

Aus der Abteilung für Digitale Zahnmedizin - Okklusions- und
Kaufunktionstherapie
(Leiter: Prof. Dr. med. dent. B. Kordaß)
der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnheilkunde und
medizinische Werkstoffkunde
(Direktor: Prof. Dr. med. dent. R. Biffar)
im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. dent. Karl-Friedrich Krey)
der Universitätsmedizin der Universität Greifswald

Analyse einer Koordinationsübung zum Bewegungsverhalten des Unterkiefers

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent.)
der
Universitätsmedizin
der Universität
Greifswald
2019

vorgelegt von: Christian Spiekermann
geb. am: 21.10.1984
in: Stralsund

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Prof. Dr. B. Kordaß

2. Gutachter: Prof. Dr. A. Hugger

Tag der Disputation: 14. Januar 2020

Ort, Raum: Greifswald, Hörsaal ZZMK

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1 -
2. Literaturübersicht	2 -
2.1 Das Kausystem.....	2 -
2.1.1 Aufgaben und Funktionen des Kausystems.....	2 -
2.1.2 Komponenten des Kausystems.....	3 -
2.1.3 Neuromuskuläre Steuerung.....	4 -
2.2 Bewegungsfunktion des Unterkiefers	6 -
2.2.1 Analyse der Bewegungsfunktion	6 -
2.2.2 Analyse der Koordinationsfähigkeit.....	8 -
2.2.3 Verbesserung der Koordinationsfähigkeit	10 -
2.3 Instrumentelle Bewegungsanalyse	12 -
2.3.1 Definition	12 -
2.3.2 Historie.....	12 -
2.3.3 Stand der Technik	14 -
3. Problemstellung	17 -
4. Material und Methoden	18 -
4.1 Untersuchungsaufbau	18 -
4.2 SHIP-Studie	19 -
4.3 Studiendesign	20 -
4.4 Assoziiertes zahnmedizinisches Projekt (ASSPRO).....	22 -
4.5 Hugoson-Index.....	24 -
4.6 Helkimo-Index	25 -
4.7 Probandenkollektiv.....	26 -
4.8 Jaw Motion Analyser	27 -
4.9 Untersuchungssoftware	30 -
4.10 Messparameter	35 -
4.11 Statistische Methoden	37 -
5. Ergebnisse	40 -
5.1 Darstellung der Ergebnisse.....	40 -
5.2 Auswertung der Ergebnisse.....	46 -
6. Diskussion	49 -
6.1 Diskussion der Methodik.....	49 -
6.2 Diskussion der Ergebnisse	52 -

7. Schlussfolgerung	- 57 -
8. Zusammenfassung.....	- 60 -
9. Abbildungsverzeichnis.....	- 62 -
10. Tabellenverzeichnis	- 64 -
11. Literaturverzeichnis	- 65 -
12. Eidesstattliche Erklärung.....	- 79 -
13. Lebenslauf	- 80 -
14. Danksagung	- 81 -

1. Einleitung

Die Analyse der Funktion bzw. der Funktionsfähigkeit des Kausystems bildet eine der Säulen in der zahnmedizinischen Therapieplanung. Eine besondere Notwendigkeit für ihre Durchführung besteht sowohl vor umfangreichen prothetischen oder restaurativen Maßnahmen, als auch bei Patienten, die Symptome einer craniomandibulären Dysfunktion aufweisen. Ihr Nutzen liegt dabei in der Überprüfung des funktionellen Zustandes und des Zusammenwirkens von Zähnen, Muskulatur und Kiefergelenken, sowie der Erkennung und Einordnung von dysfunktionellen Symptomen und Erkrankungen. Auf diesen Erkenntnissen basierend, lassen sich dann die kausalen Schlussfolgerungen für den Therapieverlauf ziehen. Wird jedoch auf funktionsanalytische Maßnahmen verzichtet, so ist die Diagnostik und Therapie von funktionellen Störungen nicht möglich. Die klassische Funktionsanalyse besteht aus einer klinischen bzw. manuellen Analyse, bei der pathologische Veränderungen im Bereich der Zahnhartsubstanzen, der Okklusion (statische und dynamische Okklusion), der Parodontien, der Kau- und Hilfsmuskulatur, sowie der Kiefergelenke durch Inspektion und Palpation festgestellt werden. Ergänzend dazu kann eine weiterführende Diagnostik angewendet werden. [4] Speziell die instrumentelle Funktionsanalyse, als Ergänzung zu der klassischen Funktionsanalyse, lässt eine Beurteilung der Bewegungsfunktion des Unterkiefers zu. Einen wesentlicher Bestandteil der Bewegungsfunktion stellt die Koordination dar [113]. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse einer Koordinationsübung, speziell der Unterkieferkreisbewegung. Es soll zum einen ein möglicher Einfluss von Faktoren auf die Koordination und zum anderen auf eine Kausalität zwischen Symptomen einer Dysfunktion und der Koordination geprüft werden. Die Ergebnisse sollen dann eine Aussage über die Koordinationsfähigkeit und damit über das Bewegungsverhalten des Unterkiefers zulassen.

2. Literaturübersicht

2.1 Das Kausystem

2.1.1 Aufgaben und Funktionen des Kausystems

Das Kausystem ist in seiner Gesamtheit sehr komplex. Es stellt ein Teilsystem des allgemeinen Bewegungsapparates des Körpers dar [45]. Zwischen den einzelnen Teilsystemen des Bewegungsapparates bestehen Wechselwirkungen, z.B. zwischen dem Kausystem und der Halswirbelsäule [12, 100, 114]. Das Kausystem ist in der Lage komplizierte motorische Aufgaben zu absolvieren. Es bedarf dafür einem Zusammenspiel von mehreren Komponenten, die in ihrer Gesamtheit eine strukturelle und funktionelle Einheit bilden. Jeder dieser Komponenten ist jeweils eine Form-Funktions-Beziehung zugeschrieben. [32, 40] Alle Elemente bilden zusammen eine Art biologischer Regelkreis und wirken in ihrer Funktion zusammen [23]. Die Funktionen des Kausystems werden durch Schumacher wie folgt beschrieben [121]:

- mastikatorische: Nahrungsaufnahme, Nahrungszerkleinerung, Nahrungsverarbeitung
- sensitive und sensorische: Vermittlung von Tast-, Druck-, Temperatur- und Geschmacksempfindungen
- phonetische
- ästhetische- physiognomische: Aktivitäten der mimischen Muskeln
- respiratorische: Nasen- und Mundatmung
- immunologische: lymphatische Organe und Speichel
- funktionelle Adaption der Gewebe in Form von Hypertrophie oder Atrophie
- regenerative Funktion durch Erneuerung von Gewebe

Trotz der enormen Vielfalt der Kaubewegungen und Kaumuster findet man eine, in ihrer Gestaltung sehr effiziente, Anatomie wieder. Diese Vielfalt ist ein Resultat des großen Bewegungsspielraumes und des hohen Maßes an feinmotorischer Koordination zwischen allen beteiligten Muskeln. [41] In diesem Zusammenhang spielen Schutz- und Erhaltungsmechanismen eine wichtige Rolle [41, 61, 103]. Als zentralen Punkt des Kausystems ist die neuromuskuläre Steuerung zu sehen. Sämtliche Informationen, die über afferente (sensorische) Bahnen fortgeleitet und den Ursprung in oralen, parodontalen, muskulären und artikulären Rezeptoren haben, werden im zentralen Nervensystem verarbeitet und modifiziert. Ein efferenter Impulsstrom aktiviert wiederum viele Muskeln bzw. Muskelanteile. Durch die Muskulatur werden dann Bewegungen des Unterkiefers, Formveränderungen, z.B. der Zunge, oder Kräfteinwirkungen, z.B. beim Kauen, ermöglicht. [32]

2.1.2 Komponenten des Kausystems

Sowohl für die Durchführung einer zahnmedizinischen Untersuchung als auch für die klinische bzw. manuelle Funktionsanalyse, sind die Kenntnisse der Anatomie des Kausystems unverzichtbar. Die Bestandteile des Kausystems stellen sowohl eine morphologische, also strukturelle, als auch funktionelle Einheit dar. Nach Freesmeyer besteht diese Einheit aus vier Determinaten [26] :

- Zähne, Zahnreihen, Parodontien
- Muskulatur
- Kiefergelenk
- Zentralnervensystem

Alle Strukturen werden von Blut und Lymphgefäßen umgeben und von Nerven innerviert [41]. Das Kiefergelenk besteht aus zwei komplexen Gelenken, die über die Unterkieferspange miteinander verbundenen sind.

In seiner Funktion stellt das Kiefergelenk ein Drehscharniergelenk (Trochoginglymus) dar. [18, 117] Die 32 Zähne des voll ausgebildeten Gebisses eines Menschen bestehen in der äußeren Schicht, dem Zahnschmelz, im Wesentlichen aus knochenähnlichem Hydroxylapatit. Das Gebiss gliedert sich in 8 Schneidezähne, 4 Eckzähne, 8 Prämolaren und 12 Molaren auf. Die Funktion eines jeden Zahnes prägt seine bestimmte Form und Größe [22]. Die Kaumuskulatur unterscheidet sich erheblich von der restlichen Muskulatur des Körpers z.B. der Extremitäten. Die besondere Zusammensetzung der Kaumuskelfasern stellt sich in dicht gepackte Muskelfaserbündel einzelner motorischer Einheiten mit unterschiedlichen Zugrichtungen dar. So können innerhalb eines individuellen Kaumuskels, unterschiedliche Kraftvektoren erzeugt werden. [79, 117, 139] Zu den eigentlichen Kaumuskeln zählt der Musculus temporalis, Musculus masseter, Musculus pterygoideus medialis und Musculus pterygoideus lateralis. Sie setzen sich aus einem Fasergemisch aus Typ I, IIA, IIB, IIC und IM zusammen [78, 126]. Eine weitere Determinante ist das zentrale Nervensystem, das entscheidend für die neuromuskuläre Modulation zuständig ist [45].

2.1.3 Neuromuskuläre Steuerung

Die Unterkieferbewegung basiert auf komplexen integrativen neuronalen Vorgängen des zentralen Nervensystems. Im Allgemeinen kann man zwischen primär gezielt willkürlichen Bewegungen, reinen Reflexbewegungen und zyklisch-rhythmischen Bewegungen unterscheiden [122]. Diese Bewegungen erfordern komplexe Interaktionen zwischen Großhirnrinde, Kleinhirn, Basalganglien, Hirnstamm und Rückenmark im Rahmen eines Informationsverarbeitungssystems durch Feedback- und Feedforward-Mechanismen [85]. Unter Feedback ist die Gesamtheit der sensorischen Informationen, die durch die eigene Bewegung entstanden ist, zu verstehen [137]. Der Feedforward-Mechanismus ist als eine Art vorweggenommene Korrektur, die regulierend eingreift, beschrieben [136].

Die Steuerung der motorischen Reaktion beruht auf der Integration von Muskelrezeptoren, die die Information vor und während der Bewegung an das zentrale Nervensystem leiten. Als Muskelrezeptoren fungieren die Muskelspindel und der Golgi-Sehnenrezeptor [10]. In einer komplexen Vernetzung wird als zentraler Steuerungsmechanismus ein zentraler Mustergenerator oder Kaumustergenerator angenommen [53, 85, 122]. Diesen findet man im Rückenmark, Hirnstamm, Basalganglien und im Kleinhirn [85]. Mehrere Studien, die mittels der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) durchgeführt wurden, konnten eine zerebrale Repräsentation neuromuskulärer Aktivität im primären und sekundären somatosensorischen (S1, S2) und motorischen Kortex (M1), dem prämotorischen Kortex (PMC), somatosensorische Areale (SMA), Regionen des Arbeitsgedächtnisses (BA 9), dem partiellen Kortex, der Insula, dem Thalamus, Cerebellum und dem occipitalen Kortex zeigen [64, 76, 95, 124]. Somit findet man das Aktivierungsmuster nicht nur in motorischen und sensorischen Arealen, sondern vor allem auch in subkortikalen Anteilen, wie dem Thalamus (wo Sinneswahrnehmungen verschaltet werden, bevor sie zum Kortex projiziert werden), den Basalganglien (die erlernte Bewegungen im Fluss halten) und auch Arealen wie dem Hirnstamm, wo Unterkieferbewegungen auf sehr tiefer Ebene reflektorisch verschaltet sind, was eine unbewusste Durchführung von Bewegungen (z.B. beim Kauen) erleichtert. [117] Das Konzept des Mustergenerators basiert auf einem Neuronennetzwerk, das rhythmische Aktivitäten erzeugen kann. Diese rhythmischen Aktivitäten müssen vorprogrammiert werden, um eine Steigerung der Geschwindigkeit und Präzision erlernter Bewegungen zu erzielen. Die großen Mengen an Informationen vor und während einer Kieferbewegung werden über Neuromodulatoren, die aus anderen Bereichen des ZNS kommen, oder über Eingänge von Sinnesorganen erzeugt. Die Verarbeitung findet z.T. auf der Hirnstammebene statt. Im Bereich der dorsalen bulbären Formatio reticularis, nahe dem motorischen Kern und dem Hauptkern des V. Gehirnnervs, werden die Bewegungen von Mustergeneratoren gesteuert. [15, 85, 86, 89] Die strukturierten

Funktionsmuster der Kieferbewegungssequenzen werden zwischen normalen und dysfunktionalen Zuständen widergespiegelt [107].

2.2 Bewegungsfunktion des Unterkiefers

2.2.1 Analyse der Bewegungsfunktion

Die Analyse der Bewegungsfunktion des Unterkiefers ist ein Teilbereich der zahnärztlichen Funktionsanalyse. Die klassische Funktionsanalyse besteht aus einer klinischen bzw. manuellen Funktionsanalyse und kann dazu mit weiterführender Diagnostik, im Sinne einer instrumentellen Funktionsanalyse sowie weiteren bildgebenden und konsiliarischen Verfahren ergänzt werden. Das Ziel dieser Analyse ist die Überprüfung des funktionellen Zustandes des Kausystems und der Erkennung von dysfunktionellen Symptomen und Erkrankungen [4]. Die klassische Funktionsanalyse erfolgt meist durch Inspektion und Palpation. Es werden rein subjektive Befunde des Behandlers gesammelt. Diese Analyse unterliegt einer gewissen Variationsbreite, bedingt durch die Behandleranzahl bzw. durch deren Erfahrung bei der Durchführung der Untersuchungen. Die Symptome einer funktionellen Dysfunktion und die Erkrankungen des Kausystems, sind durch die klinische und ggf. durch die manuelle Funktionsanalyse erkennbar. Jedoch ist erst durch eine instrumentelle Bewegungsanalyse der Befund differenzierbar. Dabei kann eine präzisere und detailliertere Beurteilung und metrische Erfassung einer Beeinträchtigung im kondylären und/oder inzisalen Bereich, mit ihrem Ausmaß/ Schweregrad und zeitlichem Auftreten erfolgen. [39, 63]. Um vergleichbare Befunde und Messdaten zu ermitteln, ist sowohl bei der klassischen als auch ergänzend bei der instrumentellen Funktionsanalyse eine Standardisierung notwendig. Für die klassische Funktionsanalyse stellt der Befundbogen der DGFD (Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie) eine Orientierungshilfe dar [97]. Dieser

ist in einen Anamnese- und einen Befundteil gegliedert. Die Unterkiefermobilität wird im Befundteil des Bogens anhand der Mundöffnung und Mundschlusses ermittelt. Die Aufzeichnung des Unterkieferinzisalpunktes erfolgt dabei manuell nach visueller Beobachtung des Behandlers. In der Literatur wird dies mit einer großen Variationsbreite und Ungenauigkeit seitens des Untersuchers verbunden. [73] In Bezug auf die instrumentelle Funktionsdiagnostik stellt die, im Jahr 2015 veröffentlichte S2k-Leitlinie, mit dem Titel „Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse“ einen Leitfaden dar. Mittels der instrumentellen Bewegungsanalyse lassen sich ganz spezifische Aspekte der Unterkieferbewegungsfunktion beleuchten. Dazu zählen:

- **Die Bewegungskapazität** zur Erfassung des Ausmaßes maximaler Bewegungsmöglichkeiten im Sinne der so genannten neuromuskulären Grenzbewegungen
- **Die Koordination** des Ablaufes von Bewegungen am jeweiligen Betrachtungsort sowie der Beziehung zwischen rechter und linker Unterkieferseite
- **Die okklusale Stabilität und gelenkbezogene Zentrierung** zur Erfassung der Reproduzierbarkeit der Ausgangs-/Referenzposition des Unterkiefers. [113]

Zuvor wurden bereits, als Expertenstellungnahme, Kriterien für eine Standardisierung bei computergestützten Aufzeichnungen, sowie strukturierte Analysekriterien definiert [39]. Es wurde festgehalten, dass bei der Analyse der Bewegungsfunktion des Unterkiefers zunächst Betrachtungsebenen berücksichtigt werden müssen. Diese Ebenen würden zusammen eine sogenannte „Kriterienmatrix“ ergeben. Folgende Betrachtungsebenen lassen sich nach den Autoren unterscheiden: Die Bewegungskapazität, Koordination, okklusale Zentrierung, die Analyse der Kondylenposition, Muskelfunktion und Kaufunktion. Dabei können strukturelle Gegebenheiten die genannten Betrachtungsebenen beeinflussen. [39] Den einzelnen Betrachtungsebenen wurden

Analyseparameter zugeordnet, was eine quantitativ metrische und teilweise qualitativ kategoriale Analyse ermöglicht. Die Autoren definierten bei inzisalen Bezug die Bewegungsform als alleinigen Analyseparameter. [39] Darauf aufbauend wurde von Ahlers et al. ein weiteres Protokoll für ein strukturiertes Vorgehen zur Parametrisierung und Auswertung instrumenteller Bewegungsaufzeichnungen veröffentlicht [3]. Der Autor berücksichtigte dabei allein die kondylären Bewegungen. Ein speziell entworfener Befundbogen dient bei der Datenerhebung der Übersichtlichkeit [62].

2.2.2 Analyse der Koordinationsfähigkeit

Die Koordination ist ein Charakteristikum der Unterkieferbewegungsfunktion. Die Analyse kann durch eine klinische bzw. manuelle Funktionsdiagnostik und ergänzend durch eine instrumentelle Bewegungsanalyse erfolgen. Die instrumentelle Bewegungsanalyse kann mithilfe von Analyseparametern beschrieben werden. Diese Analyseparameter können sowohl quantitativ metrisch als auch qualitativ kategorial sein. Eine konkrete Auswahl von Analyseparametern wurde bereits in einer konsensbasierten Stellungnahme veröffentlicht [39]. Die Auswertung der Koordination betreffend, können die metrischen Analyseparameter mit einem kondylären Bezug hinsichtlich der Translations- und Bewegungsbahnen und der Schwenk- und Koordinationswinkel untersucht werden. Die kategorialen Analyseparameter können ebenso mit einem kategorialen Bezug auf die Bewegungsform, dem Geschwindigkeitsverlauf und der Seitenkoordination ausgewertet werden. Weiterführend kann ein inzisaler Bezug mit dem Fokus auf die Bewegungsform ausgewertet werden. [39] Zusätzlich zu den Analyseparametern wird in dem erwähnten Positionspapier ein Untersuchungsprotokoll dargestellt. Dabei sollten folgende Übungen zur Bewegungsaufzeichnung absolviert werden: Die Kinematik mit Kaufunktion, die maximale voluntäre Kontraktion mit EMG-Messung, die Protrusion, die

Laterotrusion, Posselt sagittal und frontal, das freie Kauen, das Rechts- und das Linkskauen [39]. Eine Publikation von Ahlers et al. greift die erarbeiteten Inhalte des Positionspapieres auf und formuliert weitere Kriterien und Analyseparameter für eine standardisierte Auswertung kondylärer Bewegungen. Dabei dient die Bewegungskapazität als auch die Bewegungskoordination der Erfassung des kondylären Bewegungsablaufes und kann mögliche Rückschlüsse auf intraartikuläre Veränderungen liefern. Wichtige Analyseparameter sind dabei die Länge und Form des Bahnverlaufes, die Geschwindigkeit der Kondylenbewegung und die bilaterale Koordination der Kondylen. [3] Eine Dyskoordination kann dabei in unterschiedlichen Bewegungsabschnitten auftreten und durch verschiedene Merkmale gekennzeichnet sein. Dyskoordinationen können durch kurze Unterbrechungen bzw. Haltepunkte während der Schließbewegung mit anschließender Geschwindigkeitszunahme auftreten [3]. Die Geschwindigkeit vermittelt einen Eindruck über die Koordination der Bewegungsausführung. Ein eingipfliger Geschwindigkeitsverlauf gilt als physiologisch, wohingegen ein mehrgipfliger Geschwindigkeitsverlauf eher als Hinweis für eine arthrogene oder auch myogene Problematik gedeutet werden kann. Darüber hinaus ist der Seitenvergleich des Bewegungsablaufes der Kondylen ein Koordinationsmerkmal. [3] Bei der Betrachtung des Inzisalpunktes kann eine Dyskoordination durch eine Abweichung der Mittellinie während der Mundöffnung bzw. des Mundschlusses, also durch eine Deviation oder Deflexion, gekennzeichnet sein [31]. Als weiteres diagnostisches Merkmal, um eine Aussage über die Mobilität des Unterkiefers zu treffen, kann die Testung der Mundöffnung herangezogen werden. Diese kann in eine passive und aktive Mundöffnung unterteilt werden. Eine physiologische Differenz liegt bei ca. 1-2 mm. [19] Durchschnittlich beträgt die physiologische Mundöffnung 53 – 58 mm. Die Ansichten für eine unphysiologische Mundöffnungseinschränkung variieren hingegen in der Literatur sehr stark. Eine weitere diagnostische Messmethode der manuellen Funktionsanalyse ist die Laterotrusionsbewegung. Treten Schwierigkeiten auf eine koordinierte

Laterotrusionsbewegung zu vollziehen, so kann dies ebenfalls ein Hinweis auf eine Dyskoordination sein. [31] Die Messwerte einer physiologischen Laterotrusionsbewegung variieren ebenfalls in den Literaturangaben. Ingerval et al. nennt Durchschnittswerte von 9,8 bzw. 10,5 mm [47]. Agerberg und Österberg machen Angaben über 8,7 bzw. 8,8 mm und Hesse von 10,0 und 10,5 mm [2, 10]. Daraus ergibt sich ein Verhältnis von Mundöffnung zur Laterotrusionsbewegung bei physiologischen Verhältnissen von 6 : 1 [17]. Als Einschränkung der Mobilität werden allgemein in der Literatur Laterotrusionsbewegungen von < 8mm angesehen [47, 93].

