

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Überprüfung der Wirkung von Distractionsschienen mit dem elektronischen
Mandibular-Positionsindikator Zebris JMA

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Michael Betschel
aus Frankfurt am Main

Mainz, 2022

Wissenschaftlicher Vorstand: [Name entfernt]

1. Gutachter: [Name entfernt]

2. Gutachter: [Name entfernt]

Tag der Promotion: 06. Dezember 2022

Für meine Patienten.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
Tabellen- und Bildverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	8
2 Literaturdiskussion.....	10
2.1 Anatomie des Kraniomandibulären Systems.....	10
2.1.1 Kaumuskulatur.....	10
2.1.1.1 Musculus masseter.....	10
2.1.1.2 Musculus temporalis.....	11
2.1.1.3 Musculus pterygoideus lateralis.....	11
2.1.1.4 Musculus pterygoideus medialis.....	12
2.1.1.5 Hilfsmuskulatur.....	12
2.1.2 Kaukräfte.....	12
2.1.3 Kiefergelenk.....	13
2.2 Kraniomandibuläre Dysfunktion.....	16
2.2.1 Ätiologie der CMD.....	16
2.2.2 Prävalenz der CMD.....	17
2.2.3 Symptome und Komplikationen der CMD.....	17
2.2.4 Verstärkende Faktoren für eine CMD.....	17
2.2.5 Pharmakotherapie der CMD.....	17
2.3 Diskusverlagerung des Kiefergelenks.....	18
2.3.1 Symptomatik der Diskusverlagerung bei CMD.....	19
2.3.2 Diagnostik der CMD und der Diskusverlagerung.....	20
2.3.3 Prognose der Diskusverlagerung.....	21
2.3.4 Therapieverfahren der Diskusverlagerung.....	23
2.3.4.1 Schientherapie.....	23
2.3.4.2 Chirurgische Therapie.....	28
2.3.4.3 Medikamentöse Therapie.....	28
2.3.4.4 Manuelle Therapie und Verhaltenskontrolle.....	29
2.3.4.5 Definitive Okklusionsänderungen als Therapie.....	29
2.4 Zebris Jaw Motion Analyzer.....	29
2.5 Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing von Schienen.....	30
3 Material und Methoden.....	32
3.1 Material.....	32
3.2 Voruntersuchung.....	33
3.3 Herstellung der Distractionsschienen.....	37
3.4 Untersuchung.....	40
3.5 Statistische Auswertung.....	45
4 Ergebnisse.....	46
4.1 Allgemeine Betrachtung der Messergebnisse.....	46
4.2 Deskriptive Statistik der Messergebnisse des Zebris JMA.....	59
4.2.1 Mandibularpositionsänderungen ohne Distractionsschiene.....	59
4.2.2 Mandibularpositionsänderungen mit Distractionsschiene.....	61
4.3 Vergleich der Messergebnisse.....	65
5 Diskussion.....	74
5.1 Die Methode.....	74
5.2 Die Ergebnisse.....	82
6 Zusammenfassung.....	91
Literaturverzeichnis.....	92
Anhang.....	98
Danksagung.....	103
Tabellarischer Lebenslauf.....	104

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
CMD	Kraniomandibuläre Dysfunktion
CAD	Computer aided Design
CAM	Computer aided Manufacturing
DVT	Digitale Volumetomographie
EMG	Elektromyogramm
DGFDT	Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie
JMA	Jaw Motion Analyser
EPA	Kondylenpositionsbestimmung
MPA	Mandibula-Positions-Analyse
M.	Musculus
N.	Nervus
V.	Vena
MRT	Magnetresonanztomographie
ZKP	Zentrische Kondylenposition
RDC-TMD	Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorder
DC-TMD	Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorder
DDWR	Diskusverlagerung mit Reposition
DDWOR	Diskusverlagerung ohne Reposition
IL-1 β	Interleukin-1 Beta
PMMA	Polymethylmethacrylat
VAS	Visuelle Analogskala
Min.	Minimum
Max.	Maximum

Tabellen- und Bildverzeichnis

Bildverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des postulierten Wirkprinzips einer Distractionsschiene..	25
Abbildung 2: Ergebnisse der instrumentellen Funktionsanalyse mit dem Zebris Jaw Motion Analyser entnommen aus dem Programm WinJaw+ beim gesunden Patienten	35
Abbildung 3: Ergebnisse der instrumentellen Funktionsanalyse mit dem Zebris Jaw Motion Analyser entnommen aus dem Programm WinJaw+ beim Patienten mit Verdacht auf einseitige Diskusverlagerung	36
Abbildung 4: Artex-Artikulator mit Modellen und Schiene	37
Abbildung 5: Am Computer konstruierte Schiene vor der Fertigstellung durch die CAM-Einheit ..	38
Abbildung 6: Schienenkonstruktion in der Okklusalsicht. Die antagonistischen Kontakte sind farblich markiert.....	39
Abbildung 7: JMAlyser-Gesichtsbogen zur Veranschaulichung am Phantomkopf angebracht.....	41
Abbildung 8: Schematische Darstellung des Paraokklusalsplintes bei frontal nicht tiefem Biss im Vergleich zum frontalen Tiefbiss.	42
Abbildung 9: Beispiel einer Ausgabe der Messergebnisse einer EPA durch das Programm WinJaw+..	43
Abbildung 10: Beispiel einer Ausgabe der Messergebnisse einer EPA durch das Programm WinJaw+	44
Abbildung 11: Darstellung der drei Achsen, in denen die Messergebnisse des ZEBRIS JMA gemessen wurden.	46
Abbildung 12: Wolkendiagramm der rechten Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	47
Abbildung 13: Wolkendiagramm der rechten Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	48
Abbildung 14: Wolkendiagramm der linken Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	49
Abbildung 15: Wolkendiagramm der linken Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	50
Abbildung 16: Wolkendiagramm der rechten Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	51
Abbildung 17: Wolkendiagramm der rechten Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	52
Abbildung 18: Wolkendiagramm der linken Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	53
Abbildung 19: Wolkendiagramm der linken Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen. Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Vertikalen.....	54
Abbildung 20: Wolkendiagramm der rechten Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen.	55

