung der Probanden.....	56
Abbildung 21: Sporttätigkeit.....	57
Abbildung 22: Kieferorthopädische Behandlung.....	58
Abbildung 23: Durchführung von Zahnersatz .....	59
Abbildung 24: Tragen einer Tiefziehschiene .....	60
Abbildung 25: Tragen einer speziellen CMD-Schiene .....	61
Abbildung 26: Vorhandensein von Kopfschmerzen.....	62
Abbildung 27: Vorhandensein von Nackenschmerzen .....	63
Abbildung 28: Vorhandensein von Zahnschmerzen unklarer Genese.....	64
Abbildung 29: Vorhandensein von Gleichgewichtsstörungen.....	65
Abbildung 30: Vorausgegangenes HWS-Trauma.....	66

Abbildung 31: Stressbelastung der Probanden .....	67
Abbildung 32: Vorhandensein von Tinnitus .....	68
Abbildung 33: Vorhandensein von Bruxismus .....	69
Abbildung 34: SIgesamt bei Sportlern und Nicht-Sportlern in der CMD-Gruppe .....	70
Abbildung 35: SIgesamt bei Probanden mit und ohne HWS-Trauma in der CMD-Gruppe .....	72
Abbildung 36: Probanden mit und ohne Schwindel innerhalb der CMD-Gruppe.....	73
Abbildung 37: Probanden mit und ohne Tiefziehschiene innerhalb CMD-Gruppe.....	74
Abbildung 38: Probanden mit und ohne CMD-Schiene innerhalb der CMD-Gruppe.	76
Abbildung 39: Probanden mit und ohne KFOB.....	77

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BMI	Body Mass Index
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
DC/TMD	Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders
ICF	International Classification of Disability and Health
KFOB	Kieferorthopädische Behandlung
KI	Konfidenzintervall
Max	Maximum
MD	Median
Min	Minimum
RDC/TMD	Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders
SD	Standardabweichung
TMD	Temporomandibular Disorders
TMS	Temporomandibuläres System

## **ANHANG**

### **Information für Probanden**

Vielen Dank für Ihr Interesse an meiner klinischen Studie.

Wie Sie vielleicht schon festgestellt haben, sind Erkrankungen des Kiefergelenkes und deren mögliche Folgen wie Kopf- und Nackenschmerzen sowie Schwindel, ein zunehmendes Problem des Gesundheitswesens. Die Forschung in diesem Bereich ist relativ jung, wichtige Untersuchungen stehen noch aus. Diese Studie soll das Wissen in dem Bereich: Funktionsstörungen des Kiefergelenkes (CMD) erweitern und zur aktuellen Diskussion beitragen, inwiefern das Kiefergelenk die Gleichgewichtskontrolle des Menschen beeinflusst. Gesucht sind Probanden, die entweder Symptome einer Kiefergelenkstörung (CMD) aufweisen oder beschwerdefrei sind.

Vor Beginn der Studie sollten Sie wissen wie der genaue Ablauf ist:

#### **Ablauf der Untersuchung**

1. Ausfüllen des Fragebogens / Voruntersuchung (ca. 10min)
2. Messung der Gleichgewichtskontrolle auf einer instabilen Messplattform
  - a) Rechts/Links mit Watteröllchen zwischen Zähnen 45s  
60s Pause (freies Gehen im Raum)
  - b) Rechts/Links mit Zähnen im Vollkontakt  
60s Pause (freies Gehen im Raum)
  - c) Vor/Zurück mit Watteröllchen zwischen den Zähnen  
60s Pause (freies Gehen im Raum)
  - d) Vor/Zurück mit Zähnen im Vollkontakt

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Falls Sie sich als Proband zur Verfügung stellen wollen, sprechen Sie mich an und klären eventuell offene Fragen. Eine unterschriebene Einverständniserklärung ist vor Beginn der Untersuchung erforderlich.

mit freundlichen Grüßen,  
Philipp Kiehm.

Reha-Kirchrode  
Tiergartenstr. 126  
30559 Hannover

### **Einverständniserklärung**

zur Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie:

"Interventionsstudie zum Vergleich der Gleichgewichtskontrolle zwischen CMD Patienten und gesunden Menschen, unter entlastetem und belasteten Temporomandibulären System."

Probandendaten:

---

(Nachname, Vorname)

---

(Straße, Postleitzahl, Wohnort)

---

(Telefon)

---

(Email)

Ich habe die „Information für Probanden“ der o.g. Studie gelesen und verstanden. Eine Kopie dieser „Information“ wurde mir ausgehändigt. Außerdem hatte ich ausreichend Gelegenheit, Fragen (z. B. zu Inhalt, Ziel, Verlauf und Risiken) zu stellen.

Ich erkläre mich damit einverstanden, an der Studie teilzunehmen. Meine Teilnahme erfolgt freiwillig.

Ich weiß, dass ich die Möglichkeit habe, meine Teilnahme an dieser Studie jederzeit und ohne Angabe von Gründen abubrechen, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Datenschutzklausel:

Ich erkläre, dass ich mit der im Rahmen der Studie erfolgenden Aufzeichnung von Studien - daten und ihrer Verwendung in pseudo- bzw. anonymisierter Form einverstanden bin.