2.2.3 Verbesserung der Koordinationsfähigkeit

Die Muskulatur im Allgemeinen als auch die Koordinationsfähigkeit im Speziellen, kann durch gezielte Übungen trainiert werden. Selbiges gilt auch für die Kaumuskulatur. Dies ist möglich, da sie eine Art Lernfähigkeit besitzt, die sogenannte Neuroplastizität. [34, 98] Die funktionellen Eigenschaften der Muskulatur bzw. der Kaumuskulatur können so langfristig modifiziert werden. Weiterhin besitzt die Kaumuskulatur, wie auch die Muskulatur der anderen Körperregionen, ein Reparatonsystem. Korfage et al. konnten zeigen, dass bei jeder (Mikro-)Läsion muskeleigene Stammzellen aktiviert werden [67]. Die Eigenschaften der Neuroplastizität und des Reparatonsvermögens des Muskelgewebes sind sehr wichtig für den Erfolg von temporären therapeutischen Maßnahmen, wie beispielsweise der Schientherapie, Physiotherapie oder der Selbstübungen [117]. Ein interdisziplinäres Behandlungskonzept sieht häufig eine physiotherapeutische Behandlung vor. Dabei existieren unterschiedliche Behandlungsansätze: Die physikalische und manuelle Therapie, sowie verschiedene Koordinationsübungen, die die Probanden im Sinne einer Heimübung selbstständig durchführen sollen [10]. Dabei sind reversible konservative Therapien irreversiblen invasiven Maßnahmen vorzuziehen [94]. Um langfristigen Erfolg durch physiotherapeutische Maßnahmen zu

erzielen, ist eine Umstellung der Koordination nötig. Übungen, die den generellen „Fitnesszustand“ der Kaumuskulatur verbessern, wirken sich deutlich positiv auf die Schmerzsymptomatik aus. Es kommt zu einer Verbesserung der Kompensationsfähigkeit, zu einer Stärkung der Muskeln sowie zu einer Funktionsverbesserung und Reduktion der Schmerzsymptomatik. [83, 130, 131] Prof. Schulte publizierte 1977 ein physiotherapeutisches Programm, bei dem der Patient eine Reihe von Heimübungen absolvieren muss. Es klassifiziert dabei den Begriff der Myoarthropathie und gibt Hilfestellungen sowohl für Physiotherapeuten als auch für Zahnärzte. Die Übungen bestehen aus einer Kombination von isometrischen Spannungsübungen und nachfolgenden Lockerungsübungen. Damit kommt Schulte dem sportiven Prinzip der Spannung/Entspannung bzw. dem Wechsel zwischen Isometrie und Dehnung nach. [120, 125] Weiterhin existieren in der Literatur zahlreiche Techniken und Übungen zur Verbesserung der Muskelkoordination [14, 74, 96, 111]. Diese Übungen bzw. Übungsprogramme werden meist in Zusammenarbeit des Physiotherapeuten und des Patienten trainiert. Die physiotherapeutischen Übungen bzw. Selbstübung finden häufig bei der Therapie von Dysfunktionen Anwendung, da sie relativ simple Übungen darstellen, reversibel und nicht invasiv sind, vergleichsweise niedrige Kosten produzieren und weil der Patient in seine eigene Behandlung involviert und für sein eigenes Wohlbefinden verantwortlich ist. Mit einer physiotherapeutischen Therapie sollen Schmerzen und Beschwerden kontrolliert und die kinematischen Parameter und Funktionen verbessert werden. Übungen, die in einem Trainingsplan zur Anwendung kommen können sind z.B. Atemtechniken, Selbstmassagen der Kaumuskulatur, Dehnungs – und Koordinationsübungen sowie Haltungsübungen. Michelotti et al. gibt die Empfehlung die Koordinationsübungen dreimal täglich durchzuführen. Dabei kann der Mund langsam für zwanzig Wiederholungen geöffnet und geschlossen werden. Der Zeigefinger sollte während der Übung, zur Selbstkontrolle der Bewegung, seitlich auf dem Kiefergelenk

anliegen. Die Unterkiefermittellinie sollte parallel zu einer, auf einem Spiegel gezeichneten, senkrechten Linie bewegt werden. [82]

2.3 Instrumentelle Bewegungsanalyse

2.3.1 Definition

Die instrumentelle Bewegungsanalyse stellt eine zahnärztliche Untersuchungsmethode dar, die die Unterkiefer-Bewegungsfunktion eines Patienten mit speziellen Messsystemen (sogenannten Registriersystemen) erfasst. Die Bewegungsaufzeichnungen, die neben den eigentlichen Bewegungsabläufen auch den Vergleich verschiedener Unterkiefer-Positionen umfassen können, werden anschließend vom Behandler anhand von Auswertungskriterien analysiert und daraus Schlussfolgerungen gezogen. Diese Schlussfolgerungen betreffen einerseits die funktions- und strukturbezogene Diagnostik des Kausystems, andererseits die okklusionsbezogene sowie die zahnärztlich-restaurativ orientierte Therapieplanung, Therapiegestaltung und Rehabilitation. [113]

2.3.2 Historie

Die Entwicklung um die Erfassung der Unterkieferbewegungen hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Diese Erfassung wird u.a. in der zahnärztlichen Prothetik zur patientengerechten Artikulatorprogrammierung genutzt [3]. Ein weiterer Aspekt ist die Funktionsdiagnostik, bei der Systeme helfen, Struktur-Funktions-Zusammenhänge darzustellen und zu deuten [22]. Eine sinnvolle Unterteilung der Systeme kann in mechanisch, elektronisch, magnetisch, optisch, ultraschallgesteuert, berührungshaft und berührungslos vorgenommen werden [42]. Am Anfang des 20. Jahrhunderts begann die Entwicklung mit zunächst mechanischen Aufzeichnungsgeräten zur

Darstellung von Bewegungsmustern der Kondylen und des Inzisalpunktes. Eine Vielzahl von Artikulatoren, zur Reproduzierbarkeit von Ober- und Unterkiefer, wurde entwickelt. Parallel dazu gab es Bestrebungen die Bewegungsmuster auf mechanische Führungsbahnen zu übertragen. Historische Beispiele dafür finden sich bei Walker (1896) und Wustrow (1926). [143] Gysi erkannte die Bedeutung der Frontzahnführung für die Unterkieferbewegung. Der 1906 entwickelte Gysi-Simplex-Artikulator wies erstmalig einen Führungsstift und -teller auf. [30, 58] Die Aufzeichnung der Bewegungen der Kiefergelenke wurden erstmalig durch Spreng 1925 zur Relationsbestimmung zwischen Ober- und Unterkiefer genutzt. Er fand die Okklusionszentrik mit Beginn der Protrusions- und Mediotrusionsspur. Ähnliche Verfahren führten Kubein und Weber durch. [58, 68, 142] McCollum, McQueen, Stuart und Wightmann entwickelten den Gnathographen, unter Zuhilfenahme eines zentralen Stützstiftes. Etwa 20 Jahre später führte dies zum Stuart-Recorder und dem individuell justierbaren Stuart-Artikulator. In den 70er und 80er Jahren wurden graphische Registrierverfahren zunehmend für diagnostische Fragestellungen genutzt, um zwischen Orthofunktion und Pathofunktion zu unterscheiden. [13, 48, 49, 118] Alle mechanischen Verfahren wiesen trotz Weiterentwicklung Nachteile auf. Diese waren u.a. die fehlende automatische Projektionsfehlerkorrektur, Vergrößerungseffekte waren schwer darzustellen, der mangelnde Zeitbezug und mangelnde Rechts-Links-Differenzierung der Bewegungen [56]. Die Einführung der elektronischen Registriersysteme in den 70er und 80er Jahren verhalf dann zu einer Vereinfachung der Anwendung für die Behandler und Patienten. Die Fehler der rein mechanischen Systeme konnten minimiert werden. Die Bewegungsdaten lagen nun digital vor und konnten gespeichert und bearbeitet werden. [27, 143] Alle mechanischen und viele elektronische Verfahren waren berührungshaft und gelenknah. Verfälschungen konnten hier direkt am Messort durch mechanische Krafteinwirkung auftreten. [54] Elektronische gelenkferne Verfahren waren z.B. der Mandibularkinesiograph nach Jankelson und der Sirognathograph nach

Lewin. Diese Verfahren basierten auf der Messung mittels Magnetfeldstärkenänderung und wurden meist für wissenschaftliche Arbeiten verwendet. [104, 105] Weitere Systeme waren das ECR-System von Luckenbach (1976) und von Häring (1986) [58]. Zu den elektronisch gelenknahen Systemen und eines der ersten berührungslosen Verfahren, zählten das von Ohlrogge (1978) entwickelte, welches er Pantoskopie nannte [72]. Klett brachte 1982 eine berührungslose optoelektronische Apparatur auf den Markt, den String-Recorder. Hierbei handelte es sich um ein Messwertaufnehmersystem, das die dreidimensionalen Kondylenbewegungen beider Seiten mit hoher Auflösung aufzeichnete. [55] Nach Meyer ergeben sich bei allen, durch die nicht scharnierachsenausgerichteten Messsysteme und die Translation, Rotation und Pendelbewegung der Scharnierachse, Fehler, die auch durch Computer nicht herausgerechnet werden können. Er forderte die Anwendung von Geräten ohne Rechneinsatz und die exakte Ausrichtung auf die terminale Scharnierachse. [80] In Anlehnung an die Achsiographie von Mack und Slavicek entwickelten Meyer und Del Ri ein Verfahren zur dreidimensionalen Darstellung der Scharnierachsbewegung während der Unterkieferbewegung, das SAS-System [81]. Eine Weiterentwicklung des SAS-Systems stellt das CADIAX-System dar. Die ultraschallbasierten Systeme wurden erstmalig 1983 von Hansen zur Ganganalyse eingesetzt und von Häring 1986 auf den Unterkiefer adaptiert. Als eine Weiterentwicklung des MT 1602 wurde 1997 der Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny) vorgestellt. Dieser ist in den Weiterentwicklungen heute noch aktuell. [144]

2.3.3 Stand der Technik

Die in der Vergangenheit verwendeten rein mechanischen Messsysteme wurden mit der Zeit von rein elektronischen Messsystemen abgelöst. Die Aufzeichnung von patientenindividuellen Messdaten dient der Simulation von zahn- und gelenkbegrenzten Kieferbewegungen [35]. Heutzutage kann diese Simulation rein digital mit den entsprechenden Wiedergabegeräten

nachvollzogen werden. Der hohe Stellenwert der Digitalisierung für eine moderne orale Rehabilitationsmedizin ist unumstritten und wird zukünftig an Bedeutung gewinnen. Speziell, wenn es um prothetisch-restaurative Rehabilitation geht, sind diese Messsysteme eine hilfreiche Ergänzung. Neben dem mehr rehabilitativen und diagnostischen Einsatz ist CAD/CAM ein Bereich, in dem instrumentelle Verfahren Anwendung finden. [66] Die aktuell auf dem Markt vertriebenen Systeme sind vorwiegend elektronisch und ultraschallbasiert. In den Grundzügen ist ein mechanischer Ursprung dieser Systeme erkennbar. Einige Systeme haben sich schon längere Zeit am Markt bewährt und wurden lediglich modifiziert, andere sind Neuentwicklungen und noch in der Prototypphase. Zu den bewährten Systemen zählt der CADIAX diagnostic und CADIAX compact (Gamma, Ö-Klosterneuburg). Beide, ursprünglich getrennten Systeme, sind in einer Messbox vereint. Nach der vorliegenden Indikation kann zwischen beiden Verfahren gewählt werden. Der CADIAX gehört zu den noch teils mechanisch und elektrisch arbeitenden Systemen. [66] Die Kondylenbewegungen werden in der Sagittalebene auf zweidimensionalen Widerstandstabletts durch Abfahren mittels eines Taststiftes aufgezeichnet. [55] Bei den ultraschallbasierten (Laufzeitmessung) Systemen sind der Arcus Digma II (KaVo, D-Leutkirchen) und der Axioquick Recorder (Sam, D-München) zu nennen. Die letzten Optimierungen betrafen primär die Software. Ein weiteres bewährtes Gerät ist der Jaw Motion Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny). Dieses System wird als Erweiterung in Kooperation mit der Firma Schütz Dental (D-Rosbach) als JMA+ angeboten. Es beinhaltet einen Myografen und eine zusätzliche Videokamera für ästhetische Analysen. [66] Der Freecorder Bluefox (DDI-Group, D-Dortmund) ist ein Gerät, das auf dem optoelektronischen Verfahren basiert. Die Messung erfolgt mittels eines Mustertracking-Verfahrens. [55] Für die Aufzeichnung von Beißkräften stehen das T-Scan-III-System (Tekscan, USA-Boston), IPR- (Dental Balance, D-Ratzeburg) und DIR-System (Fundamental, D-Essen) zur Verfügung. Die Neuerungen betrafen auch hier die Software und die Wiedergabegeräte. [66] Eine Weiterentwicklung des

Mandibularkinesiographen nach Jankelson stellt das K7 (Myotronics-Noromed Inc., SinfoMed GmbH, D-Frechen) dar. Es beruht auf der Magnetfeld-Messmethode und ermöglicht eine freie, dreidimensionale Erfassung des Unterkiefers. Parallel dazu wird eine 8-Kanal-EMG-Messung durchgeführt. Diese Methodik wird von Verbänden und Interessengemeinschaften wie der ADA (American Dental Association), der DGFDT (Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie) sowie der ICCMO (International College of Cranio-Mandibular Orthopedics) anerkannt. Die Messgenauigkeit liegt inzisal bei 0,1 mm. [115] Eine Neuerung zeigt die Firma SICAT (D-Bonn) in Zusammenarbeit mit Sirona (D-Bensheim). Hierbei werden mittels eines Bewegungsaufzeichnungsgerätes (SICAT Function JMT+) Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers mit dem Datensatz aus einem DVT kombiniert. Dies ermöglicht die realdynamische Darstellung der Bewegung und der individuell anatomischen Strukturen. Mit Hilfe eines Kopplungsöfffels (SICAT FusionBite) und Registriermaterial kann der Ober- und Unterkiefer zentrisch zugeordnet werden. Im Vergleich zu anderen Systemen, bei denen man sich in einem Näherungsbereich bewegt, können hier die Kondylenpunkte genau an den anatomischen Vorgaben festgelegt werden. Die Indikationen für SICAT Function liegen neben der Funktionsanalyse und Therapieschienenherstellung auch überall dort, wo eine Diagnostik erforderlich wird, die über das Maß einer einfachen Panoramaschichtaufnahme geht. Dieses System stellt eine Innovation dar und wird in Zukunft einen neuen funktionsdiagnostischen Standard definieren. [65, 87, 112]

3. Problemstellung

Der Kontext der vorliegenden Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse einer Koordinationsübung zum Bewegungsverhalten des Unterkiefers. Zunächst sollen die Norm- und Grenzwerte der Unterkieferkreisbewegung ermittelt werden. Des Weiteren soll ein statistischer Zusammenhang zwischen den metrischen Daten bzw. den Analyseparametern aus dem Teilprojekt D und den kategorialen Daten der Basisstudie (Befundbögen) aus SHIP (Study of Health in Pomerania) überprüft werden.

Die folgenden Fragen sollen in der zugrunde liegenden Arbeit Inhalt der Untersuchungen sein:

1. In welchem Bereich definieren sich die Norm- und die Grenzwerte der Unterkieferkreisbewegung?
2. Wird die Kreisbewegung bzw. die Bewegungsfigur der Unterkieferkreisbewegung von Faktoren, wie Geschlecht, Alter, Helkimo- und Hugoson-Index, Kauseitenpräferenz und Parafunktion, beeinflusst?
3. Besteht ein Zusammenhang zwischen Symptomen einer Dysfunktion und der Koordinationsfähigkeit während der Unterkieferkreisbewegungen?
4. Ist es mit den erhobenen Daten möglich, die physiologische von der unphysiologische Unterkieferfunktion abzugrenzen und daraus diagnostische Kriterien für eine Dysfunktion zu definieren?
5. Stellt die beschriebene Analyseverfahren eine praktikable Ergänzung einer klinischen bzw. instrumentellen Funktionsanalyse dar?

4. Material und Methoden

4.1 Untersuchungsaufbau

Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden aus der bevölkerungsrepräsentativen Basistudie SHIP-0 (Study of Health in Pomerania), im Zusammenhang mit dem zahnmedizinisch Assoziierten Projekt (ASSPRO) „Munderkrankungen und kranio-mandibuläre Dysfunktion“ und dem Teilprojekt D „Strukturveränderungen und Dysfunktionen des Kauorgans durch kurative Rekonstruktion der Kauflächen“ gewonnen. Nach einem standardisierten Behandlungsprotokoll wurden die Kreisbewegungen des Unterkiefers aufgezeichnet. Die Kreisbewegung wurde mithilfe des ultraschallbasierten Messsystems Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny) dreidimensional ermittelt. Nach einer ausführlichen Erklärung und Probedurchlauf der Übung wurden die Probanden gebeten, diese Bewegung so koordiniert und kreisähnlich wie möglich durchzuführen. Es war dabei den Probanden überlassen, ob die Bewegung zur linken oder rechten Seite begonnen wurde, mit welcher Geschwindigkeit und mit wie viele Kreiszyklen die Übung absolviert wurden. Die Probanden sollten mit dem inkorporierten Unterkiefersensor einen Kreis, der auf einem Din A4 Blatt dargestellt war und welches sie eigenständig in ihren Händen hielten, nachzeichnen. Ergänzend zu den kinematischen Bewegungsdaten wurden weitere Daten in einer zahnmedizinischen Untersuchung der Basisstudie (SHIP-0), mittels spezieller zahnmedizinischer Befundbögen erhoben. Es wurden mittels eines klinischen Funktionsstatus der Hugoson- und der Helkimo-Index erhoben. Weitere Daten aus den Befundbögen waren das Geschlecht und Alter, das Alter, die Präferenz der Kauseite und das Vorhandensein von Parafunktion (Knirschen, Pressen). Die gesammelten kinematischen Bewegungsdaten der Probanden wurden dann von der zum Messsystem zugehörigen Software WinJaw (Version 10.6.50) exportiert und in eine spezielle Untersuchungssoftware JawReports (Zentrum für Dentale

Informatik und CAD/CAM-Technologie, Greifswald) importiert. Die weitere Bearbeitung und Analyse der Bewegungsdaten erfolgte dann mittels JawReports. Es erfolgte die graphische Darstellung der aufgezeichneten Bewegungsdaten und das Definieren von Messpunkten für die Gewinnung der metrischen Daten. Zwecks einer standardisierten Auswertung der Kreisbewegungen wurde eine Schnittebene im Koordinatensystem bestimmt. Die Schnittebene wurde in einem festen Abstand zur Interkuspitationsposition (IKP) definiert. Alle Messdaten, die an dieser Schnittebene ermittelt wurden, konnten als Report in einer Excel-Tabelle gespeichert werden. Die erstellten Excel-Tabellen wurden anschließend in die Statistiksoftware SPSS (IBM Version 22) eingefügt und ausgewertet.

4.2 SHIP-Studie

Die SHIP-Studie (Study of Health in Pomerania) ist eine bevölkerungsbasierte und bevölkerungsrepräsentative Gesundheitsstudie zur Erforschung von Volkskrankheiten bei Frauen und Männern im Alter von 20 bis 79 Jahren [141]. Bei dieser epidemiologischen Studie wurden umfassende longitudinale Daten zu populationsrelevanten Risikofaktoren und Erkrankungen gesammelt. Die Ziele dieser Studie sind zum einen die Prävalenz und Inzidenz häufiger Risikofaktoren, subklinischer Auffälligkeiten und manifester Erkrankungen abzuklären und zum anderen komplexe Zusammenhänge zwischen ihnen zu untersuchen. Die Studienregion wurde durch die ehemaligen Landkreise Stralsund-Land, Greifswald-Land und Anklam-Land sowie die Städte Stralsund, Greifswald, Anklam (ohne die Insel Usedom und ohne Fischland/Darß) mit insgesamt ca. 212.000 Einwohnern (Stand 12/1995) festgelegt. [25]

4.3 Studiendesign

Die SHIP-Studie besteht aus zwei voneinander unabhängigen Kohorten. Zwischen 1997 und 2001 wurden 4308 Erwachsene in der Basiserhebung (SHIP-0) der ersten Kohorte untersucht. Zwischen 2002 und 2006 wurde die erste Fünf-Jahres-Nachuntersuchung (SHIP-1) durchgeführt und ab 2008 bis 2012 wurden die Probanden ein drittes Mal untersucht (SHIP-2). Parallel dazu wurden weitere Erwachsene aus der Region für die Basisuntersuchung einer zweiten Kohorte (SHIP-TREND) eingeladen. Von 2014 bis 2016 wurde ein 17-Jahre-Follow-up (SHIP-3) durchgeführt. Seit März 2016 wird das erste Follow-up durchgeführt, zu dem alle Teilnehmer von SHIP-Trend erneut zu den Untersuchungen eingeladen wurden (SHIP-TREND-1). Die erste Kohorte umfasst in der Nettostichprobe 6265 Personen, von denen 4308 (2193 Frauen), was einer Response von 68,8% entspricht, an der Basisuntersuchung in SHIP-0 teilnahmen. Nach fünf Jahren verblieben 3949 Personen und 3300 von ihnen wurden in der SHIP-1 noch einmal untersucht, das entspricht einem Response von 83,6%. Parallel dazu wurden weitere 8016 Erwachsene aus der Region für die Basisuntersuchung (SHIP-Trend) eingeladen. [141]

SHIP-0: (=Basisstudie) SHIP wurde zunächst als Querschnittstudie geplant und die Untersuchungen an Probanden wurden vom 16.10.1997 bis 19.05.2001 in Stralsund und Greifswald durchgeführt. Die Untersuchung setzte sich aus vier Abschnitten zusammen:

- Ein computergestütztes Interview zum allgemeinen Gesundheitszustand
- Eine medizinische Untersuchung
- Eine zahnärztliche Untersuchung
- Einen Selbstbeantwortungsfragebogen zur Gesundheit und zum Gesundheitsverhalten

Die zahnärztliche Untersuchung wurde von vier trainierten und kalibrierten Studienzahnärzten durchgeführt und direkt in den Computer eingegeben. Die klinische Untersuchung wurde anhand von acht Befundbögen vorgenommen: Befundbogen Mundschleimhaut, Zahnersatz, klinische Funktionsanalyse A und B, Parodontologie, allgemeinzahnärztlicher Befundbogen A und B und Befundbogen Kieferorthopädie. Die Untersucher wurden trainiert und Konsensdiskussionen, welche auch während der Studie zweimal jährlich wiederholt wurden, wurden vor Beginn der Studie organisiert.