Abbildung 21: Wolkendiagramm der rechten Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen.	56
Abbildung 22: Wolkendiagramm der linken Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen.	57
Abbildung 23: Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der linken Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Horizontalen. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in der Sagittalen.	58
Abbildung 24: Der Boxplot zeigt Positionsveränderungen der Kondylen ausgehend von der Referenzposition (ZKP) in der Horizontalen (x-Achse) mit und ohne Schiene.	65
Abbildung 25: Der Boxplot zeigt Positionsveränderungen der Kondylen ausgehend von der Referenzposition (ZKP) in der Vertikalen (y-Achse) mit und ohne Schiene.	67
Abbildung 26: Der Boxplot zeigt Positionsveränderungen der Kondylen ausgehend von der Referenzposition (ZKP) in der Sagittalen (z-Achse) mit und ohne Schiene.	70
Abbildung 27: Schematische Darstellung des von Deshpande (2010) beschriebenen Prinzips.	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der Messungen ohne Schiene	61
Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Messungen mit Schiene	64
Tabelle 3: Vergleich der Standardabweichungen ohne und mit Schiene	73

1 Einleitung

Die Diskusverlagerung im Rahmen einer Kraniomandibulären Dysfunktion (CMD) gilt als ein Krankheitsbild mit hoher Prävalenz. Schon bei Jugendlichen konnte eine Prävalenz der CMD von 7 % beobachtet werden (1). Das häufigste Symptom bei Patienten, die eine Therapie ihrer CMD ersuchen, ist die Diskusverlagerung (2).

Sowohl die Ätiologie der CMD als auch der Diskusverlagerung ist noch nicht abschließend geklärt. Man geht jedoch von verschiedenen auslösenden Faktoren aus, die einzeln oder gemeinsam eine CMD mit oder ohne Diskusverlagerung hervorrufen können. Okklusionsstörungen, Bruxismus, aber auch psychische Auslöser sind nur einige der hierzu diskutierten auslösenden Faktoren (3, 4).

Zur Therapie der CMD mit Diskusverlagerung wurden in der Vergangenheit diverse Ansätze entwickelt. Einer dieser Therapieansätze ist die Distractionsschiene. Mittels eines Aufbissbehelfs soll hierbei eine Reposition des verlagerten Diskus erreicht werden. Eine reversible Veränderung der Okklusionsverhältnisse durch eine Erhöhung an den zweiten Molaren soll eine Rotation der Mandibula bewirken und die Kondylen nach kaudal bewegen. Diese postulierte Distraction des Kiefergelenks soll erreichen, dass wieder genug Platz zwischen Kondylus und Fossa articularis entsteht und der Diskus articularis in seine ursprüngliche Position zurückkehrt (5). Grundlage dieses Ansatzes ist die Vorstellung, dass eine Kompression des Diskus ursächlich für die Verlagerung sei. Die klinische Erfahrung lässt jedoch Zweifel an der Effizienz dieses therapeutischen Ansatzes aufkommen (5). Das Ziel dieser Dissertation ist, das Konzept der Distractionsschiene einem Plausibilitätstest zu unterziehen. Im Rahmen der Studentenkurse „Zahnersatzkunde I & II“ der Universitätsmedizin Mainz wurden den klinisch asymptomatischen Studenten im Rahmen des Lehrauftrags zu Demonstrationszwecken Distractionsschienen angefertigt. Anschließend bekamen die Studenten einen Zebris JMA (Jaw Motion Analyser) angelegt. Es handelt sich hierbei um ein Gerät, welches durch Ultraschallmessungen die Unterkieferbewegungen aufzeichnet. Mithilfe des Zebris JMA wurde nun zuerst eine instrumentelle Funktionsanalyse durchgeführt. Die asymptomatischen Studenten ließ man danach mit und ohne Distractionsschiene habituell und maximal zubeißen. Der Gesichtsbogen ermittelte hierbei die Positionsänderung des Kondylus in drei Dimensionen. Aus den hierbei entstandenen Daten soll im Rahmen dieser Dissertation überprüft werden,

ob der postulierte biomechanische Effekt der Distractionsschiene beim gesunden Patienten auch nachweisbar ist.

2 Literaturdiskussion

Die Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie definiert das Kausystem als eine „Einheit“ (6) verschiedener „Elemente oder Teilstrukturen“ (6). Die Bewältigung der verschiedenen Aufgaben des Kauapparats stehen hierbei im Mittelpunkt. Namentlich sind diese primär Mastikation und Phonation. Diese Funktionen des Kausystems sind entsprechend von der Integrität der einzelnen Elemente des Systems abhängig (6). Einige der wichtigsten Strukturen für die Fragestellung dieser Arbeit werden im Folgenden erläutert.