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift des Teilnehmers)

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift des Studienleiters)

Name:  
Alter:  
Gewicht:

Datum:  
Körpergröße:  
Geschlecht:  männlich  weiblich

### **Ausschlusskriterien**

Treffen folgende Erkrankungen und Symptome auf Sie zu?

- Verletzung / Operationen der Halswirbelsäule oder des Kiefers innerhalb der letzten 6 Monate
- Frakturen des Kiefer - oder Schädelknochens sowie der Halswirbelsäule
- starke Schmerzen beim zubeißen
- akute Trigeminusneuralgie
- Erkrankungen des Innenohrs / Lagerungsschwindel innerhalb der letzten 6 Monate
- freies Gehen und stehen nicht möglich - ich bin sturzgefährdet
- entzündliche Erkrankungen (z.B. Morbus Bechterew, Rheumatoide Arthritis etc.)
- schwere Neurologische Erkrankungen (z.B. Schlaganfall, Multiple Sklerose etc.)
- schwere Herzerkrankungen mit Leistungseinbußen (Herzinfarkt, Herzinsuffizienz etc.)
- bösartige Erkrankungen / Metastasierungen im Bereich der Halswirbelsäule und Kopf
- Schwangerschaft
- Schmerzen die das Gangbild und Stand stark einschränken (Fußschmerzen etc.)
- Operationen / Gelenkersatz an Fuß, Knie und Hüfte

### **Einschlusskriterien**

- ich bin zwischen 18 und 65 Jahre alt
- ich habe die Einverständniserklärung unterschrieben

### **CMD Screening (Ahlers und Jakstat)**

- Mundöffnung asymmetrisch
- Mundöffnung eingeschränkt (<40mm)
- Gelenkgeräusche
- Okklusale Geräusche
- Muskelpalpation schmerzhaft
- Exzentrik traumatisch (Schliffacetten, Abrasionen, Knirschen)

- 
- CMD wahrscheinlich ( $\geq 2$ )       CMD unwahrscheinlich ( $< 2$ )

Name:

**Weitere Fragen (Subgruppenbildung)**

Treiben Sie mindestens 1h / Woche Sport?

ja             nein

Befanden Sie sich jemals in Kieferorthopädischer Behandlung?

ja             nein

Wurden bei Ihnen Maßnahmen zum Zahnersatz durchgeführt (Brücken, Kronen, Implantate, Prothesen)?

ja             nein

Tragen Sie eine einfache Tiefziehschiene zum Zahnschutz (meist keine Zuzahlung)?

ja             nein

Tragen Sie eine aufwändigere Schiene zur Entkoppelung/Relaxation/Zentrierung (meist mit Zuzahlung)?

ja             nein

Haben Sie min. 1x/Monat Kopfschmerzen?

ja             nein

Haben Sie min. 1x/Monat Nackenschmerzen?

ja             nein

Haben Sie Zahnschmerzen unklarer Genese?

ja             nein

Haben Sie Gleichgewichtsstörungen bzw. Schwindel ohne organischen Befund?

ja             nein

Hatten Sie jemals eine Verletzung der Halswirbelsäule (z.B. Schleudertraumata) mit einhergehenden Schmerzen oder Funktionsstörungen?

ja             nein

Fühlen Sie sich außerordentlich gestresst?

ja             nein

Leiden Sie an Tinnitus?

ja             nein

Knirschen bzw. Pressen Sie nachts mit den Zähnen?

ja             nein

Name:

**Ergebnis der Messung - Reihenfolge der Messungen (a-b-c-d) wird durchgehend gewechselt**

Reihenfolge: \_\_\_\_\_

a) Rechts/Links                      SI Entlastung: \_\_\_\_\_

b) Rechts/Links                      SI Belastung: \_\_\_\_\_

c) Vor/Zurück                        SI Entlastung: \_\_\_\_\_

d) Vor/Zurück                        SI Belastung: \_\_\_\_\_

Letzte Frage nach Messung beantworten:

Welche Intervention würde ihrer Meinung nach, den Test der Gleichgewichtsfähigkeit verbessern?

zubeißen     Entlastung mit Watteröllchen?

### Permutationsliste zur Randomisierung der Messreihenfolge

Nr.	Name	Gruppe	Permutation
1			ABCD
2			BACD
3			CABD
4			ACBD
5			BCAD
6			CBAD
7			CBDA
8			BCDA
9			DCBA
10			CDBA
11			BDCA
12			DBCA
13			DACB
14			ADCB
15			CDAB
16			DCAB
17			ACDB
18			CADB
19			BADC
20			ABDC
21			DBAC
22			BDAC
23			ADBC
24			DABC
25			ABCD
26			BACD
27			CABD
28			ACBD
29			BCAD
30			CBAD
31			CBDA
32			BCDA
33			DCBA
34			CDBA
35			BDCA
36			DBCA
37			DACB
38			ADCB
39			CDAB
40			DCAB
41			ACDB
42			CADB
43			BADC
44			ABDC
45			DBAC
46			BDAC
47			ADBC
48			DABC