SHIP-1: Am 23.10.2002 begann das 5-Jahres-Follow-up von SHIP (SHIP-1). Die Probanden aus SHIP-0 wurden erneut eingeladen und in Greifswald untersucht. Die Datenerhebung wurde im Sommer 2006 abgeschlossen.

SHIP-2: Am 25.06.2008 wurde ein 11-Jahres-Follow-up (SHIP-2) der populationsbasierten Studie durchgeführt. Das Projekt verfolgt das zentrale Ziel, den Gesundheitszustand der hiesigen Bevölkerung in Bezug auf Risikofaktoren, Erkrankungen und deren Folgen im Verlauf ihres Lebens zu beobachten. Die Datenerhebung wurde im September 2012 abgeschlossen.

SHIP-Trend: Parallel zu SHIP-2 wurde eine neue Stichprobe von 8016 Probanden der Region Vorpommern gezogen, die mit einem ähnlichen Untersuchungsprogramm wie in SHIP-2 ab September 2008 untersucht wurden. Im September 2012 wurde die Datenerhebung mit 4420 Probanden abgeschlossen.

SHIP-3: Von Februar 2014 bis März 2016 wurde ein 17-Jahres-Follow-up durchgeführt. Dazu werden alle SHIP-0 Probanden eingeladen und ihnen sowohl die Basisuntersuchung als auch eine weitergehende Untersuchung der Klinik für Innere Medizin B und das Ganzkörper-MRT angeboten.

SHIP-Trend-1: Seit März 2016 wird das erste Follow-up durchgeführt, zu dem alle Teilnehmenden von SHIP-Trend erneut zu den Untersuchungen eingeladen werden. [25]

GANI_MED: Die Studie GANI_MED (Greifswald Approach to Individualized Medicine) erfasste von 2009 bis 2014 Daten, um individuelle Aussagen über Risikofaktoren und Therapiemöglichkeiten für jeden Patienten treffen zu können und somit die Effektivität einer Therapie zu optimieren [119].

4.4 Assoziiertes zahnmedizinisches Projekt (ASSPRO)

Als Ergänzung der Basisstudie wurde das Assoziierte Projekte „Munderkrankungen und kranio-mandibuläre Dysfunktionen“ gebildet. Die Probanden der Basisstudie SHIP-0 wurden unter konkreten Fragestellungen weiter untersucht. Das Assoziierte Projekt bestand aus vier Teilprojekten.

- **Teilprojekt A:** „Untersuchung zur Differenzialdiagnostik degenerativer Erkrankungen der Kiefergelenke.“
- **Teilprojekt B:** „Dysfunktionen und Strukturveränderungen des stomatognathen Systems unter dem Langzeiteinfluss von Zahnstellungs- und Okklusionsanomalien“
- **Teilprojekt C:** „Untersuchungen zur Effektivität und Effizienz unterschiedlicher Therapiekonzepte bei rasch fortschreitender Parodontitis“
- **Teilprojekt D:** „Strukturveränderungen und Dysfunktion des Kauorgans durch kurative Rekonstruktion der Kauflächen“

Das Ziel der zahnmedizinischen Teilprojekte ist die Feststellung kausystembezogener morphologischer, funktioneller und iatrogenen Risikofaktoren, die den Gesundheits- und Funktionszustand des orofazialen Systems einschließlich des Parodontiums beeinträchtigen können. [25] Der Untersuchungsablauf des Teilprojektes D baute auf den Befunden der Basisstudie auf. Ein wesentlicher Teil der Untersuchungen stimmte mit den Untersuchungen des zahnärztlichen Teils der Basisstudie überein. Die

Untersuchungen im Teilprojekt D wurden durch drei Untersucher durchgeführt, die mittels eines Untersucherhandbuches für das Teilprojekt D zuvor kalibriert wurden. Eine klinische Untersuchung wurde nur dann komplett durchgeführt, wenn der Untersucher durch anamnestische Angaben bzw. Inspektion und im Vergleich mit dem Befund aus der Basisstudie feststellte, dass sich dieser in der Einteilung in die Befund- bzw. Kontrollgruppe verändert hat. In dem Befundbogen „Zahnersatz“ wurden alle Formen von Zahnersatz (herausnehmbar und festsitzend) und laborgefertigten Restaurationen von Zähnen erfasst (Kronen, Teilkronen, Inlays). Außerdem wurde der Materialeinsatz bei Verblendung von Kronen und Brückengliedern dokumentiert. Für das Teilprojekt D sollten keine Probanden mit herausnehmbarem Zahnersatz berücksichtigt werden. Anhand des Befundbogens „klinische Funktionsanalyse“ A und B wurde eine klinische Funktionsanalyse durchgeführt. Zunächst wurde die Druckdolenz im Gelenkbereich, im Bereich des M. masseter, temporalis, suboccipitalis, sternocleidomastoideus, pterygoideus medialis und lateralis beidseits untersucht. Weiterhin wurde auf Gelenkgeräusche während der Öffnungs- und Schließbewegung akustisch und über die von lateral die Gelenkregion palpierenden Zeige- und Mittelfinger registriert und die Mobilität des Unterkiefers (Hypermobilität, maximale Schneidekantendistanz passiv und aktiv, Lateralbewegungen nach rechts und links, Ablauf der Öffnungsbewegung) überprüft. Die Befundaufnahme wurde am entspannt und aufrecht sitzenden Probanden durchgeführt. Vor dem Start des Untersuchungsteils wurden die Probanden informiert und befragt, ob der Proband schon einmal Gelenk- und/oder Muskelbeschwerden hatte. Der Untersucher stand stets bei allen Untersuchungen vor dem Probanden und hielt bei allen palpatorischen Untersuchungen Blickkontakt. Anschließend wurden im Teilprojekt D kinematische Bewegungsdaten mittels des Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny) erhoben. Es wurden verschiedene Übungen aufgezeichnet, Öffnen/Schließen, Lateralbewegung, Protrusion, Posselt sagittal, Posselt lateral, Kauen rechts und links. Bevor die Probanden die Übungen absolvierten, wurde jede Übung eingehend

erläutert und die Probanden hatten die Möglichkeit diese vor der eigentlichen Aufzeichnung zu üben. Eine weitere Übung bestand aus der Unterkieferkreisbewegung. Die Probanden hielten dabei eigenständig ein DIN A4-Blatt vor sich, auf dem ein Kreis abgebildet war. Dieser Kreis musste mit der Spitze des Unterkiefersensors so präzise wie möglich abgefahren werden. [59]

4.5 Hugoson-Index

Der Hugoson-Index wurde in der zahnmedizinischen Untersuchung der SHIP-Studie ermittelt. Der Index, nach Anders Hugoson, wird zur Klassifizierung und Charakterisierung von okklusalen Abrasionen genutzt. Neben dem Hugoson-Index existieren viele weitere Indices zur Ermittlung des Ausmaßes von Abrasionen. Diese beziehen die Abrasion von Zahnhartsubstanz oder auch Restaurationsmaterialien mit ein. Beispielhaft ist hier der Index nach Smith und Knight zu nennen. In der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich mit dem Hugoson-Index gearbeitet. Das Ausmaß der Abrasion wurde für jeden Zahn dokumentiert. Nach dem Grad der Abrasion wurden die Zähne in Gruppen G0, G1, G2, G3 eingeordnet. [21, 43, 44]

G0: keine oder unerhebliche Abrasion im Schmelz

G1: Abrasion im Schmelz bis zu kleinen Dentinspots

G2: Abrasion im Dentin bis zu einem 1/3 der Krone

G3: Abrasionen mehr als 1/3 der Krone oder übermäßige Abrasion von Restaurationsmaterialien

Die Indexberechnung erfolgte dann nach der vorgegebenen Formel:

$$I_A = \frac{(10 * G1 + 30 * G2 + 100 * G3)}{(G0 + G1 + G2 + G3)}$$

Der Index I_A ist das Verhältnis zwischen der gewichteten Summe aller Zähne mit Abrasionen und der Gesamtzahl der vorhandenen Zähne des Probanden. Die Konstanten 10, 30 und 100 wurden gewählt, um die Unterschiede hinsichtlich des Ausmaßes der Abrasion widerzuspiegeln. [21] Die Verteilung der innerhalb des Probandenkollektives stellte sich als sehr ungleichmäßig dar. Aus dem Index wurden zwei Gruppen gebildet. Die eine umfasste die Probanden mit einem Index von 0 – 20 und die andere Gruppe die Probanden mit einem Index von 20 – 100.

4.6 Helkimo-Index

In der vorliegenden Arbeit wurde der international gebräuchliche Helkimo-Index zur Beurteilung der Dysfunktionen verwendet. In ihm werden zunächst die anamnestischen Symptome in Abhängigkeit von ihrer Schwere bewertet. Dabei wurden fünf typische Symptome funktioneller Störungen (A – E) untersucht und in einem Punktbewertungssystem (0= symptomfrei, 1= geringe Ausprägung und 5= schwere Ausprägung der Symptome) zusammengefasst. Aus der Summe der Punktbewertungen ergaben sich 6 klinischen Dysfunktionsgruppen (0 – 5) und daraus vier Dysfunktionsklassen (D0 – DIII),

A Mandibular mobility in mm	0	1	5	Points
a) Max. mouth opening	> 40	30 – 39	< 30	
b) Laterotrusion right/left	> 7	4 – 6	0 – 3	
c) Max. protrusion	> 7	4 – 6	0 – 3	
Mobility index = sum of scores (a – c)			0	0
			1 – 4	1
			5 – 20	5
B Temporomandibular joint function				
Movement without sounds, deviation up to 2 mm				0
Sounds deviations over 2 mm				1
Locking or luxation				5
C Muscular pain				
No pain on palpation				0
Pain on palpation at one or three sites				1
Pain on palpation at four or more sites				5
D Temporomandibular joint pain				
No pain on palpation				0
Lateral aspect pain				1
Distal aspect pain				5
E Pain on mandibular movement				
No pain				0
Pain on one movement				1
Pain on two or more movements				5
Summary				Sum A – E
D 0 clinically symptom – free				0
D I mild dysfunction				1 – 4
D II moderate dysfunction				5 – 9
D III severe dysfunction				10 – 25

Tabelle 1 Helkimo-Index nach Vorlage [9]

4.7 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv in der vorliegenden Arbeit umfasste 279 Probanden. Ein vollständig auszuwertender Datensatz lag bei 260 Probanden vor, davon waren 108 männliche und 152 weibliche Probanden. Diese wurden in dem Assoziierten Projekt Teil D, mit Bezug zur bevölkerungsrepräsentativen Basisstudie (Study of Health in Pomerania, SHIP-0), untersucht. Der Zahnstatus der Probanden durfte ausschließlich Füllungen und festsitzenden Zahnersatz umfassen, jedoch keinen herausnehmbaren Zahnersatz bzw. einen Stützzonenverlust aufweisen.

Weiterhin wurden Probanden aus der Studie entfernt bzw. in eine andere Gruppe eingeteilt, wenn zwischen dem zahnärztlichen Befund der Basisstudie und dem weiteren zahnärztlichen Befund des Assoziierten Projektes eine Neuversorgung im Sinne eines herausnehmbaren Zahnersatzes oder aber im Testquadranten eine andere Versorgung, als in der Schnittstellenbeschreibung vorgesehen, durchgeführt wurde.

4.8 Jaw Motion Analyser

Für die Registrierung der kinematischen Bewegungsdaten wurde der Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny) in seiner Grundversion verwendet. Dieses System erfasst berührungslos alle Freiheitsgrade des Unterkiefers und arbeitet nach der Methode der Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen. Mit dem Jaw-Motion-Analyser ist es möglich funktionsanalytische Untersuchungen, die Bestimmung einer neuromuskulären Kieferrelation sowie die Ausgabe eines Reports der Bewegungsparameter zur Programmierung mechanischer und virtueller Artikulatoren zu tätigen. Alle Bewegungsdaten können auch als Report für die digitale Weiterverarbeitung ausgegeben werden. Das Gerät besteht aus einem Gesichtsbogen, der ähnlich wie dieser mit einer Glabellastütze und zusätzlich mit zwei retroaurikulären Stützflächen angebracht wird. Das Empfängermodul ist im Gesichtsbogen integriert. Der Unterkiefersensor wird mit einer Magnethalterung an einem T-Attachment befestigt. Das T-Attachment liegt der Unterkieferzahnreihe paraokklusal an. [145] Für eine Referenzierung der Koordination des Aufzeichnungssystems müssen anatomische Punkte auf der Hautoberfläche festgelegt werden. Dies wird mit einem am Unterkiefersensor befestigten Zeigesensor erfüllt. In dem Untersucherhandbuch zum Teilprojekt D wurde für die jeweiligen Behandler ein exakter Ablauf für die Messreihe festgehalten. Zunächst wurden die arbiträren Achspunkte und der Infraorbitalpunkt mit einer Schablone angezeichnet. Der paraokklusale Löffel wurde mittels Struktur 2 SC (Fa.

Voco, D-Cuxhaven) beschichtet und an der Unterkieferfront fixiert. Der Unterkiefer des Probanden wurde hierbei in die maximale Interkuspitation (IKP) geführt. Dabei durfte es zu keiner Interferenz zwischen dem Löffel und der Okklusion kommen. Auftretende Interferenzen mussten von den Behandlern beseitigt werden. Nach der Aushärtung des Kunststoffes wurde der Löffel aus dem Mund des Probanden entfernt und mögliche Zahnimpressionen entfernt. Anschließend wurde der Löffel mit gewebefreundlichem Adhäsivkleber an der Unterkieferzahnreihe befestigt, so dass er weder in der Interkuspitation (IKP), noch während der Ausübung der Unterkieferbewegung störte. Der Gesichtsbogen wurde am Kopf des Probanden angelegt. Das Schaumstoffpolster wurde retroaurikulär auf dem Mastoid und die Glabellastütze auf der Nasenwurzel platziert. Der Oberkiefersensor wurde dann an dem Gesichtsbogen befestigt. Zur Eingabe der angezeichneten Punkte wurde der Zeigesensor verwendet. Für die Referenzierung der Koordinaten wurden der Infraorbitalpunkt, der Inzisalpunkt und die arbiträren Kondylenpunkte definiert, Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3. Der Koordinatenursprung wird von Seiten der Software Winjaw (Fa. Zebris Medical, D-Isny) im Mittelpunkt der Verbindungsstrecke zwischen den beiden arbiträren Achspunkten festgelegt. Der Unterkiefersensor wurde anschließend am paraokklusalen Löffel an der dafür vorgesehenen Halterung angebracht. Den Probanden wurden alle zu absolvierenden Übungen erläutert und es wurde ihnen Zeit gegeben, diese zu üben. Anschließend wurden die Probanden gebeten, den Schlussbiss als Ausgangspunkt für die jeweilige Übung einzunehmen. Für die Aufnahme der Kreisbahn wurde der Proband aufgefordert, mit dem Unterkiefersensor eine Kreisbewegung ohne Zahnkontakte auszuführen. Dabei hielt der Proband ein DIN A4-Blatt mit einem aufgezeichneten Kreis vor sich mit den Händen fest und versuchte so präzise und koordiniert wie möglich diesen mit dem Unterkiefersensor nachzuzeichnen. [59] Die gewonnenen Messdaten wurden an den Auswertungsrechner mittels USB-Schnittstelle übermittelt. Als Auswertungssoftware diente WinJaw (Fa. Zebris Medical, D-Isny). In der vorliegenden Arbeit wurde die Version 10.5 verwendet.



Abb. 1 Registrierung des Infraorbitalpunktes rechts mit dem Zeigesensor

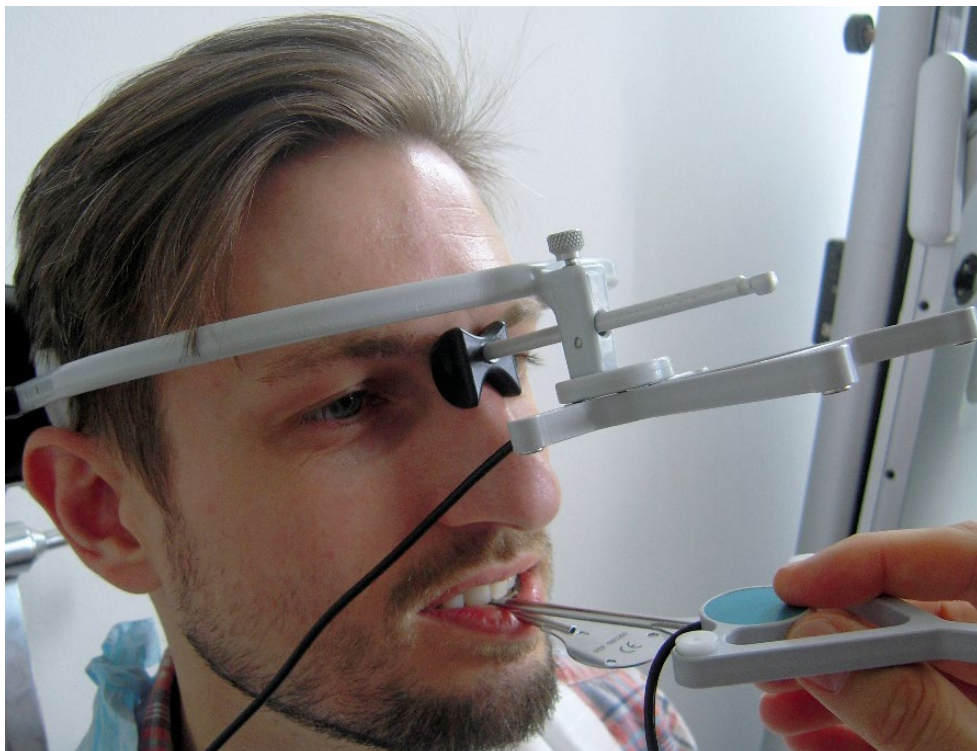


Abb. 2 Registrierung des Inzisalpunktes mit dem Zeigesensor



Abb. 3 Registrierung der arbiträren Kondylenposition mit dem Zeigesensor

4.9 Untersuchungssoftware

Die kinematischen Bewegungsdaten, die über den Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny) aufgezeichnet wurden, konnten mittels der Software WinJaw (Fa. Zebris Medical, D-Isny) exportiert und in die Analysesoftware JawReports (Zentrum für Dentale Informatik und CAD/CAM-Technologie, Greifswald) importiert werden. WinJaw ermöglicht es, gezielte Zusammenstellungen von Daten, die man auswerten möchte, in Form eines ASCII-Exports bereitzustellen. Der ASCII-Export wurde in Form von txt-Dateien gespeichert und in JawReports eingelesen. Die Bewegungsdaten können mittels JawReports visualisiert und unter gezielten Gesichtspunkten ausgewertet werden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Version 1.4 verwendet. Die Bewegungsübungen in der vorliegenden Arbeit, die Kreisbewegung und die registrierten Referenzpunkte (Inzisal) können individuell ausgewählt werden. JawReports kann die Bewegungsmuster in Öffnungs- und Schließbewegungen farblich aufschlüsseln und die x-, y- und z-Koordinaten im zeitlichen Verlauf anzeigen, Abb. 4. [50] Weiterhin ist es möglich, ein individuelles Intervall in der jeweiligen Bewegungsübung zu

definieren, das mit der Qualität der durchgeführten Bewegung korreliert. Um standardisierte Messdaten zu gewinnen, wurden einheitliche Messdaten in der Anzahl der Messzyklen sowie auch in der Bewegungsqualität, erhoben. Bei jedem Probanden wurden zwei aufeinanderfolgende Kreisbahnen ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass möglichst gleichmäßige Kreisbahnen von jedem Probanden ausgewählt wurden. Die Bewegungsbahnen können in der Frontal-, Sagittal- oder Transversalebene betrachtet werden, Abb. 5. JawReports, bietet unter anderem die Möglichkeit, die Geschwindigkeiten der Bewegungsbahnen anzeigen zu lassen, Abb. 6. Weiterhin kann der genaue Verlauf der aufgezeichneten Bewegung in einem Video-Modus verfolgt werden. Die relativen Geschwindigkeiten sind durch einen Farbverlauf von cyan (langsam) zu dunkelblau (schnell) farblich dargestellt. Ergänzend kann eine Schnittebene eingeblendet werden. Diese kann in einer weiteren Option in ihrer Höhe variiert werden. Dadurch ist es möglich die Ebenenschnittpunkte in der jeweiligen Höhe darzustellen.