2.1 Anatomie des Kraniomandibulären Systems

2.1.1 Kaumuskulatur

Die Maxilla ist fest verwachsen mit der Schädelbasis und ist folglich im Kausystem als unbewegliches Punktum Fixum anzusehen. Hiergegen steht die Mandibula als beweglicher, knöcherner Teil. Die verschiedenen Kieferbewegungen sind ebenso ermöglicht wie auch limitiert durch die Kaumuskulatur. Das Zusammenspiel von Kaumuskeln und diversen Hilfsmuskeln bewirken hierbei die physiologische Funktion des Kausystems (7).

2.1.1.1 Musculus masseter

Der M. masseter wird unterteilt in Pars profunda und Pars superficialis. Die Pars superficialis verläuft vom anterioren Unterrand des Arcus zygomaticus diagonal zum Angulus mandibulae. Dort dient die Tuberositas masseterica als Ansatz (8). Die Pars superficialis kontrahiert bei Schließbewegungen des Unterkiefers zusammen mit dem M. pterygoideus medialis. Bei Laterotrusionsbewegungen hingegen bewegt die einseitige Kontraktion den Unterkiefer in antero-lateraler Richtung auf der Balanceseite (9). Ein großer interokklusaler Abstand bietet der Pars superficialis einen besonders günstigen Kraftvektor (10). Im Gegensatz hierzu verläuft die Pars profunda vom posterioren Teil des Arcus zygomaticus zum Ramus mandibulae kranial vom Ansatz der Pars superficialis (8). Bemerkenswert ist, dass auch einige Teile der Pars profunda anterior und lateral in das kapsuläre Gewebe des

Kiefergelenks einstrahlen (9). Dieser Mechanismus kann durch Veränderung der Kapselspannung die Rezeptoren der Gelenkkapsel aktivieren (11). Entsprechend wird diesen Strukturen ebenfalls ein Anteil an der Sicherung des Diskus in der Artikulation des Kiefergelenks zugeschrieben (9).

2.1.1.2 Musculus temporalis

Der M. temporalis verläuft von dem durch die Linea temporalis inferior begrenzten Bereich des Os temporale zum Processus coronoideus (8). Der anteriore Teil des Muskels hat primär vertikale Fasern und dient dem Kieferschluss. Der posteriore Teil hingegen hat vermehrt horizontal und diagonale Fasern und kann auch zur Retrusion des Unterkiefers beitragen. Auch bei der Laterotrusion ist der M. temporalis beteiligt. Es lässt sich hier auf der Arbeitsseite eine höhere Aktivität im Elektromyogramm (EMG) nachweisen als auf der Balanceseite. Bemerkenswert ist auch, dass bei der Gruppenführung eine höhere EMG-Aktivität als bei der Eckzahnführung belegt werden konnte (11). Wie der M. masseter hat auch der M. temporalis Fasern, die mit der Gelenkkapsel verbunden sind. Besagte Fasern setzen beim anterolateralen Teil der Kapsel an (9).

2.1.1.3 Musculus pterygoideus lateralis

Der M. pterygoideus lateralis ist in Caput superius und Caput inferius unterteilt. Der Caput superius verläuft vom Tuber maxillae und von der Außenfläche der Lamina lateralis zum anterioren Part der Gelenkkapsel und des Diskus articularis am Kiefergelenk sowie zum Knochen des Processus articularis mandibulae (8). Im Rahmen der Artikulation des Kiefergelenks bei okklusaler Belastung fixiert er den Diskus, um eine Deposition zu verhindern (10). Da der Caput superius die Rückstellung des Diskus kontrolliert, trägt er wesentlich zum Kieferschluss bei (9). Der Caput inferius hingegen verläuft von der Facies temporalis des Ala major ossis sphenoidale zum anterioren Part der Gelenkkapsel und des Diskus articularis (8). Die Funktion des Caput inferius besteht in der Öffnung des Mundes bei beidseitiger Kontraktion, sowie der Laterotrusion des Unterkiefers bei einseitiger kontralateraler Kontraktion (9). Vogel et al. geben an, dass Caput superius und inferius unterschiedlichen Phasen der Kieferbewegungen zuzuordnen seien (12). Es existieren

jedoch auch Hinweise darauf, dass dieses starre Muster nicht haltbar sei, da der Caput superius an Schließ-, Protrusions- und Retrusionsbewegungen und sowohl ipsi- als auch kontralateral beteiligt sei. Auch sei der Caput inferius ebenfalls an Protrusions-, Öffnungs- und Kontralateralbewegungen beteiligt (12). Interessant ist auch, dass Bumann und Lotzmann einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung des Ansatzes am Knochen sowie dem Auftreten anteriorer Diskusverlagerungen beschrieben. Ein weniger ausgeprägter ossärer Ansatz schien begünstigend auf die anteriore Diskusverlagerung zu wirken (11).

2.1.1.4 Musculus pterygoideus medialis

Der M. pterygoideus medialis verläuft von Fossa pterygoidea und dem Tuber maxillae zur medialen Fläche des Angulus mandibulae (8). Er erfüllt denselben Zweck wie der M. masseter und synergisiert entsprechend mit diesem (9).

2.1.1.5 Hilfsmuskulatur

Die Hilfsmuskulatur umfasst eine Vielzahl an Entitäten. Mimische Muskulatur ebenso wie die Zungen- und Mundbodenmuskulatur, Zungenbeinmuskulatur, Gaumen-, Hals- und Nackenmuskulatur sind an den Kieferbewegungen beteiligt. Unter anderem ergänzen diese funktionell die verschiedenen Artikulationsbewegungen, sind jedoch nicht in der Lage, die Funktion der Kaumuskulatur selbstständig zu übernehmen (7).