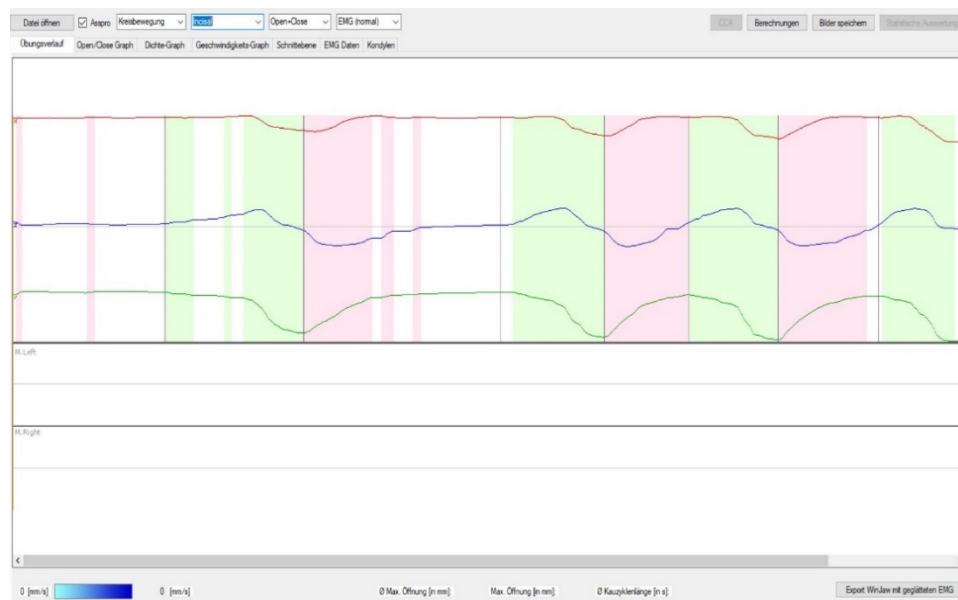


Abb. 4 Auswertung der Bewegungsdaten: Bewegungsmuster der x-,y-,z-Richtung (rot, grün, blau); Öffnungs- und Schließbewegung (hellgrün, hellrot)

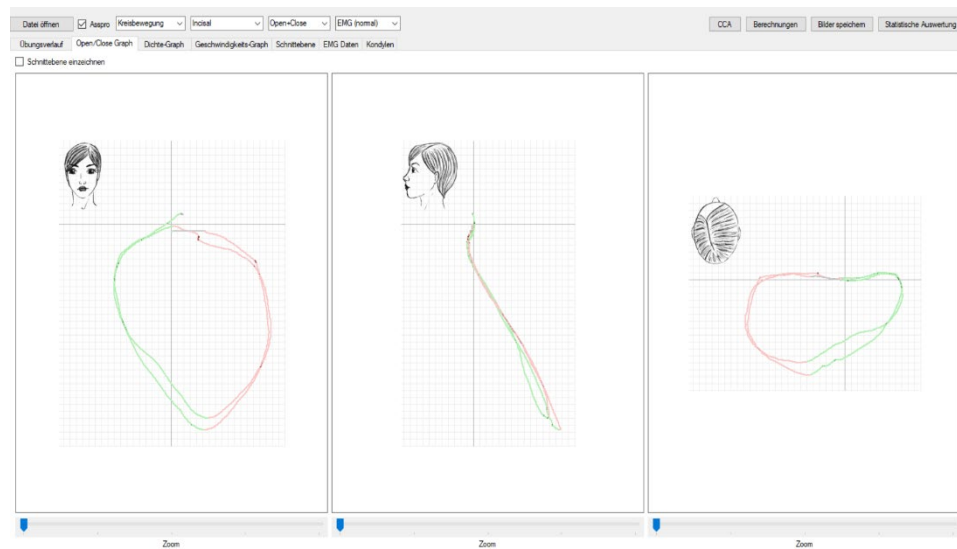


Abb. 5 Darstellung der Betrachtungsebenen in Frontal-, Sagittal- und Transversalansicht; Öffnungsbewegung (grün), Schließbewegung (rot)

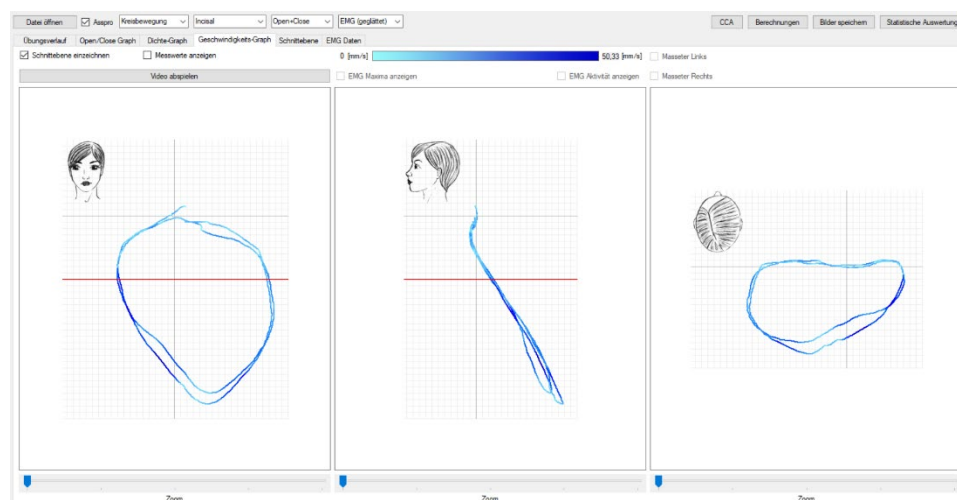


Abb. 6 Darstellung der Geschwindigkeiten während der Kreisbewegungen in der Frontal-, Sagittal und Transversalebene; Schnittebene (rot)

Unter dem Menüpunkt Chewing Cycle Analysis (CCA) verbirgt sich ein Tool zur visuellen und numerischen Charakterisierung der Kreisbahnen. Hierzu gehören auch die Öffnungs- und Schließwinkel der jeweiligen Projektionen der Kreisbahnen. Um diese berechnen zu können, muss die Schnittebenenhöhe festgelegt werden. Diese Höhe kann individuell als Abstand zur Interkuspitationsposition (IKP) festgelegt werden. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Schnittebenenhöhe von 10 mm definiert. Diese Schnittebenenhöhe wurde gewählt, um eine genauere Aussage über die kreisgeführte Bewegung zu tätigen. Anschließend wurden die Punkte

berechnet, bei der sich die Gerade (in der definierten Höhe) und die projizierten Kreisbahnen, differenziert nach Öffnungs- bzw. Schließbewegung, schneiden. Die Winkel, die zwischen den Halbgeraden, gebildet aus Bewegungsstartpunkt und Schnittpunkten, und der Geraden, die parallel zur Schnittgerade durch den Startpunkt verläuft, eingeschlossen sind, entsprechen den Öffnungs- bzw. Schließwinkeln, Abb.7. Für die Berechnung des Öffnungs- und Schließwinkels wurde der Anfangspunkt der Bewegungsaufzeichnung gewählt. Dieser Punkt ist genau der Punkt, der innerhalb der Selektion (Vorauswahl) der höchstgelegene Start oder Endpunkt aller ausgewählten Kreiszyklen ist. Dieses Vorgehen wurde durchgeführt, um Messungenauigkeiten auszugleichen. Diese Messungenauigkeiten können z.B. bei einer nicht korrekt eingenommenen Interkuspidationsposition (IKP) am Anfang der Messung oder durch ein Verschieben des oberen Messbogens auftreten. Diese Messungenauigkeiten sind durch eine Abweichung des Startpunktes der Bewegung und des Koordinatenursprungs zu sehen.

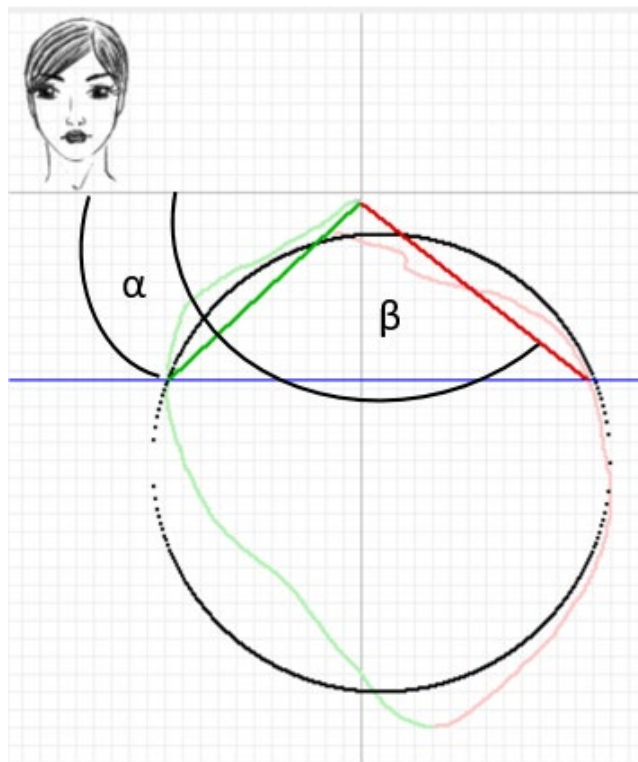


Abb. 7 Darstellung einer Kreisbewegung; Öffnungswinkel grün, Schließwinkel rot; Schnittebene blau, konstruierter Kreis schwarz; in der Frontalebene

Um die Kreisbewegung ihrer visuellen Form nach (in frontaler Projektion) in Zusammenhang mit metrischen Daten zu bringen, um somit eine Quantifizierung und Vergleichbarkeit herzustellen, mussten die Messdaten in Relation mit einer tatsächlichen Kreisbahn gebracht werden, Abb. 8. Der Algorithmus des CCA bedient sich dabei einer modifizierten Methode der kleinsten Quadrate, bei der die projizierten Messdaten (x_i, y_i) so durch eine Kreisbahn $r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2$ approximiert werden, dass die Summe der quadratischen Abstände aller Punkte zu diesem Kreis minimal ist, sprich die folgende Gleichung minimiert wird:

$$S(\mathbf{a}, \mathbf{b}, r) = \sum_{i=1}^n \left(r - \sqrt{(x_i - \mathbf{a})^2 + (y_i - \mathbf{b})^2} \right)^2,$$

wobei (a, b) der Kreismittelpunkt und r der Kreisradius ist. Die in der vorliegenden Arbeit verwendete Methodik zur Berechnung des Kreisradius basiert auf dem Verfahren des „Best Fit Circle“ spezieller des „Modified Least Squares Methods“ [135]. Auf den genauen Algorithmus bzw. Lösungsweg dieses Extremwertproblems soll an dieser Stelle aufgrund des Umfangs und der mathematischen Komplexität nicht eingegangen werden. Durch die berechnete Kreisgleichung erhält man auch die Parameter Kreisradius und Kreisfehler der kreisgeführten Bewegungsbahnen, die zum einen Rückschlüsse auf das Ausmaß der Bewegung zulassen, ebenso aber auch auf die Genauigkeit der Durchführung der Kreisbewegung. Umso größer der Kreisfehler beispielsweise ist (abgesehen von starken Ausreißern innerhalb der Messwerte), desto schlechter ist wahrscheinlich die kreisgeführte Bewegungsbahn bzw. desto weniger entsprechen die Messwerte einer Kreisbahn. Der Kreisfehler entspricht hierbei der mittleren quadratischen Abweichung der projizierten Messpunkte von der approximierten Kreisbahn.

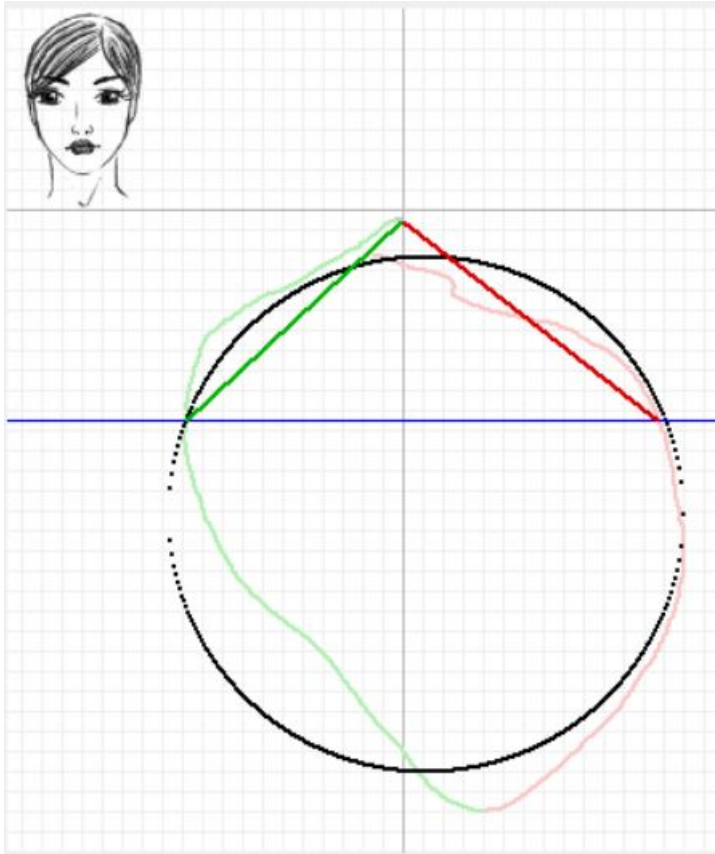


Abb. 8 Darstellung der angewiesenen Kreisbewegung in der Frontalebene, mit inzisalem Bezug; Schnittebene blau; Halbgerade der Öffnungsbewegung (grün) und Schließbewegung (rot); konstruierter Kreis (schwarz)

4.10 Messparameter

Alle metrischen Daten, die berechnet wurden, konnten in Form eines Reports in Form einer Excel-Tabelle ausgegeben werden. Folgende Parameter wurden für die Auswertung der Kreisbewegung definiert:

- **Kreisradius** - [mm]
Der Radius des berechneten Kreises.
- **Kreisfehler** - [mm]
Entspricht der mittleren quadratischen Abweichung der Punkte vom Kreis.
- **Öffnungswinkel frontal** - [Grad]
Der Winkel, der zwischen den Halbgeraden, gebildet aus Bewegungsstartpunkt und Schnittpunkten, und der Geraden, die parallel

zur Schnittgerade durch den Startpunkt verläuft, eingeschlossen ist. Registriert in der Frontalebene.

- **Öffnungswinkel sagittal** - [Grad]

Der Winkel, der zwischen den Halbgeraden, gebildet aus Bewegungsstartpunkt, Schnittpunkten und der Geraden, die parallel zur Schnittgerade durch den Startpunkt verläuft, eingeschlossen ist. Registriert in der Sagittalebene.

- **Schließwinkel frontal** - [Grad]

Der Winkel, der zwischen den Halbgeraden, gebildet aus Bewegungsstartpunkt, Schnittpunkten und der Geraden, die parallel zur Schnittgerade durch den Startpunkt verläuft, eingeschlossen ist. Registriert in der Frontalebene.

- **Schließwinkel sagittal** - [Grad]

Der Winkel, der zwischen den Halbgeraden, gebildet aus Bewegungsstartpunkt, Schnittpunkten, der Geraden, die parallel zur Schnittgerade durch den Startpunkt verläuft, eingeschlossen ist. Registriert in der Sagittalebene.

- **Zeit** - [s]

Die benötigte Zeit des Probanden für eine Unterkieferkreisbewegung ausgehend vom Start der Bewegung bis zum Passieren des Endpunktes der aktuellen Kreisbewegung

- **Öffnungsweite 2D** - [mm]

Die maximale Öffnung während der Unterkieferkreisbewegung gemessen in der Zweidimensionalen

- **Öffnungsweite 3D** - [mm]

Die maximale Öffnung während der Unterkieferkreisbewegung gemessen in der Dreidimensionalen

- **Linkslaterale Auslenkung zum Inzisalpunkt** - [mm]

Die maximale Auslenkung der Unterkieferkreisbewegung nach links

- **Rechtslaterale Auslenkung zum Inzisalpunkt** - [mm]

Die maximale Auslenkung der Unterkieferkreisbewegung nach rechts

- **Geschwindigkeit** - [m/s]

Die durchschnittliche Geschwindigkeit, die bei der Unterkieferkreisbewegung ausgehend vom Start der Bewegung bis zum Passieren des Endpunktes erreicht wird

4.11 Statistische Methoden

Die aus der Auswertungssoftware (JawReports) exportierten Bewegungsdaten wurden in einem Excel-Dokument tabellarisch zusammengefasst. Anschließend wurden die Daten in die Statistiksoftware SPSS (Version 22) importiert und ausgewertet. Zunächst wurde mit einer Datenpflege begonnen. Diese beinhaltete die Kodierungen, Datenbereinigungen und notwendigen Transformationen der erhobenen Variablen. Alle Variablen wurden nach metrischen und nicht metrischen Daten sortiert und einem jeweiligen Messniveau zugeteilt. Diese Zuteilung unterscheidet sich in nominal-, ordinal- und intervallskalierte Variablen.

Die kategorialen Analyseparameter wurden wie folgt kodiert:

Geschlecht: 1= männlich, 2= weiblich

Alter: Altersgruppe 1= 20 – 29, 2= 30 – 39, 3= 40 – 49, 4= 50 – 60 Jahre;
Altersgruppe 1= 0 – 39 bzw. 2= 40 – 60 Jahre

Helkimo-Index: Dysfunktionsgruppe 0= D0, 1= D1, 2= D2, 3 – 5= D3; auf Grund der großen Unterschiede in den Gruppengrößen wurden die Helkimo-Klassen D1, D2 und D3 zusammengefasst. Diese Werte wurden lediglich zum Vergleich angegeben.

Symptom-Gruppen: Die Symptom-Gruppe E nach Helkimo konnte in der vorliegenden Arbeit auf Grund der großen Gruppenunterschiede nicht berücksichtigt werden. Die Symptom-Gruppen A – D wurden jeweils mit Score 0, 1 und 5 kodiert.

Hugoson-Index: 1= 0 – 19, 2= 20 – 39, 3=40 – 59, 4= 60 – 79, 5= 80 – 100;
auf Grund der großen Gruppenunterschiede wurden zwei Gruppen nach dem Hugoson-Index gebildet: 1= 0 – 19, 2= 20 – 100

Kauseitenpräferenz: 1= nein, 2= ja links, 3= ja rechts, 8= weiß nicht

Knirschen/Pressen: 0= nein, 1= ja

Im weiteren Verlauf der statistischen Auswertung wurden die Häufigkeiten der nicht kategorialen Analyseparameter bestimmt. Zur Ermittlung der Norm- und Grenzbereiche bzw. -werte, wurden die metrischen Variablen durch den Mittelwert, die Standardabweichung, das Minimum und Maximum tabellarisch dargestellt. Im Anschluss wurde die Normalverteilung der metrischen Daten sowohl rechnerisch als auch visuell geprüft. Dazu wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet. Lag die asymptotische Signifikanz des p-Wertes unter 0,05 (5% Irrtumswahrscheinlichkeit), so wurde keine Normalverteilung angenommen. War der p-Wert größer als 0,05, so wurde eine Normalverteilung angenommen. Die visuelle Kontrolle auf Normalverteilung wurde mittels Histogrammen durchgeführt, Abb. 9. Nach der rechnerischen und visuellen Prüfung konnte von einer Normalverteilung der Variablen ausgegangen werden. Zur Darstellung der Norm- und Grenzbereiche wurde der Mittelwert mit Standardabweichung, das Minimum und das Maximum berechnet. Inwiefern sich die Werte bei den Männern im Vergleich zu den Frauen, in den Altersgruppen, zwischen den Helkimo- und Hugoson-Gruppen, bei Kauseitenpräferenz und Parafunktion, unterscheiden, wurde mit dem t-Test bei zwei unabhängigen Stichproben (Signifikanzniveau 0,05) untersucht. Der t-Test wurde ausgewählt, da eine Normalverteilung vorlag. Bevor der t-Test ausgewertet wurde, wurde der Levene-Test, zur Prüfung der Homogenität der Varianzen, durchgeführt. Lag der p-Wert im Levene-Test unter 0,05, wurde keine Homogenität der Varianzen angenommen, sondern im t-Test der p-Wert bei Varianzheterogenität angenommen. Bei Variablen mit mehr als zwei

Stichproben wurde die Varianzanalyse verwendet (ANOVA - analysis of variance). Anschließend erfolgte die deskriptive Statistik mittels Boxplots.

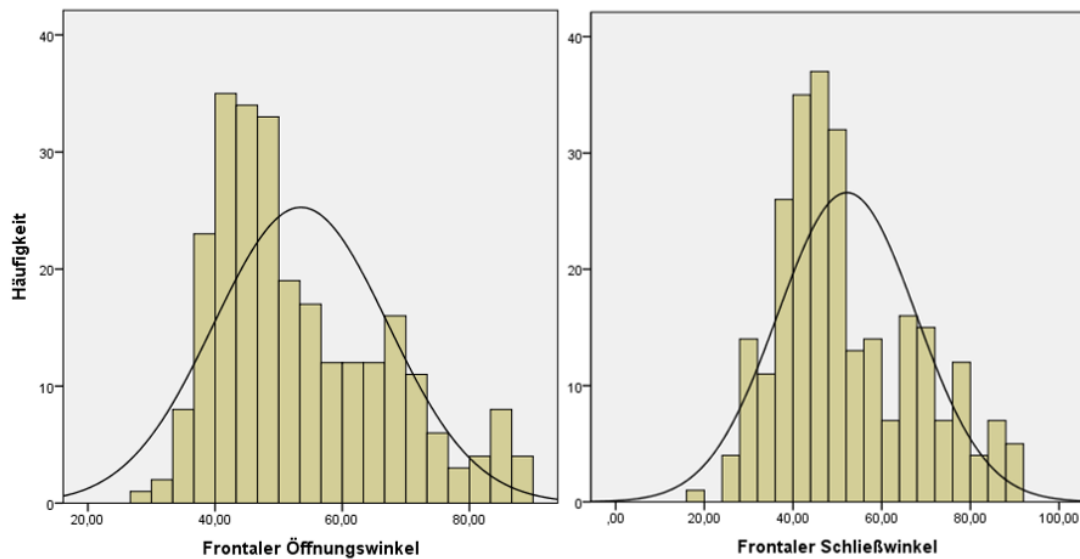


Abb. 9 Häufigkeitsverteilung des frontalen Öffnungs- und Schließwinkels

t-Test: Dieser Test kommt zu Anwendung, wenn die Mittelwerte von zwei unterschiedlichen Stichproben verglichen und die Unterschiede auf Signifikanz untersucht werden sollen. Dabei sollte die zu testende Variable normalverteilt sein. Um den Test zu interpretieren, muss zunächst der angegebene Levene-Test zur Prüfung der Homogenität der Varianzen überprüft werden. Falls der Levene-Test einen p-Wert von unter 0,05 ergibt, liegt keine Homogenität sondern eine Heterogenität der Varianzen vor. In diesem Fall wird der p-Wert bei bestehender Varianzheterogenität gewählt.

ANOVA: (analysis of variance) Bei der ANOVA wird untersucht, ob eine oder mehrere nicht metrische Variablen eine metrische Variable beeinflussen. Es wurde die einfaktorielle Varianzanalyse verwendet. Dem t-Test ist diese Methodik bei mehreren Faktorkombinationen vorzuziehen, damit die Fehlerwahrscheinlichkeit verringert wird. Um herauszufinden, wo genau signifikante Unterschiede liegen, muss ein sogenannter post-hoc-Test durchgeführt werden. In diesem Fall wurde der Bonferroni-Test verwendet. Mit der Anzahl der Hypothesen steigt die Wahrscheinlichkeit des Alphafehlers an. Nach Bonferroni wird p^* deswegen neu berechnet, indem p durch die Anzahl der Hypothesen geteilt wird.

5. Ergebnisse

5.1 Darstellung der Ergebnisse

Das vorliegende Probandenkollektiv wurde mit den vorhandenen Basisdaten charakterisiert. Die Tabelle 2 zeigt diese Basisdaten, unter deren Gesichtspunkten die Bewegungsfunktion analysiert wurde.