2.1.2 Kaukräfte

Die Kaukraft entspricht der Kraft, mit der die antagonistischen Zähne in Kontakt treten. Die durchschnittliche maximale Beißkraft von Männern ist größer als die von Frauen. Hierbei wurden bei einem Probandenkollektiv, in dem alle Altersgruppen ab der Präpubertät in gleicher Zahl vertreten waren, Durchschnittswerte von 285 N für Männer und 253 N für Frauen ermittelt (13). Gühring und Barth gaben als maximale Kaukraft auf theoretischer Grundlage Spitzenkräfte von über 1500 N an (14). Auch in der Gruppe der jungen

Erwachsenen ohne gesundheitliche Auffälligkeiten ergaben Messungen für die durchschnittliche Kaukraftmaxima bei Männern 847 N und bei Frauen 597 N (15). Koç et al. zeigten ebenfalls einen Zusammenhang zwischen maximaler Beißkraft und dem Geschlecht. Männer hatten hier signifikant höhere Beißkräfte als Frauen ($p < 0,05$) (16). Calderon et al. ermittelten bei der maximalen Beißkraft für Männer einen Durchschnittswert von 587 N und für Frauen 425 N. Ein Unterschied konnte mit $p < 0,05$ belegt werden (17). Es scheint auch eine Korrelation zwischen der maximalen Beißkraft und dem Entwicklungsstadium, in dem sich die Patienten befinden, zu geben (13). Selbst das Wachstumsmuster und die Schädelform scheinen einen Einfluss auf die Beißkraft zu haben. So konnten Custodio et al. zeigen, dass ein vertikales Wachstum (dolichofazial) des Gesichts mit einer niedrigeren maximalen Beißkraft einhergeht und ein kurzes Gesicht (brachifazial) entsprechend höhere Beißkräfte hervorruft ($p < 0,0001$). Ein Zusammenhang zwischen dem Body-Mass-Index und der Beißkraft konnte hingegen nicht gezeigt werden ($p < 0,05$) (18). Ebenso ist bei der Beißkraft kein statistisch signifikanter Unterschied bei Patienten mit Eckzahnführung oder Gruppenführung ermittelt worden ($p < 0,05$) (16). Selbst Patienten, bei denen Bruxismus diagnostiziert wurde, hatten keinen statistisch signifikanten Unterschied in der maximalen Beißkraft zu den Patienten, bei denen kein Bruxismus diagnostiziert wurde ($p < 0,05$) (17).

In einer Kohortenstudie zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der maximalen Kaukraftentwicklung und der Menge der Zähne, Einschränkungen in der Kaubarkeit des Essens, aber auch Parametern wie die Greifkraft und Diabetes Mellitus. Über einen Zeitraum von drei Jahren wurde bei Patienten mit verminderter maximaler Beißkraft eine signifikant erhöhte Sterblichkeitsrate festgestellt ($p = 0,031$) (19). Grundsätzlich ist zu beachten, dass die maximale Kaukraft nicht der physiologischen Kaukraft entspricht. Diese wird mit 20 N bis 35 N beziffert (14).

2.1.3. Kiefergelenk

Beim Kiefergelenk (Articulatio temporomandibulare) handelt es sich um ein komplexes Gelenk des menschlichen Körpers. Es ist paarig angelegt und über die Mandibula knöchern verbunden, sodass jede Bewegung auf der einen Seite im physiologischen Zustand zwangsweise mit einer Bewegung auf der Gegenseite einhergeht (8). Der Kondylus articularis ist über das Collum mit dem Unterkiefer verbunden. Sein Gegenpart ist die Fossa

condylaris. Sie befindet sich in der Schädelbasis als Teil des Os temporale. Diese beiden knöchernen Strukturen werden normalerweise von dem Discus articularis getrennt. Als Stabilisation und räumliche Begrenzung des Kiefergelenks dient eine bindegewebige Gelenkkapsel, die vom Os temporale zum Collum mandibulae verläuft. Sie besteht aus lockerem Bindegewebe, hat jedoch das namensgebend lateral liegende Ligamentum laterale als Verstärkung aus kollagenen Fasern. Die Gelenkfläche (Fossa glenoidalis) dient als Führungselement für die Artikulation. Ihre faserknorpelig überzogenen Flächen haben einen gewundenen Verlauf, der in das Tuberculum articularis mündet (19). Die Bewegungen des Kiefergelenks sind primär Translations- und Rotationsbewegungen. Gewöhnlich findet man in der alltäglichen Verwendung Mischformen. Während der ersten circa 2cm des Öffnungsvorgangs erlebt man primär eine Rotation des Kiefergelenks, wohingegen bei weiterer Öffnung die Translationskomponente immer größer wird (11, 20). Die Translationsbewegungen sind hierbei ermöglicht durch ein Gleiten des Diskus und des Kondylus auf der Fossa glenoidalis. Die Rotationen des Kondylus auf dem Diskus stellen im physiologischen Zustand die Rotationsbewegungen dar (19). Anatomisch bestehen enge Lagebeziehungen zu vielen Strukturen. Diese sind unter anderem (21):

- A. temporalis superficialis
- A. facialis transversa
- A. zygomaticoorbitalis
- A. maxillaris interna
- V. temporalis superficialis
- Plexus venosus pterygoideus
- N. facialis
- N. auriculotemporalis
- N. alveolaris inferior
- N. lingualis
- Chorda tympani
- Ohr (äußeres und Mittelohr)
- M. masseter
- M. pterygoideus lateralis (Caput superius und inferius)
- M. temporalis
- Glandula parotidea

Die Morphologie des Kiefergelenks scheint in direktem Zusammenhang mit der Morphologie der Zähne zu stehen. Hierbei werden sowohl die sagittale Kondylenbahnneigung als auch der Bennett-Winkel und der Immediate Sideshift als relevante Einflussgrößen auf die Zahnmorphologie genannt (22). Die Fossa glenoidalis selbst ist unterteilt in Fossa articularis und Eminentia articularis, welche in dem Tuberculum articularis mündet. Die Eminentia articularis ist konvex, die Fossa articularis ist konkav (19). Die Morphologie der Fossa glenoidalis sowie des Kondylus articularis variieren in Abhängigkeit von den skelettalen Wachstumsmustern (23). Auch unterliegt der Kieferknochen einer Veränderung im Verlauf des Alterungsprozesses (24). Die Gelenkflächen werden nach heutigem Stand der Wissenschaft nur durch Diffusion versorgt. Eine Gefäßversorgung ist nicht bekannt. Hierbei dient scheinbar die Synovialflüssigkeit als Transportmedium sowohl für Nährstoffe als auch für den Abtransport von Stoffwechselprodukten (19). Der Diskus articularis ist mit der Gelenkkapsel verwachsen. Dies bewirkt eine Unterteilung des Kiefergelenks in zwei Kammern (9). Im physiologischen Zustand befindet sich der Diskus zwischen Kondylus und Fossa glenoidalis. Er besteht aus Faserknorpel und entspricht einer bikonkaven Scheibe. Der Diskus ist medial und lateral mit dem Kondylus verwachsen. Dorsal findet sich ein Übergang in die bilaminäre Zone. Anterior finden sich in den Diskus einstrahlende Fasern des M. pterygoideus lateralis. Der Faserknorpel ermöglicht durch seine in drei Freiheitsgraden verlaufende Fasern eine bedeutsame Absorptionsfähigkeit von Kräften (19, 25).

Die zentrische Kondylenposition wurde von der Academy of Prosthodontics im Glossary of Prosthodontics Terms (2005) definiert als:

„A maxillomandibular relationship, independent of tooth contact, in which the condyles articulate in the anterior-superior position against the posterior slopes of the articular eminences; in this position, the mandible is restricted to a purely rotary movement; from this unstrained, physiologic, maxillomandibular relationship, the patient can make vertical, lateral or protrusive movements; it is a clinically useful, repeatable reference position.“ (26).

2.2 Kraniomandibuläre Dysfunktion

Die Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD) definiert die Kraniomandibuläre Dysfunktion wie folgt:

„[Die CMD] ist im Rahmen der vorgeschlagenen Definitionen als spezifische Funktionsstörung zu werten, welche die Kaumuskulatur, die Kiefergelenke und/oder die Okklusion betrifft. Sie wird in der zahnärztlichen deutschen Terminologie allgemein als craniomandibuläre Dysfunktion bezeichnet.

[...]

[Sie] umfasst Schmerz und/oder Dysfunktion: Schmerz tritt in Erscheinung als Kaumuskelschmerz und/oder Kiefergelenkschmerz sowie als (para)funktionell bedingter Zahnschmerz.

- Dysfunktion kann in Erscheinung treten in Form von schmerzhafter oder nicht schmerzhafter Bewegungseinschränkung (Limitation), Hypermobilität oder Koordinationsstörung (auf Unterkieferbewegungen zielender Aspekt),*
- schmerzhafter oder nicht schmerzhafter intraartikulärer Störungen (auf das Kiefergelenk zielender Aspekt),*
- die Funktion störenden Vorkontakten und Gleithindernissen (auf die Okklusion zielender Aspekt)“ (6).*

2.2.1 Ätiologie der CMD

Die multifaktorielle Ätiologie der CMD ist bisher unzureichend geklärt. Als Ursachen werden Bruxismus und andere Parafunktionen, morphologische und funktionelle Okklusionsstörungen, Traumata sowie psychosoziale und anatomische Faktoren diskutiert (3, 4). Eine erfolgreiche Therapie benötigt die Diagnostik der beim Patienten relevanten ätiologischen Faktoren und die Behandlung dieser (4, 27). Reiter et al. geben muskuloskelettale Dysfunktionen als die häufigste Ursache der CMD an (28). Im Tierversuch konnten Wang et al. ein erhöhtes Auftreten einer chronischen CMD bei Mäusen beobachten, wenn diese wiederholt über einen längeren Zeitraum eine Mundöffnung durchführen mussten. Entsprechend kommen auch zahnärztliche Behandlungen als Risikofaktor für die chronische CMD in Frage (29).

2.2.2 Prävalenz der CMD

Laut dem National Institute of Dental and Craniofacial Research habe die CMD eine hohe Prävalenz. 5 bis 12 % der Bevölkerung seien betroffen. Es gebe einen Peak im Alter von 20 bis 40 Jahren (30). Ouanounou et al. geben an, dass vermutlich 33 % der Bevölkerung mindestens ein Symptom einer CMD und 3,6 bis 7 % der Bevölkerung eine behandlungsbedürftige CMD hätten (31). Die Prävalenz der CMD scheint bei Patienten, die einen Schlaganfall hatten, signifikant größer zu sein (32).

2.2.3 Symptome und Komplikationen der CMD

Wie zuvor bereits erwähnt treten im Rahmen einer CMD Schmerzen und Dysfunktionen auf. Es kann jedoch auch zu Kieferklemmen oder -sperren kommen. In einer Studie von Gilheaney et al. hatten 99 % der Probanden mit CMD ein oder mehrere Anzeichen einer Dysphagie, 33 % hatten Schwierigkeiten beim Schlucken und 28 % hatten Schwierigkeiten beim Trinken (33).