	Häufigkeiten	
	N	%
Gesamt	260	100
Geschlecht		
Männlich	108	41,5
Weiblich	152	58,5
Alter (Jahre)		
20 – 29	106	40,8
30 – 39	71	27,3
40 – 49	51	19,6
50 – 60	32	12,3
0 – 39	177	68,1
40 – 60	83	31,9
Helkimo		
D0	107	41,2
D1+2+3	153	58,8
Symptom-Gruppen		
Helkimo A Score 0	230	88,5
Score 1 + 5	30	11,5
Helkimo B Score 0	152	58,5
Score 1 + 5	108	41,5
Helkimo C Score 0	219	84,2
Score 1+ 5	41	15,8
Helkimo D Score 0	238	91,5
Score 1 + 5	22	8,5
Helkimo E Score 0	258	99,2
Score 1 + 5	2	0,8
Hugoson		
0 – 19	239	88,1
20 – 100	31	11,9
Kauseitenpräferenz		
Ja	94	36,4
Nein	166	63,6
Knirschen/Pressen		
Ja	15	5,8
Nein	245	94,2

Tabelle 2 Probandencharakterisierung

	N	Kreisradius [mm]			Kreisfehler [mm]			Frontaler Öffnungswinkel [Grad]		
		Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max
Gesamt	260	4	11,34 ± 2,72	18	0,41	1,44 ± 0,62	3,29	27,76	53,48 ± 13,68	89,43
Männer	108	5	11,52 ± 2,93	18	0,41	1,42 ± 0,60	3,29	27,76	53,81 ± 13,73	89,43
Frauen	152	4	11,22 ± 2,56	17	0,44	1,45 ± 0,64	3,14	32,85	53,26 ± 13,68	88,88
20 – 29 Jahre	106	4	11,10 ± 2,70	17	0,44	1,37 ± 0,67	3,29	35,23	53,41 ± 12,53	86,11
30 – 39 Jahre	71	5	11,32 ± 2,70	18	0,41	1,38 ± 0,50	3,28	31,64	54,03 ± 13,07	87,53
40 – 49 Jahre	51	6	11,44 ± 2,83	17	0,54	1,59 ± 0,59	3,08	27,76	54,13 ± 15,90	88,88
50 – 60 Jahre	32	8	12,04 ± 2,63	17	0,63	1,57 ± 0,74	3,14	32,85	51,49 ± 15,23	89,43
0 – 39 Jahre	177	4	11,19 ± 2,69	18	0,41	1,37 ± 0,60	3,29	31,64	53,66 ± 12,72	87,53
40 – 60 Jahre	83	6	11,67 ± 2,76	17	0,54	1,58 ± 0,65	3,14	27,76	53,12 ± 15,61	89,43
Helkimo D0	107	6	11,73 ± 2,82	18	0,44	1,49 ± 0,64	3,29	31,64	53,34 ± 13,66	89,43
Helkimo D1+2+3	153	4	11,07 ± 2,62	17	0,41	1,40 ± 0,61	3,28	27,76	53,59 ± 13,73	88,88
Helk.A Score 0	230	5	11,62 ± 2,64	18	0,44	1,46 ± 0,63	3,29	27,76	52,89 ± 13,49	89,43
Score 1+5	30	4	9,20 ± 2,36	14	0,41	1,27 ± 0,52	2,55	40,58	58,06 ± 14,45	86,11
Helk.B Score 0	152	4	11,32 ± 2,83	18	0,41	1,49 ± 0,64	3,29	31,64	54,12 ± 13,34	89,43
Score 1+5	108	5	11,38 ± 2,56	17	0,48	1,37 ± 0,59	3,28	27,76	52,59 ± 14,16	88,88
Helk.C Score 0	219	4	11,47 ± 2,73	18	0,41	1,43 ± 0,60	3,29	27,76	53,24 ± 13,84	89,43
Score 1+5	41	5	10,69 ± 2,59	15	0,55	1,51 ± 0,72	3,09	32,85	54,79 ± 12,86	87,53
Helk.D Score 0	238	4	11,36 ± 2,68	18	0,41	1,44 ± 0,63	3,29	27,76	53,59 ± 13,69	89,43
Score 1+5	22	5	11,18 ± 3,12	15	0,67	1,40 ± 0,52	2,65	32,85	52,42 ± 13,78	86,11
Hugoson 0 – 19	229	4	11,34 ± 2,72	18	0,44	1,44 ± 0,63	3,29	31,64	53,59 ± 13,28	89,43
Hugoson 20 – 100	31	5	11,34 ± 2,72	17	0,41	1,42 ± 0,62	2,86	27,76	52,73 ± 16,56	88,88
Kauseite Ja	94	4	11,62 ± 2,56	17	0,44	1,46 ± 0,66	3,28	32,85	* 51,10 ± 11,94	88,88
Kauseite Nein	166	5	11,19 ± 2,80	18	0,41	1,43 ± 0,60	3,29	27,76	* 54,84 ± 14,43	89,43
Knir./Pres. Ja	15	4	10,79 ± 3,19	14	0,57	1,16 ± 0,59	2,82	32,85	51,19 ± 12,74	79,56
Knir./Pres. Nein	245	5	11,38 ± 2,69	18	0,41	1,46 ± 0,62	3,29	27,76	53,63 ± 13,75	89,43

Fett markiert für p < 0,05 (t-Test für unverbundene Stichproben): Mittelwerte unterscheiden sich; * für Varianzgleichheit wird nicht angenommen wenn p < 0,05 (Levene-Test); # für ANVOVA post hoc verwendet; MW = Mittelwert, STABW = Standardabweichung

Tabelle 3 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, fortlaufend.

	N	Frontaler Schließwinkel [Grad]			Sagittaler Öffnungswinkel [Grad]			Sagittaler Schließwinkel [Grad]		
		Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max
Gesamt	260	18,09	52,16 ± 15,60	89,65	62,86	104,76 ± 17,17	144,5	56,85	104,03 ± 17,94	148,02
Männer	108	18,09	51,53 ± 16,07	89,38	62,86	103,45 ± 17,58	140,0	63,84	102,96 ± 16,80	137,94
Frauen	152	27,47	52,61 ± 15,30	89,65	63,74	105,70 ± 16,86	144,5	56,85	104,79 ± 18,72	148,02
20 – 29 Jahre	106	27,47	53,40 ± 13,94	88,67	64,08	102,46 ± 15,83	144,5	57,95	101,61 ± 16,74	143,23
30 – 39 Jahre	71	28,45	49,41 ± 14,19	89,38	74,06	106,97 ± 15,77	143,0	67,60	104,33 ± 17,13	148,88
40 – 49 Jahre	51	24,89	53,73 ± 18,63	89,65	62,86	105,96 ± 18,46	142,6	56,85	105,91 ± 19,12	140,88
50 – 60 Jahre	32	18,09	51,64 ± 18,27	89,04	63,74	105,60 ± 21,66	143,8	63,84	108,39 ± 21,00	145,24
0 – 39 Jahre	177	27,47	51,80 ± 14,14	89,38	64,08	104,27 ± 15,92	144,5	57,95	102,71 ± 16,90	148,02
40 – 60 Jahre	83	18,09	52,92 ± 18,41	89,65	62,86	105,82 ± 19,62	143,8	56,85	106,87 ± 19,78	145,24
Helkimo D0	107	18,09	50,54 ± 14,83	89,65	62,86	103,20 ± 17,24	142,6	63,84	102,95 ± 17,23	141,32
Helkimo D1+2+3	153	25,77	53,29 ± 16,07	89,04	63,74	105,86 ± 17,09	144,5	56,85	104,79 ± 18,43	148,02
Helk.A Score 0	230	18,09	51,00 ± 15,52	89,65	62,86	104,30 ± 17,29	144,5	56,85	103,83 ± 17,90	148,02
Score 1+5	30	37,75	61,04 ± 13,42	86,62	81,90	108,20 ± 16,00	141,0	67,60	105,61 ± 18,45	138,87
Helk.B Score 0	152	18,09	52,73 ± 15,69	89,65	62,86	103,91 ± 16,09	142,6	63,84	102,59 ± 16,68	141,32
Score 1+5	108	25,77	51,35 ± 15,50	89,04	63,74	105,97 ± 18,58	144,5	56,85	106,06 ± 19,47	148,02
Helk.C Score 0	219	18,09	51,78 ± 15,50	89,65	62,86	104,28 ± 17,09	144,5	56,85	104,04 ± 17,77	148,02
Score 1+5	41	31,57	54,18 ± 16,19	89,04	71,51	107,35 ± 17,57	143,8	73,34	104,03 ± 19,03	145,24
Helk.D Score 0	238	18,09	51,87 ± 15,31	89,65	62,86	104,74 ± 17,17	144,5	56,85	104,23 ± 17,96	148,02
Score 1+5	22	30,60	55,29 ± 18,58	87,09	77,82	105,02 ± 17,56	143,8	73,58	101,89 ± 17,90	145,24
Hugoson 0 – 19	229	18,09	52,11 ± 15,24	89,65	62,86	105,39 ± 16,65	144,5	56,85	103,97 ± 17,76	148,02
Hugoson 20 – 100	31	24,89	52,49 ± 18,33	89,04	63,74	100,17 ± 20,33	143,8	73,64	104,51 ± 19,47	145,24
Kauseite Ja	94	27,15	52,08 ± 15,12	89,65	64,08	102,86 ± 16,92	144,5	56,85	102,61 ± 17,99	145,24
Kauseite Nein	166	18,09	52,20 ± 15,91	89,38	62,86	105,84 ± 17,26	143,0	57,95	104,84 ± 17,91	148,02
Knir./Pres. Ja	15	31,57	51,81 ± 17,65	88,04	72,05	100,49 ± 20,60	143,8	84,62	102,24 ± 17,84	145,24
Knir./Pres. Nein	245	18,09	52,18 ± 15,51	89,65	62,86	105,02 ± 16,95	144,5	56,85	104,14 ± 17,97	148,02

Fett markiert für p < 0,05 (t-Test für unverbundene Stichproben): Mittelwerte unterscheiden sich; * für Varianzgleichheit wird nicht angenommen wenn p < 0,05 (Levene-Test); # für ANVOVA post hoc verwendet; MW = Mittelwert, STABW = Standardabweichung

Tabelle 4 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, Fortsetzung Tabelle 3.

	N	Zeit [s]			Öffnungsweite 2D [mm]			Öffnungsweite 3D [mm]		
		Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max
Gesamt	260	2,43	6,62 ± 2,88	22,98	11,68	28,89 ± 7,08	46,25	12,38	31,94 ± 8,40	51,58
Männer	108	2,43	6,31 ± 2,20	12,53	12,79	29,19 ± 7,62	46,25	13,95	31,67 ± 8,58	49,73
Frauen	152	2,71	6,83 ± 3,28	22,98	11,68	28,68 ± 6,68	44,99	12,38	32,13 ± 8,29	51,58
20 – 29 Jahre	106	2,43	6,58 ± 2,63	19,03	11,68	28,29 ± 7,01	44,42	12,38	31,22 ± 8,38	47,88
30 – 39 Jahre	71	2,90	6,88 ± 3,28	22,98	13,28	28,79 ± 7,32	16,06	13,95	31,83 ± 8,56	49,78
40 – 49 Jahre	51	2,71	6,26 ± 2,61	16,38	15,42	29,16 ± 6,80	40,65	17,33	32,36 ± 8,08	46,16
50 – 60 Jahre	32	3,25	6,73 ± 3,24	20,25	16,00	30,71 ± 7,21	46,25	16,69	33,88 ± 8,64	51,58
0 – 39 Jahre	177	2,43	6,70 ± 2,90	22,98	11,68	28,49 ± 7,12	46,06	12,38	31,46 ± 8,43	49,78
40 – 60 Jahre	83	2,71	6,44 ± 2,86	20,25	15,42	29,76 ± 6,96	46,25	16,69	32,94 ± 8,28	51,58
Helkimo D0	107	2,43	6,86 ± 3,12	22,98	11,68	29,88 ± 7,74	46,25	12,38	32,88 ± 8,97	51,58
Helkimo D1+2+3	153	2,71	6,45 ± 2,71	20,25	12,79	28,21 ± 6,52	46,06	13,95	31,28 ± 7,94	49,73
Helk.A Score 0	230	2,43	6,57 ± 2,89	22,98	11,68	29,55 ± 6,97	46,25	12,38	32,67 ± 8,25	51,58
Score 1+5	30	3,16	7,01 ± 2,84	15,63	12,79	23,86 ± 5,84	32,65	14,04	26,34 ± 7,51	41,08
Helk.B Score 0	152	2,43	6,80 ± 3,00	22,98	11,68	29,02 ± 7,60	46,25	12,38	32,02 ± 8,97	51,58
Score 1+5	108	2,71	6,36 ± 2,71	20,25	12,79	28,71 ± 6,30	46,06	14,77	31,83 ± 7,57	49,73
Helk.C Score 0	219	2,43	6,64 ± 2,89	22,98	11,68	29,02 ± 7,14	46,25	12,38	32,10 ± 8,39	51,58
Score 1+5	41	3,28	6,48 ± 2,87	20,25	12,79	28,19 ± 6,77	38,28	13,95	31,06 ± 8,49	46,44
Helk.D Score 0	238	2,43	6,62 ± 2,78	22,98	11,68	28,93 ± 7,04	46,25	12,38	31,98 ± 8,34	51,58
Score 1+5	22	2,71	6,60 ± 3,93	20,25	12,79	28,48 ± 7,61	38,28	14,90	31,48 ± 9,17	46,44
Hugoson 0 – 19	229	2,43	6,57 ± 2,77	22,98	11,68	29,01 ± 7,17	46,25	12,38	32,12 ± 8,54	51,58
Hugoson 20 – 100	31	3,29	6,96 ± 3,65	20,25	13,63	28,06 ± 6,39	39,02	14,47	30,57 ± 7,28	43,33
Kauseite Ja	94	2,71	6,66 ± 2,78	20,25	13,42	29,46 ± 6,59	46,06	14,23	32,94 ± 8,13	51,58
Kauseite Nein	166	2,43	6,59 ± 2,95	22,98	11,68	28,57 ± 7,34	46,25	12,38	31,37 ± 8,52	49,78
Knir./Pres. Ja	15	3,16	7,59 ± 4,06	20,25	13,06	27,00 ± 8,19	37,61	14,04	29,59 ± 9,92	44,40
Knir./Pres. Nein	245	2,43	6,56 ± 2,80	22,98	11,68	29,01 ± 7,01	46,25	12,38	32,08 ± 8,30	51,58

Fett markiert für p < 0,05 (t-Test für unverbundene Stichproben): Mittelwerte unterscheiden sich; * für Varianzgleichheit wird nicht angenommen wenn p < 0,05 (Levene-Test); # für ANVOVA post hoc verwendet; MW = Mittelwert, STABW = Standardabweichung

Tabelle 5 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, Fortsetzung Tabelle 3.

	N	Linkslaterale Auslenkung [mm]			Rechtilaterale Auslenkung [mm]			Geschwindigkeit [m/s]		
		Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max	Min	MW ± STABW	Max
Gesamt	260	0,33	10,55 ± 4,92	30,79	0,12	9,44 ± 4,36	21,40	12,8	50,48 ± 22,81	202,7
Männer	108	0,38	10,60 ± 5,24	30,79	0,12	9,86 ± 4,56	21,40	16,3	50,64 ± 23,76	170,3
Frauen	152	0,33	10,52 ± 4,69	26,99	0,38	9,14 ± 4,20	21,24	12,8	50,36 ± 22,20	202,7
20 – 29 Jahre	106	0,90	10,14 ± 3,92	22,54	0,89	9,47 ± 4,40	21,40	12,8	# 48,09 ± 20,37	126,3
30 – 39 Jahre	71	0,33	10,53 ± 4,73	24,03	0,93	9,57 ± 4,26	20,57	18,3	48,13 ± 19,82	131,9
40 – 49 Jahre	51	0,62	10,52 ± 5,29	23,64	0,72	9,60 ± 4,16	21,24	30,0	# 58,33 ± 31,93	202,7
50 – 60 Jahre	32	0,38	12,03 ± 7,18	30,79	0,12	8,81 ± 4,90	19,92	20,3	51,07 ± 16,65	99,0
0 – 39 Jahre	177	0,33	10,30 ± 4,25	24,03	0,89	9,51 ± 4,33	21,40	12,8	48,10 ± 20,10	131,9
40 – 60 Jahre	83	0,38	11,10 ± 6,09	30,79	0,12	9,30 ± 4,45	21,24	20,3	55,53 ± 27,19	202,7
Helkimo D0	107	1,40	11,32 ± 4,93	30,79	0,12	9,25 ± 3,66	20,57	17,3	50,50 ± 23,97	202,7
Helkimo D1+2+3	153	0,33	10,02 ± 4,85	24,03	0,38	9,57 ± 4,80	21,40	12,8	50,46 ± 22,05	170,3
Helk.A Score 0	230	0,38	10,94 ± 4,89	30,79	0,12	9,63 ± 4,36	21,40	17,3	51,47 ± 23,33	202,7
Score 1+5	30	0,33	7,63 ± 4,14	17,82	0,93	7,95 ± 4,15	20,55	12,8	42,82 ± 16,75	74,8
Helk.B Score 0	152	0,33	10,40 ± 5,10	30,79	0,12	9,21 ± 3,99	20,91	12,8	49,45 ± 22,61	202,7
Score 1+5	108	0,38	10,77 ± 4,66	22,78	0,38	9,76 ± 4,83	21,40	16,3	51,91 ± 23,13	170,3
Helk.C Score 0	219	0,38	10,74 ± 4,95	30,79	0,12	9,47 ± 4,34	21,40	12,8	51,56 ± 23,74	202,7
Score 1+5	41	0,33	9,56 ± 4,65	24,03	0,38	9,29 ± 4,51	20,91	16,3	44,70 ± 16,07	108,7
Helk.D Score 0	238	0,38	10,61 ± 4,88	30,79	0,12	9,42 ± 4,40	21,40	12,8	50,83 ± 23,30	202,7
Score 1+5	22	0,33	9,97 ± 5,33	20,82	2,68	9,62 ± 4,02	18,31	20,3	46,65 ± 16,53	83,6
Hugoson 0 – 19	229	0,33	10,52 ± 4,79	30,79	0,12	9,52 ± 4,40	21,40	12,8	50,31 ± 22,10	202,7
Hugoson 20 – 100	31	0,62	10,82 ± 5,84	21,73	0,38	8,87 ± 4,10	20,14	18,3	51,69 ± 27,92	170,3
Kauseite Ja	94	0,52	10,73 ± 4,37	20,40	0,38	9,36 ± 3,69	21,24	12,8	51,05 ± 24,11	202,7
Kauseite Nein	166	0,33	10,46 ± 5,21	30,79	0,12	9,33 ± 4,71	21,40	17,3	50,15 ± 22,11	170,3
Knir./Pres. Ja	15	3,03	11,34 ± 5,54	21,73	1,49	8,99 ± 4,16	18,31	12,8	45,00 ± 20,58	87,6
Knir./Pres. Nein	245	0,33	10,51 ± 4,88	30,79	0,12	9,47 ± 4,38	21,40	16,3	50,81 ± 22,94	202,7

Fett markiert für p < 0,05 (t-Test für unverbundene Stichproben): Mittelwerte unterscheiden sich; * für Varianzgleichheit wird nicht angenommen wenn p < 0,05 (Levene-Test); # für ANVOVA post hoc verwendet; MW = Mittelwert, STABW = Standardabweichung

Tabelle 6 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, Fortsetzung Tabelle 3.

In der Tabelle 3 wurden alle Norm- und Grenzwerte bzw. die Norm- und Grenzbereiche für die Variablen fortlaufend aufgeführt. Die Variablen in Reihenfolge sind der Kreisradius, der Kreisfehler, der frontale Öffnungswinkel, der frontale Schließwinkel, der sagittale Öffnungs- und Schließwinkel, die Zeit, die Öffnungsweite in 2D und in 3D, die linkslaterale und rechtslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit.

Im Folgenden sind die signifikant unterschiedlichen Mittelwerte der Helkimo-Symptom-Gruppe A, mit Hilfe des Boxplots, graphisch dargestellt worden.

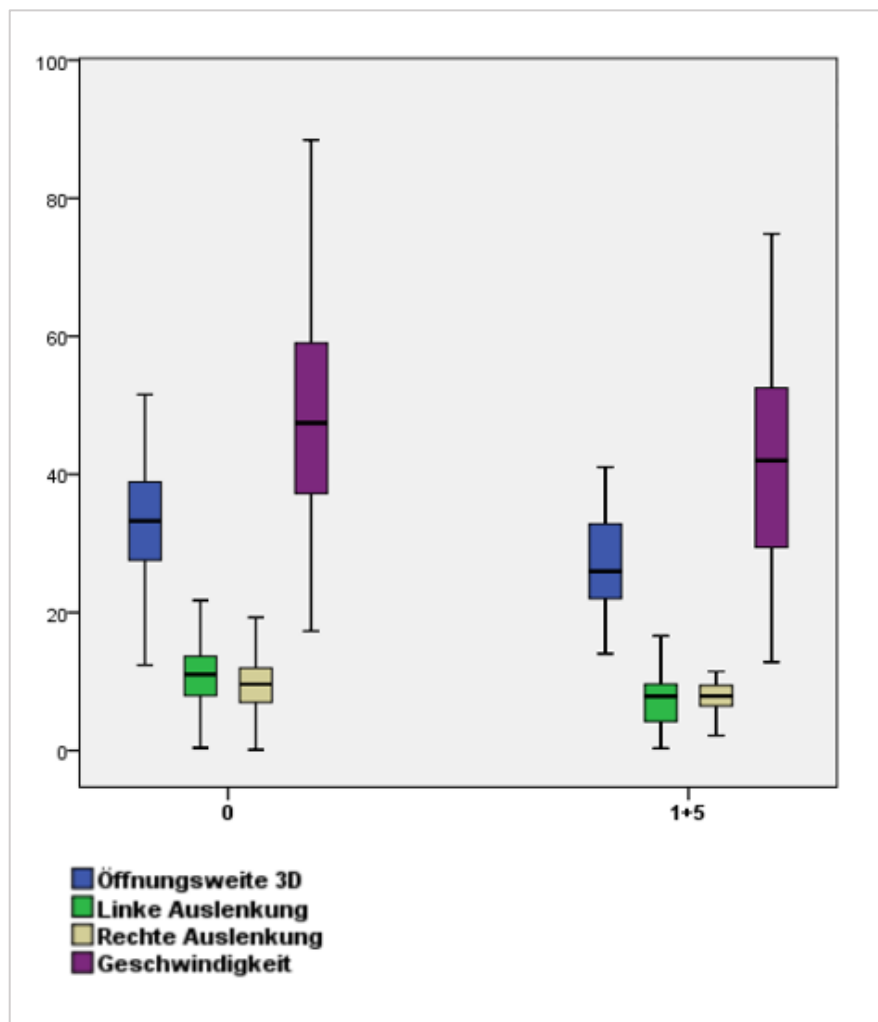


Abb. 10 Variablen in Abhängigkeit mit der Helkimo-Symptom-Gruppe A (mandibuläre Mobilität); 0 (symptomfrei), 1+5 (leichte bis schwere Ausprägung von Symptomen); Öffnungsweite 3D (blau), Linke (grün) und rechte (beige) Auslenkung, Geschwindigkeit (lila)

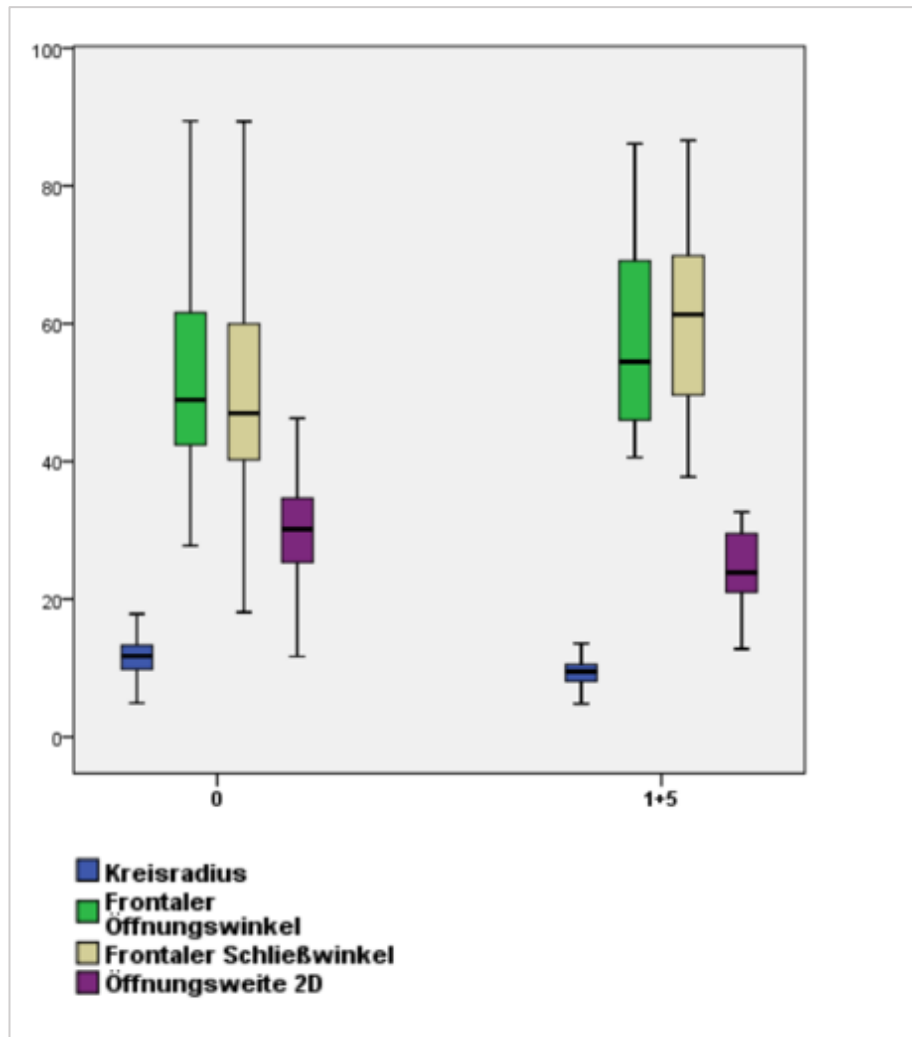


Abb. 11 Variablen in Abhängigkeit mit der Helkimo-Symptom-Gruppe A (mandibuläre Mobilität); 0 (symptomfrei), 1+5 (leichte bis schwere Ausprägung von Symptomen) Kreisradius (blau), Frontaler Öffnungs (grün)- und Schließwinkel (beige), Öffnungsweite 2D (lila)

5.2 Auswertung der Ergebnisse

In der Gruppe der Männer und Frauen konnten keine Signifikanzen gefunden werden. Es zeigten sich jedoch Tendenzen. Der Kreisradius, der frontale Öffnungswinkel, die Öffnungsweite in 2D, die links- und rechtslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit waren bei den Männern größer bzw. höher als bei den Frauen. Hingegen sind der Kreisfehler, der frontale Schließwinkel, der sagittale Öffnungs- und Schließwinkel, die Zeit und die Öffnungsweite in 3D bei den Frauen größer als bei den Männern. Bei den Altersklassen war die Geschwindigkeit in der Gruppe 40 – 49 Jahre

mit $p < 0.05$ signifikant höher, als in der Gruppe 20 – 29 Jahre. Die weiteren Variablen vergrößerten sich alle, jedoch nicht signifikant, mit zunehmendem Alter. Ein ähnliches Ergebnis stellte sich auch zwischen den beiden Altersgruppen 0 – 39 und 40 – 60 dar. Dabei unterschieden sich der Kreisfehler und die Geschwindigkeit signifikant ($p < 0,05$). Beide Variablen vergrößerten sich mit zunehmendem Alter. Nicht signifikant vergrößerte sich der Kreisradius, der frontale Schließwinkel, der sagittale Öffnungs- und Schließwinkel, die Öffnungsweite in 2D und in 3D, die linkslaterale Auslenkung. Weiterhin nicht signifikant verkleinerten sich der frontale Öffnungswinkel, die Zeit und die rechtslaterale Auslenkung mit zunehmendem Alter. Zwischen den beiden Helkimo-Gruppen D0 (symptomfrei) und D1 – 3 (leichte bis schwere Dysfunktion) zeigten sich der Kreisradius und die linkslaterale Auslenkung als signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich. Beide Variablen verringerten sich bei den Probandengruppen mit den Anzeichen einer Dysfunktion. In der Symptom-Gruppe A nach Helkimo (mandibuläre Mobilität) zeigten sich die meisten signifikanten Unterschiede. Zwischen dem Score 0 (symptomfrei) und dem Score 1 – 5 (leichte bis schwere Symptome) waren der Kreisradius, der frontale Öffnungs- und Schließwinkel, die Öffnungsweite in 2D und in 3D, die links- und rechtslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich. Mit den Anzeichen einer Symptomatik verringerte sich signifikant der Kreisradius, die Öffnungsweite in 2D und 3D, die links- und rechtslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit. Der frontale Öffnungs- und Schließwinkel hingegen wurde signifikant größer. Dieses ist auch graphisch im Boxplot, Abb. 10 und Abb. 11, dargestellt. In den anderen Symptom-Gruppen B – D (B= Kiefergelenksfunktion, C= Muskelschmerzen, D= Kiefergelenksschmerzen) konnten wiederum Tendenzen, jedoch keine Signifikanzen festgestellt werden. In der Helkimo-Gruppe B (Kiefergelenksfunktion) waren der Kreisradius, der sagittale Öffnungs- und Schließwinkel, die links- und rechtslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit vergrößert. Der Kreisfehler, der frontale Öffnungs- und Schließwinkel, die Zeit, die Öffnungsweite in 2D und 3D verkleinert. In der

Helkimo-Gruppe C (Muskelschmerz) verringerte sich der Kreisradius, der sagittale Schließwinkel, die Zeit, die Öffnungsweite in 2D und 3D, die links- und rechtslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit. Der Kreisfehler, der frontale Öffnungs- und Schließwinkel, der sagittale Öffnungswinkel vergrößerten sich mit den Anzeichen einer Symptomatik. In der Helkimo-Gruppe D (Kiefergelenksschmerzen) verkleinerte sich der Kreisradius, der Kreisfehler, der frontale Öffnungswinkel, der sagittale Schließwinkel, die Zeit, die Öffnungsweite in 2D und in 3D, die linkslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit. Der frontale Schließwinkel, der sagittale Schließwinkel und die rechtslaterale Auslenkung vergrößerten sich hingegen. Des Weiteren zeigten sich die Mittelwerte beim Hugoson-Index in Bezug zu den Bewegungsvariablen als nicht signifikant unterschiedlich. Der Kreisradius zeigte keine Veränderung zwischen den Hugosongruppen 0 – 19 und der Gruppe 20 – 100. Der Kreisfehler, der frontale und der sagittale Öffnungswinkel, die Öffnungsweite in 2D und in 3D und die rechtslaterale Auslenkung verkleinerten sich. Der frontale und sagittale Schließwinkel, die Zeit, die linkslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit wurden größer. Bei den Probanden ohne präferierte Kauseite verkleinerte sich im Vergleich zu den Probanden mit einer Kauseitenpräferenz der Kreisradius, der Kreisfehler, die Öffnungsweite in 2D und in 3D, die links- und rechtslaterale Auslenkung, die Geschwindigkeit und die Zeit verkürzte sich. Der frontale Öffnungs- und Schließwinkel und der sagittale Öffnungs- und Schließwinkel vergrößerten sich. Der frontale Öffnungswinkel unterschied sich dabei signifikant ($p < 0,05$). In der Probandengruppe mit einer Parafunktion (Knirschen/Pressen) verkleinerten sich alle Variablen im Vergleich zu den Probanden ohne Parafunktion, ausgenommen von der Zeit, die sich verlängerte und der linkslateralen Auslenkung, die sich vergrößerte. Die Mittelwerte unterschieden sich zwischen diesen beiden Gruppen nicht signifikant voneinander.

6. Diskussion

6.1 Diskussion der Methodik

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse einer Koordinationsübung zum Bewegungsverhalten des Unterkiefers. Die erforderlichen Daten wurden aus der Studie SHIP-0 (Basisstudie), in Zusammenhang mit dem zahnmedizinisch Assoziierten Projekt „Munderkrankungen und kranio-mandibuläre Dysfunktion“ und dem Teilprojekt D „Strukturveränderungen und Dysfunktionen des Kauorgans durch kurative Rekonstruktion der Kauflächen“, erhoben. Die Besonderheit der SHIP-Studie liegt in dem populationsbasierten Ansatz. Zur Durchführung der SHIP-Studie musste ein hoher Standardisierungsaufwand, um Messfehler möglichst gering zu halten, erbracht werden. Ein weiteres Gütekriterium ist dabei sowohl eine hohe interne Validität, um verwertbare Ergebnisse zu erhalten, als auch eine hohe externe Validität, um vergleichbar mit anderen Studien zu werden. Als Besonderheit der SHIP-Studie ist der populationsbasierte Ansatz zu nennen. Darüber hinaus konnten auf Grund der Zentralisierung der Meldeamtsdaten in Mecklenburg-Vorpommern die randomisierten Stichproben und auch eine Sammlung von Informationen zum Vitalstatus vorgenommen werden. [141] Die Verwendung von Daten aus der SHIP-Studie kommt somit der Forderung nach Studien, bei denen Bewegungsaufzeichnungen an einem großen bevölkerungsrepräsentativen Probandenkollektiv durchgeführt wurden sollten [113]. Für weitere große bevölkerungsrepräsentative Studien wäre es wünschenswert, wenn die bisherigen eher rigiden deutschen Datenschutzbestimmungen ein vollständiges und valides Follow-up zu ermöglichen. Weitehrhin vorstellbar wäre die Erstellung eines Registers, nach skandinavischem Vorbild, für ärztliche Behandlungen, das dann Bevölkerungsstudien zugänglich gemacht werden würden [99]. Die gesamte Befunderhebung und Aufzeichnung der kinematischen Bewegungsdaten wurde von insgesamt drei Behandlern durchgeführt. Diese wurden vor

Studienbeginn durch ein Protokoll kalibriert, wodurch eine hohe Standardisierung gewährleistet werden sollte. Mögliche Abweichungen bzw. Fehlerquellen in der Befunderhebung und Aufzeichnung der Bewegungsdaten der Probanden können durch eine Variabilität während den Untersuchungen zwischen den einzelnen Behandlern aufgetreten sein. Die Qualität der Befundung und der Untersuchungsdurchführung korrelieren stark mit der Erfahrung jedes einzelnen Behandlers und sollten in den Ergebnissen berücksichtigt werden [6]. Ein Weglassen der Behandlerkalibrierung bzw. ein willkürliches Platzieren der Referenzpunkte führt nachweislich zu ungültigen Messwerten [92, 123]. Für die Aufzeichnung der kinematischen Bewegungsdaten des Unterkiefers wurde bei allen Probanden der Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny) verwendet. Der ultraschallbasierte JMA wurde für die kinematische Bewegungsaufzeichnung als valide und reliabel beschrieben [8, 36]. Als Referenzpunkt für die Aufzeichnung der Unterkieferkreisbewegung wurde der Inzisalpunkt gewählt. Analysiert man die Bewegungsabläufe des Unterkiefers hinsichtlich der Koordination, wie es in der vorliegenden Arbeit geschah, so kann mit einem inzisalen Bezug die Bewegungsform untersucht werden [39]. Für die Analyse von Bewegungsformen bzw. -mustern, gilt der Inzisalpunkt bislang als Standardreferenzpunkt [103]. Werden Bewegungsaufzeichnungen isoliert am Inzisalpunkt untersucht, so sollten die Ergebnisse als ergänzende Befunde und in Korrelation zu den klinischen Befunden bzw. Bewegungsaufzeichnungen an weiteren Referenzpunkten gesehen werden. Dem Inzisalpunkt als isoliert betrachteter Referenzpunkt kann bislang keine diagnostisch relevante Validität und Reliabilität zugesagt werden [41]. Dennoch wird die Aussagekraft des Inzisalpunktes als allgemein gültig angesehen. Nach Gibbs et al. ähneln die inzisalen Aufzeichnungen denen der posterioren Zähne [28, 41, 103]. Eventuelle Fehlerquellen bei der Anwendung des Jaw-Motion-Analyser könnten durch eine Lockerung des paraokklusalen Attachments bzw. durch die Verschiebung des Oberkiefersensors am Kopf entstanden sein. Außerdem könnte eine fehlerhaft begonnene Übung, z.B. aus einer leichten

Mundöffnung anstatt aus dem maximalen Schlussbiss heraus, aufgetreten sein. Um diesem Fehler entgegenzuwirken wurde in der Auswertungssoftware der höchste Punkt der aufgezeichneten Bewegungen als Startpunkt gewählt und nicht der Nullpunkt im Koordinatensystem. Die gewonnenen Daten wurden mittels der zum Jaw-Motion-Analyser zugehörigen Software WinJaw dargestellt. Anschließend erfolgte ein ASCII-Export als txt-Dateien und ein Import in Auswertungssoftware JawReports. Die analysierten Daten wurden erneut als Report exportiert und in einer Excel-Tabelle zusammengefasst und gespeichert. Die erstellten Tabellen wurden in das Statistikprogramm SPSS importiert. Bei der Datenüberführung kann es zu Übertragungsfehlern gekommen sein und sollte berücksichtigt werden. Im Vergleich zu anderen populationsrepräsentativen Studien sollten hinsichtlich der Interpretation der Ergebnisse die eventuell differenzierten Untersuchungs- bzw. Screeningmethoden beachtet werden. Einzelne Untersuchungen zeigten, dass eine manuelle Funktionsuntersuchung fehlerbehaftet, hinsichtlich der Aussagekraft über eine eventuelle Dysfunktion, sein kann. Beispielhaft wäre die Durchführung der Palpation von Muskelgruppen, z.B. zwecks der Erhebung von Indizes, zu nennen. In Studien konnte gezeigt werden, dass bestimmte Muskelgruppen sich nicht palpieren lassen, wie der hintere Bauch des M. digastricus und der untere Anteil des M. pterygoideus lateralis per introraler Palpation. [132, 134] Der in der vorliegenden Arbeit angewendete Helkimo-Index dient zur Klassifikation einer Dysfunktion und wird überwiegend im europäischen Raum verwendet. Der Helkimo-Index wird in der Literatur durchaus kritisch betrachtet, da die verwendeten Parameter zur Ermittlung des sogenannten Summenscores ohne Zusammenhang hinsichtlich Ätiologie und Pathogenese stehen. Die Symptome verschiedener Gewebe werden in eine Dysfunktionsklasse zusammengefasst, so dass schlussendlich keine Abgrenzung von Muskel- und Gelenkerkrankungen möglich ist. [71] Andere Studien sehen die Symptome, die für den Helkimo-Index abgefragt bzw. untersucht werden, als zu unspezifisch an und stellen seine interne und externe Validität in Frage

[29, 133]. Ein weiterer Kritikpunkt in der Literatur ist die Festlegung der Schwellenwerte, der Symptom-Gruppen und Gewichtungspunkte in den einzelnen Indexgruppen. Diese müssten besser begründet werden, da die Einteilung einen willkürlichen Charakter hat [5, 133]. Aktuell findet im Wesentlichen das seit 1992 existierende und international anerkannte Diagnostik- und Klassifikationsschema RDC/TMD (Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorder) Anwendung [20]. Dieses Klassifikationsschema basiert auf dem bio-psycho-sozialen Modell. Dabei wird eine Achse I (physische Untersuchung) und eine Achse II (psychosoziale Faktoren) unterschieden [19, 77]. Speziell die Sensitivität des Untersuchungsschemas musste verbessert werden, da diese weniger als 70% betrug. Daher erhielt der RDC/TMD-Standard im Jahr 2014 ein Update, wobei sich die Begrifflichkeit in den neuen DC/TMD-Standard änderte. [7, 116]

6.2 Diskussion der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden zunächst die Norm- und Grenzwerte bzw. -bereiche zur Analyse einer Koordinationsübung zum Bewegungsverhalten des Unterkiefers ermittelt. Dazu wurden jeweils das Maximum, das Minimum, der Mittelwert und die Standardabweichung der jeweiligen Variablen definiert. Mit Hilfe der festgelegten Norm- und Grenzwerte kann ein individuell gemessener Wert vom Behandler in ein Normkollektiv eingeordnet und verglichen werden. Daraus ergibt sich eine Beurteilung, ob sich dieser Wert in einem Normbereich oder außerhalb dieses Normbereiches bewegt. In einem Behandlungsverlauf können somit therapeutische Erfolge mit objektiven Messdaten belegt werden [63]. Grundvoraussetzung für diese Beurteilung ist die Standardisierung der Datenerhebung. Ohne eine Standardisierung lassen sich die Messwerte nur annähernd miteinander vergleichen [63]. Eine Zusammenstellung von Kriterien einer Standardisierung wurde bereits experten- und konsensbasierend zusammengetragen und veröffentlicht [39]. Die

Bewegungsfunktion des Unterkiefers wurde dabei in mehrere Betrachtungsebenen unterteilt und ihnen wurden Parameter für eine quantitativ metrische und qualitativ kategoriale Analyse zugeordnet. Weiterhin werden Vorschläge für ein Untersuchungsprotokoll gegeben [39]. Ahlers et al. griff die bestehenden Kriterien auf und erweitert diese in einem Protokoll für ein strukturiertes Vorgehen zwecks einer standardisierten Auswertung computergestützter Aufzeichnungen kondylärer Bewegungen [3]. Die Kreisbewegung des Unterkiefers stellt eine, in der bisherigen Literatur nicht untersuchte, Analyse- bzw. Trainingsübung dar. Zusätzlich zu der Bestimmung der Norm- und Grenzwerte bzw. -bereiche, wurden die metrischen Bewegungsvariablen in verschiedenen Gruppen analysiert. In der Gruppe der Männer und der Frauen konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Dies lässt sich durch eine ähnliche bzw. gleiche Anatomie des Unterkiefers erklären. Vergleicht man die gefundenen Tendenzen zwischen Männern und Frauen in der Kreisbewegung, mit den geschlechtsspezifischen Unterschieden beim Kauen aus anderen Studien, so können hier Parallelen gefunden werden. In unterschiedlichen Studien wurde gezeigt, dass bei Frauen die Kaubewegungen kleiner und die Dauer eines Kauzykluses länger als bei Männern ist [11, 88, 90]. Die Kreisbewegungen bei den Männern waren ebenfalls tendenziell größer, kreisförmiger und schneller absolviert, als bei den Frauen. Betrachtet man die Unterschiede in den Altersklassen, so zeigte sich die Geschwindigkeit als signifikant höher in der Altersklasse 40 – 50 Jahre im Vergleich zu der Klasse der 20 – 30 Jahre. Alle anderen Variablen nahmen ebenfalls im Alter zu, jedoch nicht signifikant. In den Altersgruppen 0 – 39 und 40 – 60 zeigte sich ein ähnliches Ergebnis. Die meisten Variablen vergrößerten sich auch hier, jedoch nur der Kreisfehler und die Geschwindigkeit waren signifikant, in der Gruppe 40 – 60, vergrößert. Vergleicht man die vorliegenden Ergebnisse mit Studien, die die Kaufähigkeit untersucht haben, so wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und einer Verschlechterung der Kaufähigkeit festgestellt. Das Alter geht mit einer Verschlechterung der okklusalen Kontakte und der Kaukraft, die meist mit einer Hyposalivation

vergesellschaftet sind, einher [46]. Weiterhin konnte eine Minderung der Geschwindigkeit und der Kauzyklus- und Öffnungsdauer gezeigt werden [52, 102]. Szentpétery et al. fand mit steigendem Alter auch eine steigende Immobilität des Unterkiefers und steigende Symptome einer Dysfunktion [128]. Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede der Ergebnisse zu vorhandenen Studien der Kaufunktion könnten die Unterschiede der Übungen sein. Eine Übung wie die Unterkieferkreisbewegung verlangt ein hohes Maß an koordinativen Fähigkeiten. Im Wesentlichen scheint jedoch ihr Ablauf frei von physiologischen Parametern zu sein, die die neuromuskuläre Adaption im Alter deutlich verschlechtern. So ist in der Literatur durch eine Minderung der physiologischen Parameter eine Verschlechterung der Mastikation dokumentiert. Ein weiteres Argument für die Ergebnisse in der vorliegenden Untersuchung ist, dass überwiegend junge Probanden untersucht wurden. Diese heterogene Verteilung ist auf das Studiendesign der SHIP-Studie zurückzuführen. Es wurden keine Probanden untersucht, die älter als 60 Jahre alt waren. Die Untersuchungen, die in der Literatur zu finden sind, beschreiben eine drastische Verschlechterung der Mastikation erst ab einem Alter von 60 Jahren [91, 138]. Im Zusammenhang mit dem Helkimo-Index zeigten sich die meisten signifikanten Unterschiede. In der Probandengruppe, die Symptome einer Dysfunktion zeigten (D1 – 3), verringerte sich der Kreisradius und die linkslaterale Auslenkung signifikant. Ebenso verringerte sich, jedoch nicht signifikant der Kreisfehler, die Zeit, die Öffnungsweite in 2D und 3D und die Geschwindigkeit. Der frontale Öffnungs- und Schließwinkel, der sagittale Öffnungs- und Schließwinkel und die rechtslaterale Auslenkung vergrößerten sich ebenso nicht signifikant. Innerhalb der einzelnen Helkimo-Gruppen (A – D) zeigten sich die meisten Signifikanzen in der Gruppe A (mandibuläre Mobilität) zwischen symptomfreien Probanden (Score 0) und Probanden mit leichten bis schweren Symptomen (Score 1 und 5). Mit zunehmender Immobilität des Unterkiefers konnte eine Verkleinerung des Kreisradius, der Öffnungsweite in 2D und in 3D, der links- und rechtslateralen Auslenkung, Geschwindigkeit und eine Vergrößerung

des frontalen Öffnungs- und Schließwinkel, festgestellt werden. Der Kreisfehler verkleinerte sich ebenso, jedoch nicht signifikant. Der frontale Öffnungs- und Schließwinkel hingegen zeigte eine signifikante Vergrößerung. Eine tendenzielle Vergrößerung war auch beim sagittalen Öffnungs- und Schließwinkel und bei der Verlängerung der Zeit zu finden. Mehrere Autoren konnten nachweisen, dass die Symptomatik einer Dysfunktion auch Auswirkungen auf die Unterkieferbewegung bzw. -kaubewegung hat. Kuwahara et al. konnte eine verringerte Geschwindigkeit und eingeschränkte Beweglichkeit bei Probanden mit bilateraler Dysfunktion im Vergleich zu Probanden mit unilateraler Dysfunktion und gesunden Probanden finden [69, 70]. Radke et al. zeigte, dass Probanden mit Dysfunktion langsamere, kleinere und variabelere Kaumuster aufwiesen als die Kontrollgruppe der gesunden Probanden. [106] Wenige Autoren fanden, hinsichtlich der Mobilität, keinen Unterschied zwischen funktionsgesunden und funktionserkrankten Probanden. [127] Bei der Betrachtung des Hugoson-Index im Zusammenhang mit den gemessenen Bewegungsvariablen, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Festzuhalten ist, dass Abrasionen in der vorliegenden Arbeit einen veränderten Einfluss auf die Bewegungsvariablen hatten, dies führte jedoch nicht zu einer signifikanten Verschlechterung der Koordinationsfähigkeit der Probanden. Weiterhin konnte in der vorliegenden Arbeit kein signifikanter Unterschied zwischen den Probanden, die angegeben haben zu knirschen bzw. zu pressen und denen, die es verneinten, gefunden werden. Die Tendenz, die sich zeigte, deutet darauf hin, dass sich die Bewegungsparameter verringerten, also die Koordinationsfähigkeit sich verschlechterte, sofern ein Knirschen oder Pressen vorlag. Bei der Interpretation dieses Ergebnisses ist jedoch die sehr ungleiche Probandenverteilung zu beachten. Die Mehrzahl der Probanden gab an, weder zu knirschen noch zu pressen. In der Literatur existieren viele Quellen, die einen Zusammenhang zwischen der Abrasion bzw. dem Bruxismus und myofaszialen Schmerzen bzw. einer Temporomandibulären Dysfunktion sehen [38, 75, 140]. Konträr dazu findet man eine Vielzahl von