2.2.4 Verstärkende Faktoren für eine CMD

Kopfschmerzen scheinen das Schmerzerlebnis bei Patienten mit bestehender CMD zu verstärken und ein erhöhtes Chronifizierungsrisiko darzustellen. Angst, Stress und/oder emotionale Unausgeglichenheit scheinen die CMD zu verstärken. 75 % der Patienten mit CMD weisen psychologische Auffälligkeiten auf (34).

2.2.5 Pharmakotherapie der CMD

Pharmaka sind in der Vergangenheit erfolgreich zur Behandlung der CMD eingesetzt worden. Die erfolgreichsten Medikamente scheinen Analgetika, Opioide, Anxiolytika, Antidepressiva, Benzodiazepine, Antikonvulsiva, Muskelrelaxantien, Kortikosteroide und Nicht-steroidale Antirheumatika zu sein (31).

2.3 Diskusverlagerung des Kiefergelenks

Die Diskusverlagerung ist eine häufige Begleiterscheinung der CMD. Bei bis zu 49 % der Patienten mit CMD kann sie nachgewiesen werden (2). Al Khotani et al. konnten bei 10- bis 18-jährigen Probanden eine Prävalenz der CMD von 27 % und eine Prävalenz der CMD mit Diskusverlagerung von 7 % ermitteln (1). Mithilfe der Magnetresonanztomographie konnte nachgewiesen werden, dass der Diskus articularis seine natürliche Lagebeziehung zu Fossa und Kondylus des Kiefergelenks verlässt. Dieser kann in verschiedene Richtungen verlagert sein. Am häufigsten kann die anteriore Diskusverlagerung nachgewiesen werden. Die posteriore Diskusverlagerung ist sehr selten. Bei Patienten mit CMD wurde für die posteriore Diskusverlagerung eine Prävalenz von 0,9 % ermittelt. Sie geht mit Veränderungen des Knochens (zum Beispiel Erosionen, Osteophyten), des Kondylus, des Diskus und Gelenksergüssen einher. Sowohl Fälle mit als auch ohne Reposition des Diskus kommen vor (35).

Nach der Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorder (DC-TMD) ist die Diskusverlagerung als ein Symptom der CMD klassifiziert (ICD-10 K07.6) (36). Da eine Diskusverlagerung oft im Rahmen einer CMD vorzufinden ist, werden die gleichen ätiologischen Faktoren diskutiert wie für die CMD. Bruxismus, Parafunktionen des kranio-mandibulären Gelenkes, morphologische und funktionelle Okklusionsstörungen, Traumata oder auch psychosoziale Faktoren können eine Rolle spielen (3). Emotionale Belastungen werden als Prädispositionen gewertet. Auch die Morphologie des Diskus konnte mit dem Vorkommen von Diskusverlagerungen assoziiert werden. Hierbei scheinen bikonkave Disken seltener mit einer Diskusverlagerung ohne Reposition im Zusammenhang zu stehen als jeder andere Morphologie-Typus (37). De Farias et al. konnten keinen Zusammenhang zwischen der Morphologie des Kondylus und dem Vorkommen einer Diskusverlagerung ermitteln (37). Chang et al. fanden jedoch ein signifikant gehäuftes Vorkommen von Diskusverlagerungen bei kleinvolumigen Kondylen. Umso kleiner der Kondylus war, desto größer war auch die Tendenz, dass eine Diskusverlagerung ohne Reposition vorlag (38). Rabelo et al. konnten einen Zusammenhang zwischen der Morphologie des Kondylus und der Schädelbasis mit dem Vorkommen einer Diskusverlagerung nicht bestätigen. Jedoch hing die Reposition des Diskus bei vorliegender Verlagerung von der Morphologie des Kondylus und der Schädelbasis ab (39). Patienten

mit einer Angle Klasse II haben signifikant häufiger eine Diskusverlagerung ohne Reposition als mit einer Klasse I oder III (40). Wieckiewicz et al. zeigten, dass die CMD-Symptomatik Frauen öfters betrifft als Männer (41). Bei Patienten mit CMD konnte ein erhöhtes Vorkommen des Interleukin-1 Beta in den Gelenkscheiben beobachtet werden. Es scheint ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von IL-1 β im Diskus articularis bei vorliegender Diskusverlagerung mit und ohne Reposition zu geben (42). Ein Polymorphismus des MMP-1-Promoters ist möglicherweise eine Prädisposition für die anteriore Diskusverlagerung sowohl mit als auch ohne Osteoarthritis (43).