Quellen, die keinen eindeutigen Zusammenhang sehen [37, 51, 101]. Allgemein ist dabei das Studiendesign kritisch zu betrachten. Bei den meisten Studien handelt es sich dabei um Querschnittsstudien. Diesbezüglich lagen die Risikofaktoren für die Ausbildung einer Dysfunktion bereits vor der eigentlichen Erkrankung vor und können keine gesicherte Aussage über die zeitlichen Zusammenhänge geben [110]. In der Probandengruppe, die eine Kauseitenpräferenz angaben, verschlechterte sich die Koordinationsfähigkeit gegenüber der Probandengruppen, die keine Kauseite präferierten. Als signifikant vergrößert zeigte sich der frontale Öffnungswinkel. Die weiteren Variablen spiegelten nur eine Tendenz wieder, daher ist daraus keine allgemeingültige Schlussfolgerung zu ziehen. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen einer präferierten Kauseite, also dem unilateralen Kauen, und einer Verschlechterung der Koordinationsfähigkeit muss weiterhin geprüft werden. Ein unilaterales Kauen wird in der Literatur von vielen Autoren im Zusammenhang mit einer Craniomandibulären Dysfunktion gesehen [1, 16, 84, 109, 129]. Ein bilaterales Kauen zeigt eine höhere Kauleistung als das unilaterale Kauen, das zudem mit einer Verschlechterung der Mastikation einhergeht [24].

7. Schlussfolgerung

Die Koordination bzw. die Koordinationsfähigkeit wurden in der vorliegenden Arbeit speziell betrachtet. Sie stellt neben der Bewegungskapazität, der okklusalen Stabilität und der gelenkbezogenen Zentrierung einen wesentlichen Aspekt für die Charakterisierung der Unterkieferbewegungsfunktion dar [113]. Die Digitalisierung in der Zahnmedizin ermöglicht es heutzutage die Befunde aus der klassischen Funktionsanalyse mit Messdaten einer instrumentellen Funktions- und Bewegungsanalyse zu ergänzen. Durch die instrumentelle Erfassung der Unterkieferbewegung kann der Funktionszustand sowohl qualitativ als auch quantitativ wiedergegeben werden [39]. Dies ermöglicht weiterhin analoge und virtuelle Artikulatoren mit patientenindividuellen Daten zu programmieren, aber auch, um Anhaltspunkte zur diagnostischen Beurteilung des Bewegungsverhaltens zu erlangen [60, 63, 66]. Um valide Messdaten zu ermitteln bedarf es einer Standardisierung in der Befundung und in der Aufzeichnung der Bewegungsdaten [39, 63]. Die Erfassung der Bewegungsdaten erfolgt sowohl im inzisalen als auch im kondylären Bereich [60]. Auch die Koordination kann mit einem inzisalen und kondylären Bezug erfasst werden. Wird der Inzisalpunkt als Betrachtungspunkt gewählt, so wurde bisher nur die Bewegungsform als Analyseparameter definiert. Die metrischen und kategorialen Analyseparameter wurden mit einem kondylären Bezug definiert [39]. Durch die vorliegende Arbeit wurden weitere Analyseparameter in Bezug auf die Koordination definiert, die es ermöglichen sollen, auch am Inzisalpunkt metrische Daten zu erheben. Die Übung, die in der vorliegenden Arbeit analysiert wurde, war die Unterkieferkreisbewegung. Diese Bewegung wurde bisher in der Literatur nicht untersucht und ist sehr gut geeignet, um speziell die Koordinationsfähigkeit zu ermitteln. Die Durchführung dieser Übung verlangt ein hohes Maß an Koordinationsfähigkeit und eignet sich daher gut für die Analyse der selbigen. Mit der Definition von Norm- und Grenzwerten bzw. Norm- und Grenzbereichen, in Bezug auf bevölkerungsrepräsentative

Daten, ergibt sich die Möglichkeit für den Behandler einen individuell gemessenen Wert zu einem Mittelwert und einer Standardabweichung einzuordnen. Eine sich daraus ableitende Funktionsbeeinträchtigung kann im weiteren Therapieverlauf gezielt mit professioneller Physiotherapie und Heimübungen verbessert werden. Um eine Therapienotwendigkeit bzw. einen Therapieerfolg mit objektiven Messdaten zu dokumentieren oder einen klinischen Befund zu untermauern, ist es sinnvoll die instrumentelle Funktionsanalyse vor, während und im Anschluss an eine Therapie durchzuführen. Dieses Vorgehen bietet sich bei Patienten an, die selbst wenig bis keine Verbesserung durch die Therapie verspüren [63]. In der Analyse der Unterkieferkreisbewegung konnte ein Zusammenhang zwischen den Symptomen einer Dysfunktion und der Koordinationsfähigkeit gefunden werden. Die Probanden, die nach dem klinischen Befund Symptome einer Dysfunktion aufwiesen, zeigten eine signifikante Abnahme des Kreisradius und der linkslateralen Auslenkung. Deutlicher war das Ergebnis bei den Probanden, die klinisch nach der Helkimo-Gruppe A eine Immobilität des Unterkiefers aufwiesen. Hier verkleinerten sich signifikant der Kreisradius, die Öffnungsweite in zweidimensionaler und dreidimensionaler Betrachtung, die links- und rechtslaterale Ausdehnung und die Geschwindigkeit. Der Kreisfehler, als Indiz für die Qualität der Kreisform, verkleinerte sich ebenso, jedoch nicht signifikant. Daraus schlussfolgernd stellt die Kreisbewegung eine geeignete Übung für die Ermittlung der Koordinationsfähigkeit dar. Weiterhin können metrische Variablen zur Objektivierung des klinischen Befundes herangezogen werden. Die Betrachtungen des Inzisalpunktes und der Koordination stellen jeweils nur einen Teil der Gesamtanalyse dar. Sie sollten nie isoliert betrachtet werden, sondern immer im Gesamtkontext von klinischen Befunden und anderen Bezugsebenen, um aussagekräftige Diagnosen zu stellen [8, 57, 108]. Die Kreisbewegung stellt eine praktikable, weil einfache Übung, mit einer guten Aussagekraft, dar. Die Ausgabe der ermittelten Messwerte könnte in Form eines Reports erfolgen und für die Dokumentation und Kommunikation mit dem Patienten dienen. Ein nicht

koordinationsfähiger Patient kann dann gezielt mit Koordinationsübungen physiotherapeutisch, unter professioneller Anleitung und in Heimübung, therapiert werden. Die Verlaufskontrollen können dann mit Hilfe der instrumentellen Bewegungsaufzeichnung dokumentiert werden. Das Ziel muss es sein, den funktionsgestörten Patienten sicher zu einem Krankheitsbild zuzuordnen und zu therapieren. Auf Grund des multifaktoriellen Geschehens einer Funktionsstörung muss sowohl der Patient, als auch die Einflussfaktoren in ihrer Gesamtheit, erkannt und therapiert werden. Ein ähnlicher Standard wie in der Rehabilitationsmedizin und Orthopädie, bei der Rehabilitationsmaßnahmen messtechnisch kontrolliert werden, wäre auch in der Zahnmedizin vorstellbar. Die elektronischen Registriersysteme werden zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen, nicht nur in der CAD/CAM-, sondern auch in der DVT-Technologie. [50, 66] Sie stellen eine wichtige Komponente in der Diagnostik, Planung und Therapie dar. Sie können dabei helfen, das Kausystem zu analysieren und zu optimieren. Um die heutigen messtechnischen Verfahren weiter zu verbessern, bedarf es in Zukunft einer Weiterentwicklung, beispielsweise des „virtuellen Artikulators“, deren Integration in den digitalen Workflow und die Minimierung konventioneller Komponenten [66].

8. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sollte eine Koordinationsübung zum Bewegungsverhalten des Unterkiefers untersucht werden. Die Koordination stellt, neben der Bewegungskapazität und der okklusalen Stabilität bzw. der gelenkbezogenen Zentrierung, ein Charakteristikum der Mobilität des Unterkiefers dar. Die für die Analyse notwendigen Daten wurden aus der bevölkerungsrepräsentativen SHIP-Studie (Study of Health in Pomerania), speziell aus der Basisstudie SHIP-0 im Zusammenhang mit dem zahnmedizinisch Assoziierten Projekt (Teilprojekt D), erhoben. Insgesamt wurden 279 Probanden untersucht, ein vollständiger Datensatz lag bei 264 Probanden vor. Die für die Untersuchung zugelassenen Probanden durften keinen herausnehmbaren Zahnersatz und keinen Stützzonenverlust aufweisen. Die Bewegungsdaten wurden mit dem ultraschallbasierten Messsystem Jaw-Motion-Analyser (Fa. Zebris Medical, D-Isny) dreidimensional aufgezeichnet. Nach einem standardisierten Untersuchungsprotokoll wurden die Probanden gebeten, einen vorgegebenen Kreis mit dem Unterkiefersensor koordiniert und kreisförmig nachzuzeichnen. Die Übung unterlag keinen Vorgaben hinsichtlich der Startrichtung, Zyklenanzahl oder der Geschwindigkeit. Zusätzlich zu den erhobenen Bewegungsdaten wurden in der Basisstudie mittels Befundbögen weitere Parameter wie der Hugoson-Index, der Helkimo-Index, das Geschlecht, das Alter, ob eine präferierte Kauseite vorlag oder ob die Probanden eine Parafunktion (Knirschen oder Pressen) aufwiesen, erhoben. Die Messdaten wurden zunächst aus der systemeigenen Software, WinJaw, exportiert und in eine Auswertungssoftware, JawReports, importiert. Mit Hilfe von JawReports konnten an den dargestellten Bewegungsbahnen Messpunkte festgelegt werden. Für die Analyse einer Kreisbewegung wurden zuvor Variablen definiert. Die mittels JawReports gemessenen metrischen Variablen wurden in eine Form einer Excel-Tabelle gespeichert und in das Statistikprogramm SPSS importiert und anschließend statistisch ausgewertet. In der Probandengruppe der über (40 – 60) und

unter Vierzigjährigen (0 – 39) unterschieden sich der Kreisfehler (Abweichung vom Idealkreis) und die Geschwindigkeit signifikant. Beide Variablen vergrößerten sich mit zunehmendem Alter. Zwischen der Helkimo-Gruppe D0 (symptomfrei) und der Gruppe D1 – 3 (leichte bis schwere Symptome) waren der Kreisradius und die linkslaterale Auslenkung signifikant kleiner mit der Symptomatik einer Dysfunktion. Zwischen den Probanden der Helkimo-Gruppe A (mandibuläre Mobilität), die symptomfrei (Score 0) waren und leichte bis schwere Symptome (Score 1 - 5) aufwiesen, wurden die meisten signifikanten Unterschiede gefunden. Mit den Anzeichen einer Symptomatik verringerte sich signifikant der Kreisradius, die Öffnungsweite in 2D und in 3D, die links- und rechtslaterale Auslenkung und die Geschwindigkeit. Der frontale Öffnungs- und Schließwinkel hingegen wurde signifikant größer. Bei den Probanden, die angegeben haben, eine Kauseite zu präferieren, vergrößerte sich der frontale Öffnungswinkel signifikant. Der Einfluss von einem Knirschen und Pressen ergab keine Signifikanzen zwischen den Probandengruppen. Die Ergebnisse lassen schlussfolgern, dass die Kreisbewegung eine geeignete Übung zur Analyse der Koordination des Unterkiefers darstellt. Die Ergebnisse sollten im Zusammenhang mit weiteren Befunden der Funktionsanalyse gesehen werden.

9. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Registrierung des Infraorbitalpunktes rechts mit dem Zeigesensor

- 29 -

Abb. 2 Registrierung des Inzisalpunktes mit dem Zeigesensor

- 29 -

Abb. 3 Registrierung der arbiträren Kondylenposition mit dem Zeigesensor

- 30 -

Abb. 4 Auswertung der Bewegungsdaten: Bewegungsmuster der x-,y-,z-Richtung (rot, grün, blau); Öffnungs- und Schließbewegung (hellgrün, hellrot)

- 31 -

Abb. 5 Darstellung der Betrachtungsebenen in Frontal-, Sagittal- und Transversalansicht; Öffnungsbewegung (grün), Schließbewegung (rot)

- 32 -

Abb. 6 Darstellung der Geschwindigkeiten während der Kreisbewegungen in der Frontal-, Sagittal und Transversalebene; Schnittebene (rot)

- 32 -

Abb. 7 Darstellung einer Kreisbewegung; Öffnungswinkel grün, Schließwinkel rot; Schnittebene blau, konstruierter Kreis schwarz; in der Frontalebene

- 33 -

Abb. 8 Darstellung der angewiesenen Kreisbewegung in der Frontalebene, mit inzisalem Bezug; Schnittebene blau; Halbgerade der Öffnungsbewegung (grün) und Schließbewegung (rot); konstruierter Kreis (schwarz)

- 35 -

Abb. 9 Häufigkeitsverteilung des frontalen Öffnungs- und Schließwinkels

- 39 -

Abb. 10 Variablen in Abhängigkeit mit der Helkimo-Symptom-Gruppe A (mandibuläre Mobilität); 0 (symptomfrei), 1+5 (leichte bis schwere Ausprägung von Symptomen); Öffnungsweite 3D (blau), Linke (grün) und rechte (beige) Auslenkung, Geschwindigkeit (lila)

- 45 -

Abb. 11 Variablen in Abhängigkeit mit der Helkimo-Symptom-Gruppe A (mandibuläre Mobilität); 0 (symptomfrei), 1+5 (leichte bis schwere Ausprägung von Symptomen) Kreisradius (blau), Frontaler Öffnungs- und Schließwinkel (beige), Öffnungsweite 2D (lila)

- 46 -

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Helkimo-Index nach Vorlage [9].....- 26 -

Tabelle 2 Probandencharakterisierung- 40 -

Tabelle 3 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, fortlaufend.....- 41 -

Tabelle 4 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, Fortsetzung Tabelle 3.- 42 -

Tabelle 5 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, Fortsetzung Tabelle 3.- 43 -

Tabelle 6 Die Norm- und Grenzwerte der Variablen, Fortsetzung Tabelle 3.- 44 -

11. Literaturverzeichnis

1. Agerberg G., Carlsson G.E. (1975) Symptoms of functional disturbances of the masticatory system. A comparison of frequencies in a population sample and in a group of patients. *Acta Odontologica Scandinavica* 33(4):183–190
2. Agerberg G., Osterberg T. (1974) Maximal mandibular movements and symptoms of mandibular dysfunction in 70-year old men and women. *Svensk tandläkare tidskrift. Swedish dental journal* 67(3):147–163
3. Ahlers M.O., Bernhardt O., Jakstat H.A. et al. (2015) Motions analysis of the mandible: guidelines for standardized analysis of computer-assisted recording of condylar movements. *International journal of computerized dentistry* 18(3):201–223
4. Ahlers M.O., Freesmeyer W. B., Göz G. et al. (2003) Klinische Funktionsdiagnostik. Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (FDT) in der DGZMK
5. Ahlers M.O., Jakstat H.A. (2011) Klinische Funktionsanalyse. Manuelle Strukturanalyse, interdisziplinäre Diagnostik, 4. erweiterte und aktualisierte Aufl. DentaConcept, Hamburg
6. Becker C.M., Kaiser D.A., Schwalm C. (2000) Mandibular centricity. Centric relation. *The Journal of prosthetic dentistry* 83(2):158–160
7. Bernhardt O., Schiffman E.L., Look J.O. (2007) Reliability and validity of a new fingertip-shaped pressure algometer for assessing pressure pain thresholds in the temporomandibular joint and masticatory muscles. *Journal of orofacial pain* 21(1):29–38
8. Best N. (2010) Untersuchungen zur Reliabilität und Validität der dreidimensionalen Kiefergelenkfunktionsanalysemittels Zebris WinJaw-System. Zahnmed. Diss., Universität Jena
9. Bock J.J., Maurer P., Fuhrmann R.A.W. (2007) The Importance of Temporomandibular Function for Patient Satisfaction following Orthognathic Surgery. *J Orofac Orthop* 68(4):299–307
10. Bumann A., Lotzmann U. (1999) Band 12: Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien: Zus.-Arb.: Axel Bumann, Ulrich Lotzmann. Thieme

-
11. Buschang P.H., Hayasaki H., Throckmorton G.S. (2000) Quantification of human chewing-cycle kinematics. *Archives of oral biology* 45(6):461–474
 12. Clark G.T. (1983) Examining temporomandibular disorder patients for cranio-cervical dysfunction. *The Journal of cranio-mandibular practice* 2(1):55–63
 13. Clayton J.A., Kotowicz W.E., Zahler J.M. (1971) Pantographic tracings of mandibular movements and occlusion. *The Journal of prosthetic dentistry* 25(4):389–396
 14. Cottingham J.T., Maitland J. (1997) A three-paradigm treatment model using soft tissue mobilization and guided movement-awareness techniques for a patient with chronic low back pain. A case study. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 26(3):155–167
 15. Cunningham E.T., Sawchenko P.E. (2000) Dorsal medullary pathways subserving oromotor reflexes in the rat. Implications for the central neural control of swallowing. *J. Comp. Neurol.* 417(4):448–466
 16. Diernberger S. (2007) Zur Lateralität der Kaufunktion -Untersuchungen zum Einfluss sozialer, funktionell, dysfunktioneller und okklusaler Faktoren sowie zum Einfluss der prothetischen Versorgung anhand der Daten der bevölkerungsrepräsentativen Basisstudie SHIP-0. Zahnmed. Diss., Universität Greifswald
 17. Dijkstra P.U., Kropmans T.J., Stegenga B. et al. (1998) Ratio between vertical and horizontal mandibular range of motion. *J Oral Rehabil* 25(5):353–357
 18. Duale Reihe (2010) Anatomie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
 19. Dworkin S.F., LeResche L. (1992) Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders. Review, criteria, examinations and specifications, critique. *Journal of craniomandibular disorders : facial & oral pain* 6(4):301–355
 20. Dworkin S.F., LeResche L. (1992) Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. *Journal of craniomandibular disorders : facial & oral pain* 6(4):301–355

-
21. Ekfeldt A., Hugoson A., Bergendal T. et al. (2009) An individual tooth wear index and an analysis of factors correlated to incisal and occlusal wear in an adult Swedish population. *Acta Odontologica Scandinavica* 48(5):343–349
 22. Ellerbrock H. (2009) Vergleich von Führungswinkeln rein zahngeführter Grenzbewegungen mit Führungswinkeln des freien Kauens mit Hilfe des JMA-Systems. Zahnmed. Diss., Universität Düsseldorf
 23. Fanghanel J., Kubein-Meesenburg D., Nagerl H. (1991) Control cycles of mandibular movements as a "slow-reflex" model (Steuerzyklen der Mandibulabewegungen als "slow-reflex" -Muster). *Deutsche Stomatologie* (Berlin, Germany : 1990) 41(7):246–248
 24. Farias Gomes S.G., Custodio W., Moura Jufer J.S., Del Bel Cury A.A., Rodrigues Garcia R.C. (2010) Correlation of Mastication and Masticatory Movements and Effect of Chewing Side Preference. *Brazilian Dental Journal* 21(4):351–355
 25. Forschungsverbund Community Medicine: SHIP.
<http://www2.medizin.uni-greifswald.de/cm/fv/ship/>
 26. Freesmeyer W.B. (1993) Zahnärztliche Funktionstherapie. Hanser, München
 27. Freesmeyer W. B., Luckenbach A. (1987) Kiefergelenksdiagnostik und Therapie mit computergestützten Registrierverfahren. *Zahnärztl. Mitt.* 77(692-703)
 28. Gibbs C.H., Messerman T., Reswick J.B. et al. (1971) Functional movements of the mandible. *The Journal of prosthetic dentistry* 26(6):604–620
 29. Greene C.S., Marbach J.J. (1982) Epidemiologic studies of mandibular dysfunction. A critical review. *The Journal of prosthetic dentistry* 48(2):184–190
 30. Gysi A. (1908) Beiträge zum Artikulatorproblem. Berlin, Hirschwald
 31. Hahnel S., Behr M., Handel G. (2010) Klinische Basisdiagnostik und -therapie von craniomandibulären Dysfunktionen. *ZWR* 119(07/08):358–363
 32. Haunfelder D., Horch H.-H. (1989) *Praxis der Zahnheilkunde*, 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München [u.a.]

-
33. Helkimo M. (1974) Studies on function and dysfunction of the masticatory system. *Acta Odontol Scand* 32(4):255–267
 34. Hellmann D., Giannakopoulos N.N., Blaser R. et al. (2011) Long-term training effects on masticatory muscles. *Journal of oral rehabilitation* 38(12):912–920
 35. Hellmann D., Schindler H.J. (2014) Der Stellenwert der Achsiographie in der oralen Rehabilitationsmedizin. *wissen kompakt* 8(3):27–36
 36. Hellmann D., Schindler H.J. (2014) Der Stellenwert der Achsiographie in der oralen Rehabilitationsmedizin. *wissen kompakt* 8(3):27–36
 37. Hirsch C., John M.T., Lobbezoo F. et al. (2004) Incisal Tooth Wear and Self-Reported TMD Pain in Children and Adolescents. *International Journal of Prosthodontics* 17(2):205–210
 38. Huang G.J., LeResche L., Critchlow C.W. et al. (2002) Risk Factors for Diagnostic Subgroups of Painful Temporomandibular Disorders (TMD). *Journal of dental research* 81(4):284–288
 39. Hugger A., Hugger S., Ahlers M.O. et al. (2013) Movement function of the mandible: A concept for structuring criteria for analysis and for standardizing computer-assisted recordings. Expert statement for developing Diagnostic Criteria for Dysfunction. *Zeitschrift für Krianiomandibuläre Funktion* 1(5):41–53
 40. Hugger A., Sona T., Kordaß B. et al. (1999) Analyse der Kondylenposition im sagittalen Kernspinttomogramm. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 54(6):380–383
 41. Hugger A., Türp J.C., Kerschbaum T. (2006) *Curriculum Orale Physiologie*. Quintessenz Bibliothek. Quintessenz, Berlin
 42. Hugger A.W. (2000) Gelenknahe elektronische Erfassung der Unterkieferfunktion und ihre Umsetzung in den Artikulator. *Klinisch-experimentelle Untersuchungen an Probanden und Patienten. Habilitationsschriften der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*. Quintessenz-Verlag, Berlin
 43. Hugoson A., Bergendal T., Ekfeldt A. et al. (2009) Prevalence and severity of incisal and occlusal tooth wear in an adult Swedish population. *Acta Odontologica Scandinavica* 46(5):255–265

-
44. Hugoson A., Ekfeldt A., Koch G. et al. (2009) Incisal and occlusal tooth wear in children and adolescents in a Swedish population. *Acta Odontologica Scandinavica* 54(4):263–270
 45. Hupfauf L. (1989) Funktionsstörungen des Kauorgans. Form und Funktion im stomatognathen System, 2. Aufl. Praxis der Zahnheilkunde, Bd 8. Urban & Schwarzenberg, München
 46. Ikebe K., Matsuda K., Morii K. et al. (2006) Association of masticatory performance with age, posterior occlusal contacts, occlusal force, and salivary flow in older adults. *The International journal of prosthodontics* 19(5):475–481
 47. Ingervall B. (1971) Variation of the range of movement of the mandible in relation to facial morphology in young adults. *Scandinavian journal of dental research* 79(2):133–140
 48. Jähnig A., Kubein D. (1984) Über das gekoppelte Öffnungs- und Schließknacken des Kiefergelenkes (reziprokes Knacken). *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 39:242–249
 49. Jähnig A., Kubein D., Stachniss V. (1980) Okklusion und Kiefergelenkdysfunktion. Vergleichende pantographische Untersuchung am Patienten mit paraokklusalen Löffeln. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 35:635–638
 50. John D., Ruge S., Kordaß B. (2011) Analysis of jaw movements and muscle activity during mastication with JawReports Software. *International journal of computerized dentistry* 14(3):227–231
 51. John M.T., Frank H., Lobbezoo F. et al. (2002) No association between incisal tooth wear and temporomandibular disorders. *Journal of Prosthetic Dentistry* 87(2):197–203
 52. Karlsson S., Carlsson G.E. (1990) Characteristics of Mandibular Masticatory Movement in Young and Elderly Dentate Subjects. *Journal of dental research* 69(2):473–476
 53. Kiehn O., Butt S.J.B. (2003) Physiological, anatomical and genetic identification of CPG neurons in the developing mammalian spinal cord. *Progress in Neurobiology* 70(4):347–361
 54. Klett R. (1982) Projektionsfehler bei der Winkelmessung mit Scharnierachsschreibern. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 37:482–486

-
55. Klett R. (2007) Die elektronische Kiefergelenkregistrierung. Neue Wege und Denkansätze in der instrumentellen Funktionsdiagnostik. ZMK 6/07(23):298–305
56. Kluge G. (1989) Methodisch bedingte Fehler bei der Aufzeichnung von Kiefergelenksbewegungen mit Hilfe des Stereognathographen. Zahnmed. Diss., Universität München
57. Kobs G., Didziulyte A., Kirlys R. et al. (2007) Reliability of ARCUSdigma (KaVo) in diagnosing temporomandibular joint pathology. Stomatologija / issued by public institution "Odontologijos studija" ... [et al.] 9(2):47–55
58. Koeck B., Engelhardt J.P., Haunfelder D. et al. (1995) Praxis der Zahnheilkunde, 3. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München [u.a.]
59. Kordaß B. Benutzerhandbuch Asspro Teilprojekt D. Strukturveränderungen und Dysfunktion des Kauorgans durch kurative Rekonstruktion der Kauflächen
60. Kordaß B. (2002) Computer-assisted instrumental functional diagnostics--state of development, possibilities, and limits. International journal of computerized dentistry 5(4):249–269
61. Kordaß B. (2006) Analysis of the variability of occlusal function patterns in masticatory movement--use of the GEMAS software. International journal of computerized dentistry 9(2):143–152
62. Kordaß B., Bernhardt O., Hugger A. (2012) Correlation between computer-assisted measurements of mandibular opening and closing movements and clinical symptoms of temporomandibular dysfunction. International journal of computerized dentistry 15(2):93–107
63. Kordaß B., Bernhardt O., Ratzmann A. et al. (2014) Standard and limit values of mandibular condylar and incisal movement capacity. International journal of computerized dentistry 17(1):9–20
64. Kordaß B., Lucas C., Huetzen D. et al. (2007) Functional magnetic resonance imaging of brain activity during chewing and occlusion by natural teeth and occlusal splints. Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger 189(4):371–376
65. Kordaß B., Ruge S. (2015) On the analysis of condylar path versus real motion of the temporomandibular joint: application for Sicat Function. International journal of computerized dentistry 18(3):225–235

-
66. Kordaß B., S.Ruge, A.Ratzmann, A.Hugger (2013) Current Technologies for Functional Diagnostics and Cad/Cam. *International journal of computerized dentistry* 16(2):163–171
 67. Korfage J.A.M., Koolstra J.H., Langenbach G.E.J. et al. (2005) Fiber-type composition of the human jaw muscles(part 2) role of hybrid fibers and factors responsible for inter-individual variation. *Journal of dental research* 84(9):784–793
 68. Kubein D., Stachniss V., Krüger W. (1979) Zur Frage der physiologischen Kondylenposition. *Zahnärztl. Welt* 88:422–429
 69. Kuwahara T., Bessette R.W., Maruyama T. (1995) Chewing pattern analysis in TMD patients with and without internal derangement: Part I. *Cranio* 13(1):8–14
 70. Kuwahara T., Bessette R.W., Maruyama T. (1995) Chewing pattern analysis in TMD patients with and without internal derangement: Part II. *Cranio* 13(2):93–98
 71. L.Th. van der Weele, J.M.H. Dibbets (1987) Helkimo's index: a scale or just a set of symptoms? *Journal of oral rehabilitation* 14(3):229–237
 72. Lange M. (2017) Dr. Hans- Henning Ohlrogge (1939-2000). Ein Pioneer unseres Fachgebiets. *Journal of craniomandibular Function* 9(2):17–20
 73. Leiggenger C.S., Jochum H., Türp J.C. (2016) Kraniomandibuläre Dysfunktionen. *MKG-Chirurg* 9(3):150–154
 74. Lewit K., Simons D.G. (1984) Myofascial pain. Relief by post-isometric relaxation. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 65(8):452–456
 75. Lobbezoo F., Lavigne G.J. (11) Do Bruxism and Temporomandibular Disorders Have a Cause-and-Effect Relationship? *Journal of orofacial pain* 1997(1):15–23
 76. Lotze M., Lucas C., Domin M. et al. (2012) The cerebral representation of temporomandibular joint occlusion and its alternation by occlusal splints. *Human Brain Mapping* 33(12):2984–2993
 77. Manfredini D., Guarda-Nardini L., Winocur E. et al. (2011) Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders. A systematic review of axis I epidemiologic findings. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 112(4):453–462

-
78. Mao J., Stein R.B., Osborn J.W. (1992) The size and distribution of fiber types in jaw muscles: a review. *Journal of craniomandibular disorders : facial & oral pain* 6(3):192–201
 79. McMillan A.S., Hannam A.G. (1991) Motor-unit territory in the human masseter muscle. *Archives of oral biology* 36(6):435–441
 80. Meyer G. (1986) Entwicklung und Anwendung eines elektronischen Verfahrens zur dreidimensionalen scharnierachspunktbezüglichen Registrierung von Unterkieferbewegungen für die Funktionsdiagnostik des stomatognathen Systems. *Med. Habil.-Schr. Göttingen*
 81. Meyer G., Dal Ri H. (1985) Dreidimensionale elektronische Messung der Bewegung des Kondylus über die Scharnierachse des Unterkiefers. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 40:881
 82. Michelotti A., De Wijer A., Steenks M. et al. (2005) Home-exercise regimes for the management of non-specific temporomandibular disorders. *J Oral Rehabil* 32(11):779–785
 83. Minor M.A., Hewett J.E., Webel R.R. et al. (1989) Efficacy of physical conditioning exercise in patients with rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *Arthritis and rheumatism* 32(11):1396–1405
 84. Miyake R., Ohkubo R., Takehara J. et al. (2004) Oral parafunctions and association with symptoms of temporomandibular disorders in Japanese university students. *Journal of oral rehabilitation* 31(6):518–523
 85. Mohl N.D., Zarb G.A., Carlsson G.E. et al. (1990) *Lehrbuch der Okklusion*. Quintessenz-Verlag, Berlin
 86. Morquette P., Lavoie R., Fhima M.-D. et al. (2012) Generation of the masticatory central pattern and its modulation by sensory feedback. *Progress in Neurobiology* 96(3):340–355
 87. N. Hanßen, S. Ruge, B. Kordaß (2014) SICAT Function: Anatomical Real-Dynamic Articulation by Merging Cone Beam Computed Tomography and Jaw Motion Tracking Data. *International journal of computerized dentistry* 17(1):65–74
 88. Nagasawa T., Yanbin X., Tsuga K. et al. (1997) Sex difference of electromyogram of masticatory muscles and mandibular movement during chewing of food. *Journal of oral rehabilitation* 24(8):605–609

-
89. Nakamura Y., Katakura N. (1995) Generation of masticatory rhythm in the brainstem. *Neuroscience research* 23(1):1–19
 90. Neill D.J., Howell P.G. (1988) A study of mastication in dentate individuals. *The International journal of prosthodontics* 1(1):93–98
 91. Newton J.P., Abel E.W., Robertson E.M. et al. (1987) Changes in human masseter and medial pterygoid muscles with age. A study by computed tomography. *Gerodontics* 3(4):151–154
 92. Ogawa T., Ogimoto T., Koyano K. (2000) Validity of the examination method of occlusal contact pattern relating to mandibular position. *Journal of dentistry* 28(1):23–29
 93. Okeson J.P. (2013) *Management of temporomandibular disorders and occlusion*, 7th ed. Elsevier/Mosby, St. Louis, Mo.
 94. Ommerborn M.A., Taghavi J., Singh P. et al. (2011) Therapies most frequently used for the management of bruxism by a sample of German dentists. *The Journal of prosthetic dentistry* 105(3):194–202
 95. Onozuka M., Fujita M., Watanabe K. et al. (2002) Mapping brain region activity during chewing. A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of dental research* 81(11):743–746
 96. Osternig L.R., Robertson R., Troxel R. et al. (1987) Muscle activation during proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretching techniques. *American journal of physical medicine* 66(5):298–307
 97. Ottl P., Ahlers M.O., Lange M., Utz K.-H., Reiber T. (2011) *Klinischer Funktionsstatus der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD) in der DGZMK*.
http://www.dgzmk.de/uploads/media/Klinischer_Funktionsstatus.pdf
 98. Peck C.C., Wirianski A., Murray G.M. (2010) Jaw motor plasticity in health and disease. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering* 13(4):455–458
 99. Pedersen I.B., Laurberg P., Arnfred T. et al. (2002) Surveyance of disease frequency in a population by linkage to diagnostic laboratory databases. A system for monitoring the incidences of hyper- and hypothyroidism as part of the Danish iodine supplementation program. *Computer methods and programs in biomedicine* 67(3):209–216

-
100. Pedrotti L., Mora R., Bertani B. et al. (2007) Associazione tra disordini posturali e cranio-cervico-mandibolari in età evolutiva. *La Pediatria Medica e Chirurgica* 29(94-98)
 101. Pergamalian A., Rudy T.E., Zaki H.S. et al. (2003) The association between wear facets, bruxism, and severity of facial pain in patients with temporomandibular disorders. *Journal of Prosthetic Dentistry* 90(2):194–200
 102. Peyron M.A., Blanc O., Lund J.P. et al. (2004) Influence of age on adaptability of human mastication. *Journal of neurophysiology* 92(2):773–779
 103. Proeschel P.A. (2006) Chewing Patterns in Subjects with Normal Occlusion and With Malocclusions. *Seminars in Orthodontics* 12(2):138–149
 104. Pröschel P., Hofmann M. (1987) Zur Problematik der Interpretation von funktionellen Unterkieferbewegungen, Teil 1: Die Auswirkung multifaktorieller Einflüsse auf die Interpretierbarkeit von Kaubewegungsaufzeichnungen. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 42:697
 105. Pröschel P., Hofmann M., Ott R. (1985) Zur Orthofunktion des Kauorgans. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 40:186
 106. Radke J.C., Kull R.S., Sethi M.S. (2014) Chewing movements altered in the presence of temporomandibular joint internal derangements. *Cranio : the journal of craniomandibular practice* 32(3):187–192
 107. Ramfjord S., Ash M.M. (1992) Individuell optimale Okklusion. Quintessenz-Verlag
 108. Ratzmann A., Mundt T., Schwahn C. et al. (2007) Comparative clinical investigation of horizontal condylar inclination using the JMA electronic recording system and a protrusive wax record for setting articulators. *International journal of computerized dentistry* 10(3):265–284
 109. Reinhardt R., Tremel T., Wehrbein H. et al. (2006) The unilateral chewing phenomenon, occlusion, and TMD. *Cranio : the journal of craniomandibular practice* 24(3):166–170

-
110. Reißmann D., John M., Sierwald I. (2013) Die Rolle der Okklusion in der Ätiologie von kranio-mandibulären Dysfunktionen. ZWR 122(04):138–144
 111. Rocabado M., Johnston B.E., Blakney M.G. (2016) Physical Therapy and Dentistry. An Overview. The Journal of cranio-mandibular practice 1(1):46–49
 112. Ruge S., Kordaß B. (2015) Sicat Function mit dem JMT+ - System. Quintessenz Zantech 41(11):1396–1407
 113. S2k-Leitlinie (2015) Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse
 114. Sakaguchi K., Mehta N.R., Abdallah E.F. et al. (2007) Examination of the relationship between mandibular position and body posture. Cranio : the journal of craniomandibular practice 25(4):237–249
 115. Scheele R. (2015) Digitale Funktionsregistrierung des Unterkiefers mit dem K7-System. Quintessenz Zantech 11(41):2–12
 116. Schiffman E., Ohrbach R., Truelove E. 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(1):6–27
 117. Schindler H.J., Hugger A., Kordaß B. et al. (2014) Grundlage der Schienentherapie bei Myopathien des Kau-systems. Journal of craniomandubular Function 6(3):207–230
 118. Schmidseher J. (1982) Registrierung der Unterkieferbewegung. Quintessenz Bibliothek. Quintessenz, Berlin, Chicago
 119. Schmidt A., Hagin C. (2015) Okklusales Verteilungsmuster bei festsitzenden und herausnehmbaren prothetischen Versorgungen mit dem „Greifswald Digital Analyzing System“ GEDAS – Erste orientierende Auswertung von bevölkerungsrepräsentativen Daten im Rahmen der „Study of Health in Pomerania 1“. Zahnmed. Diss., Universität Greifswald

-
120. Schulte W. (1970) Zur funktionellen Behandlung der Myo-Arthropathien des Kauorganes: ein diagnostisches und physio-therapeutisches Programm (The functional treatment of the myoarthropathies of the masticatory apparatus: a diagnostic and physio-therapeutic program). Deutsche zahnärztliche Zeitschrift 25(3):422–436
 121. Schumacher G.H., Fanghänel J. (1984) Orofacial system as a biocybernetical model. Folia morphologica 43(2):65–72
 122. Schwenzer N., Ehrenfeld M., Reitemeier B. (2006) Einführung in die Zahnmedizin. Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde. Thieme, Stuttgart, New York
 123. Shah P., Razavi S., Bartlett D.W. (2009) The Prevalence of Cervical Tooth Wear in Patients with Bruxism and Other Causes of Wear. Journal of Prosthodontics 18(5):450–454
 124. Shinagawa H., Ono T., Honda E. et al. (2004) Chewing-side preference is involved in differential cortical activation patterns during tongue movements after bilateral gum-chewing. A functional magnetic resonance imaging study. Journal of dental research 83(10):762–766
 125. Spranger H. (2014) Differentialdiagnostik der Kieferschmerzen. Regulationsmedizinischer Befund und integrative Therapie. Bachelor + Master Publishing
 126. Stal P. (1994) Characterization of human oro-facial and masticatory muscles with respect to fibre types, myosins and capillaries. Morphological, enzyme-histochemical, immuno-histochemical and biochemical investigations. Swed Dent J Suppl 98:1–55
 127. Szentpétery A. (1993) Clinical utility of mandibular movement ranges. Journal of orofacial pain 7(2):163–168
 128. Szentpétery A., Fazekas A., Mari A. (1987) An epidemiologic study of mandibular dysfunction dependence on different variables. Community Dentistry and Oral Epidemiology 15(3):164–168
 129. Tay D.K. (1986) The role of closed-packed positions in the pathogenesis of temporomandibular joint internal derangements. Annals of the Academy of Medicine, Singapore 15(3):418–436

-
130. Tegelberg A., Kopp S. (1988) Short-term effect of physical training on temporomandibular joint disorder in individuals with rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis. *Acta Odontologica Scandinavica* 46(1):49–56
 131. Trott P.H., Goss A.N. (1978) Physiotherapy in diagnosis and treatment of the myofascial pain dysfunction syndrome. *International journal of oral surgery* 7(4):360–365
 132. Türp J.C., Arima T., Minagi S. (2005) Is the posterior belly of the digastric muscle palpable? A qualitative systematic review of the literature. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 18(5):318–322
 133. Türp J.C., McNamara J.A. Besteht ein zusammenhang zwischen kieferorthopädischer behandlung und myoarthropathien des kausystems? *J Orofac Orthop / Fortschr Kieferorthop* 58(3):136–143
 134. Türp J.C., Minagi S. (2001) Palpation of the lateral pterygoid region in TMD—where is the evidence? *Journal of dentistry* 29(7):475–483
 135. Umbach D., Jones K.N. (2003) A few methods for fitting circles to data. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 52(6):1881–1885
 136. Umphred D.A., Bürge E., Burton G.U. (2000) Neurologische Rehabilitation. Bewegungskontrolle und Bewegungslernen in Theorie und Praxis. Rehabilitation und Prävention, Bd 52. Springer, Berlin [u.a.]
 137. van Cranenburgh B. (2007) Neurorehabilitation. Neurophysiologische Grundlagen, Lernprozesse, Behandlungsprinzipien, 1. Aufl. Elsevier, Urban & Fischer, München [u.a.]
 138. van der Velden U. (1984) Effect of age on the periodontium. *Journal of clinical periodontology* 11(5):281–294
 139. van Eijden T.M.G.J., Turkawski S.J.J. (2001) Morphology and Physiology of Masticatory Muscle Motor Units. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine* 12(1):76–91
 140. Velly A.M., Philippe P., Gornitsky M. (2002) Heterogeneity of temporomandibular disorders. Cluster and case–control analyses. *Journal of oral rehabilitation* 29(10):969–979

141. Völzke H. (2012) Study of Health in Pomerania (SHIP). Bundesgesundheitsbl. 55(6-7):790–794
142. Weber R., Stachniss V. Ist das zentrische Wachsbissregistrat entbehrlich? Eine Methode zur pantografischen Bestimmung der zentralen Realtion für die Modellmontage. Deutsche zahnärztliche Zeitschrift 1982(37):900–903
143. Wegmann U. (2013) Wie viel Okklusion braucht der Mensch? Elektronische Registrierung – warum – was – womit. ZMK 29(7-8):452–461
144. Weßling F. Vergleichende klinische Untersuchung der elektronischen Registriersysteme GAMMA-CADIAX und JMA. Zahnmed. Diss., Universität Greifswald 2003
145. Zebris Einfach und präzise-das zebris Kieferregistriersystem - JMAAnalyser. Produktinformation JMA + System

12. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

13. Lebenslauf

Aus Datenschutzgründen ist der Lebenslauf in der öffentlichen Fassung nicht enthalten.

14. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt zunächst Herrn Prof. Kordaß für die Überlassung dieses interessanten Themas.

Sehr herzlich möchte ich mich bei Diana John und Dr. Sebastian Ruge für die stets tatkräftige Unterstützung und Motivation, während der Erstellung dieser Arbeit, bedanken.

Weiterhin richtet sich ein großes Dankeschön an Dr. Kolyschkow für die Hilfe bei der statistischen Auswertung und für die sehr gute Betreuung währenddessen.

Vielen lieben Dank an dieser Stelle auch an Vincent Huysmann und Sarah Leibinger für die genaue und auch kritische Unterstützung und die stetige Ermunterung bei der Bewältigung dieser Aufgabe.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern und meinem Großvater danken, die stets mit großer Beharrlichkeit und auch der manchmal nötigen Strenge, mir diesen Werdegang ermöglichten.