2.3.1 Symptomatik der Diskusverlagerung bei CMD

Bei Patienten mit anteriorer Diskusverlagerung konnte eine signifikante Verdickung des M. temporalis gemessen werden ($p = 0,035$) (44). Besonders Knack- und Reibegeräusche werden, aufgrund der Lagebeziehung des Kiefergelenks zum Mittelohr, oft vom Patienten wahrgenommen und sind, insbesondere bei Kieferöffnung und -schluss, oft auch vom Behandler zu hören. Deviationen zur betroffenen Seite sowie Deflexionen kommen häufig vor. Die Deviation lässt Rückschlüsse auf das Vorhandensein und den Zeitpunkt einer Reposition zu. Gesichtsasymmetrien können in Form einer Lateralverschiebung der Mittellinie der Mandibula entstehen (45). Okklusionsbefunde wie Bruxismus bedingte Abrasionen, Okklusionshindernisse ebenso wie die Patientenanamnese (Schlafstörungen, Schmerzen und Verspannungen am Morgen oder in Stresssituationen, nächtlicher Bruxismus) können hinweisend sein. Als Okklusionshindernisse sind sowohl dynamische und statische Störkontakte als auch dentale und/oder skelettale Anomalien sowie insuffizienter Zahnersatz zu nennen. In der Anamnese sind das Vorhandensein von Schlafstörungen, Schmerzen und Verspannungen am Morgen oder in Stresssituationen sowie nächtlicher Bruxismus abzufragen. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass negative Einflüsse auf den Rapid-Eye-Movement-Schlaf beobachtet werden können (46). Eine Störung der Körperhaltung konnte bei Patienten mit Diskusverlagerung nicht nachgewiesen werden (47).

2.3.2 Diagnostik der CMD und der Diskusverlagerung

Sowohl für die Diagnostik der CMD als auch der Diskusverlagerung im Speziellen stehen eine Vielzahl von Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Die manuelle Untersuchung des Patienten umfasst die optische Kontrolle der kranio-mandibulären Strukturen und der Kieferbewegungen, die Palpation der Muskulatur und des Gelenks in Ruhe und Bewegung, die Quantifizierung der Grenzbewegung zur Ermittlung von Einschränkungen, die Provokation von Schmerzen in Ruhe und Bewegung sowie Okklusionskontrollen (48). Kumar et al. ermittelten eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der klinischen Untersuchung auf Diskusverlagerung mit MRT-Untersuchungen. Es wurde bei Messungen im MRT als Goldstandard für die klinische Untersuchung der Diskusverlagerung eine Sensitivität von 90 % sowie eine Spezifität von 83,3 % angegeben (49). Marpaung et al. geben für die klinische Untersuchung der Diskusverlagerung eine Spezifität von 81,0 % an. Die Sensitivität wird hingegen mit 38,3 % beziffert. Für die instrumentelle Funktionsanalyse wurde hingegen eine Spezifität von 96,6 % und eine Sensitivität von 29,8 % ermittelt (50). Daraus ist zu folgern, dass mit diesen beiden Methoden falsch positive Ergebnisse unwahrscheinlich sind. Die von Marpaung et al. ermittelte niedrige Sensitivität könnte darauf zurückzuführen sein, dass MRT-Untersuchungen bei asymptomatischen Patienten oft den Befund einer Diskusverlagerung boten. Die instrumentelle Funktionsanalyse bietet, ebenso wie die bildgebenden Verfahren, den Vorteil der Objektivierbarkeit sowie der Archivierbarkeit der Befunde. Das MRT kann als bildgebendes Verfahren mit gutem Ergebnis zum Einsatz kommen, da es Weichgewebestrukturen des Kiefergelenks präzise abbilden kann - auch in verschiedenen Kieferpositionen (51). Die Validität sonographischer Untersuchungen zur Diagnostik der Diskusverlagerung wird diskutiert. Insbesondere für die anteriore und laterale Diskusverlagerung könnte die Sonographie aufgrund ihrer einfachen und nicht invasiven Anwendung in Zukunft ein gutes, diagnostisches Mittel darstellen (52, 53). Die Schmerzanamnese des Patienten gibt Rückschlüsse über das Ausmaß und den Verlauf einer CMD. Auch eine eventuell beteiligte psychologische Komponente sollte einfühlsam erfragt werden (27). Als Hilfe zur Diagnostik der CMD wurde 1992 die Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorder (RDC-TMD) entwickelt. Im Jahr 2005 wurde die Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorder (DC-TMD) als Modifikation der RDC-TMD eingeführt (36).

2.3.3 Prognose der Diskusverlagerung

In einer Studie mit erwachsenen Patienten, die eine anteriore Diskusverlagerung ohne durchgeführte Therapie hatten, konnten nach mindestens 24 Monaten bei 75% der Patienten knöcherne Veränderungen nachgewiesen werden. Initial waren bei 51,8% desselben Patientenkollektivs knöcherne Veränderungen nachweisbar. Eine Deformation des Diskus ist initial bei allen Patienten mit Diskusverlagerung zu finden. Auch im weiteren Verlauf verändert sich dies nicht. Allerdings entstand in seltenen Fällen Pseudoknorpel (54). Die Verkürzung und Anteriorbewegung der Disken scheint bei Patienten ohne Reposition stärker ausgeprägt zu sein als bei Patienten mit Reposition. Besonders anfällig für eine Verkürzung des verlagerten Diskus erscheinen adoleszente Patienten sowie Patienten, die am betroffenen Gelenk einen Erguss haben oder in einem der fortgeschrittenen Wilkes-Stadien sind (55). Patienten, die eine unbehandelte chronische Diskusverlagerung mit Reposition haben, hatten im Vergleich zur Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede bei der gemessenen maximalen Mundöffnung. Die Bewegungsmuster waren jedoch alteriert. Dies zeigte sich zum Beispiel in einem asynchronen Bewegungsmuster der Kondylen bei Öffnungs- und Schließbewegungen. Auch die Laterotrusionsbewegungen waren asymmetrisch und der Kieferschluss fand verlangsamt statt (56). Eine Diskrepanz der Kondylushöhen zwischen der betroffenen und der gesunden Seite konnte bei Patienten, die jünger als 20 Jahre waren, beobachtet werden. Dies führte zu der Entwicklung von altersabhängigen Asymmetrien in Form einer Deviation des Menton (57). Das Entstehen einer Höhendiskrepanz der Kondylen ist bei Patienten mit Reposition geringer als bei Patienten ohne Reposition. Dieser Effekt scheint besonders ausgeprägt zu sein, wenn eine Osteoarthritis vorhanden ist oder sich der Patient im pubertätsbedingten Wachstumsschub befindet. Hieraus wurde der Diskusverlagerung mit Reposition eine günstigere Prognose als der Diskusverlagerung ohne Reposition zugeordnet (55). Es konnte gezeigt werden, dass eine statistisch signifikante Abhängigkeit der knöchernen Veränderungen und des Ausmaßes an erlebten Schmerzen im Zusammenhang mit einer beidseitigen Diskusverlagerung ohne Reposition besteht. Ein Zusammenhang der Abnormalitäten der knöchernen Strukturen mit den erlebten Schmerzen konnte hingegen nicht nachgewiesen werden (58). Ein Gelenk mit Diskusverlagerung sowohl mit Reposition als auch ohne Reposition ist 2,73- bis 8,25-fach häufiger von einer Osteoarthrose betroffen als ein Gelenk

mit normaler Kondylus-Diskus-Fossa-Beziehung (59). Die Entstehung einer Osteoarthritis bei Patienten mit Diskusverlagerung scheint bei jenen begünstigt zu sein, die am betroffenen Gelenk keine Ergüsse bildeten (60).

2.3.4 Therapieverfahren der Diskusverlagerung

2.3.4.1 Schienentherapie

Die Schienentherapie wird in der Zahnmedizin sehr häufig und breit eingesetzt, da sie bei geringem Aufwand, Reversibilität der intraoralen Verhältnisse und Ressourcenökonomie gute Behandlungserfolge verspricht. Entsprechend werden verschiedene Schienen für eine Vielzahl von Indikationen verwendet. Von der weichbleibenden Schiene für das Zahnbleaching über den kieferorthopädischen Einsatz bis hin zur Therapie der Schlafapnoe findet man beispielsweise die zahnärztliche Verwendung von Schienen wieder. In der Funktionstherapie ist die Schiene als Aufbissbehelf häufig eingesetzt, da hier eine therapeutische Okklusion noninvasiv und ohne großen Aufwand erreicht werden kann. Im Wesentlichen gibt es zur Therapie der CMD mit Diskusverlagerung zwei gängige Arten von Schienentherapien. Eine davon ist die Zentrikschiene, welche dem Patienten beim Kieferschluss in habitueller Okklusion und auch bei maximaler Interkuspitation eine zentrische Kondylenposition sichern soll (27).

Wolfgang et al. definieren die zentrische Kondylenposition als:

„Die zentrische Kondylenposition ist definiert als die kranioventralste, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskusrelation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe. Somit ist die zentrische Kondylenposition unabhängig von der Okklusion.“ (61).

Per Definition bietet die zentrische Kondylenposition also eine Unterkieferposition, die günstig für die physiologische Funktion der Strukturen des orofazialen Systems ist. Die Zentrikschiene wird entsprechend primär als nichtinvasive Langzeitmaßnahme eingesetzt. Bei der Behandlung der Diskusverlagerung mit einer Zentrikschiene konnten gute Behandlungsergebnisse in Form von Symptomverringerungen, teilweise bis zur Beschwerdefreiheit, erzielt werden (62). Die Erhöhung der Zentrikschiene und die damit verbundene Bisshebung bewirke keine Distraction des Kiefergelenks. Die Position des Kondylus verändere sich hierdurch nicht signifikant (63). Im Gegensatz hierzu stehen als zweite gängige Möglichkeit die Repositionierungsschienen zur Verfügung. Zu den Repositionierungsschienen zählen Distractionsschienen, Protrusionsschienen beziehungsweise anteriore Repositionierungsschienen. Die Repositionierungsschienen

haben den Zweck, den Unterkiefer durch eine therapeutische Okklusion in eine Position zu bringen, die eine Reposition des Diskus bewirken soll (27). Liu et al. beschrieben den erwünschten Effekt der anterioren Repositionierungsschiene. Sowohl die geforderte Anterokaudalbewegung des Kondylus als auch die Dorsalbewegung des Diskus mit letztendlicher Verbesserung der Kondylus-Diskus-Fossa-Lagebeziehung wurde beobachtet (64). Chen et al. zeigten die gleichen Ergebnisse bei Verwendung der anterioren Repositionierungsschiene. Allerdings beschrieben sie auch, dass sich in den meisten Fällen die vorherigen anatomischen Verhältnisse mit Entfernung der Schiene wieder einstellten. Dies scheint eine gute Kurzzeitwirkung der Behandlung mit deutlich schlechterer Langzeitwirkung zu erklären (65).

Die Distractionsschiene verfolgt einen ähnlichen Ansatz wie die anteriore Repositionierungsschiene. Sie soll die betroffenen Kondylen nach kaudal bewegen und so eine Distraction des Kiefergelenks bewirken (Siehe Abbildung 1). Der hierbei frei werdende Platz im Gelenkspalt soll dem Körper ermöglichen, dass der Diskus wieder in seine physiologische Position zurückgelangt. An den zweiten Molaren wird hierzu an der Schiene eine erhöhte Okklusion konstruiert. Diese stellt eine Art Rotationspunkt dar, um den die Mandibula rotieren und so die erstrebte Kaudalbewegung des Kondylus erreichen soll. Auch die Distractionsschiene ist nur zum temporären Einsatz gedacht, da bei längerer Anwendung eine Intrusion der Molaren riskiert wird.

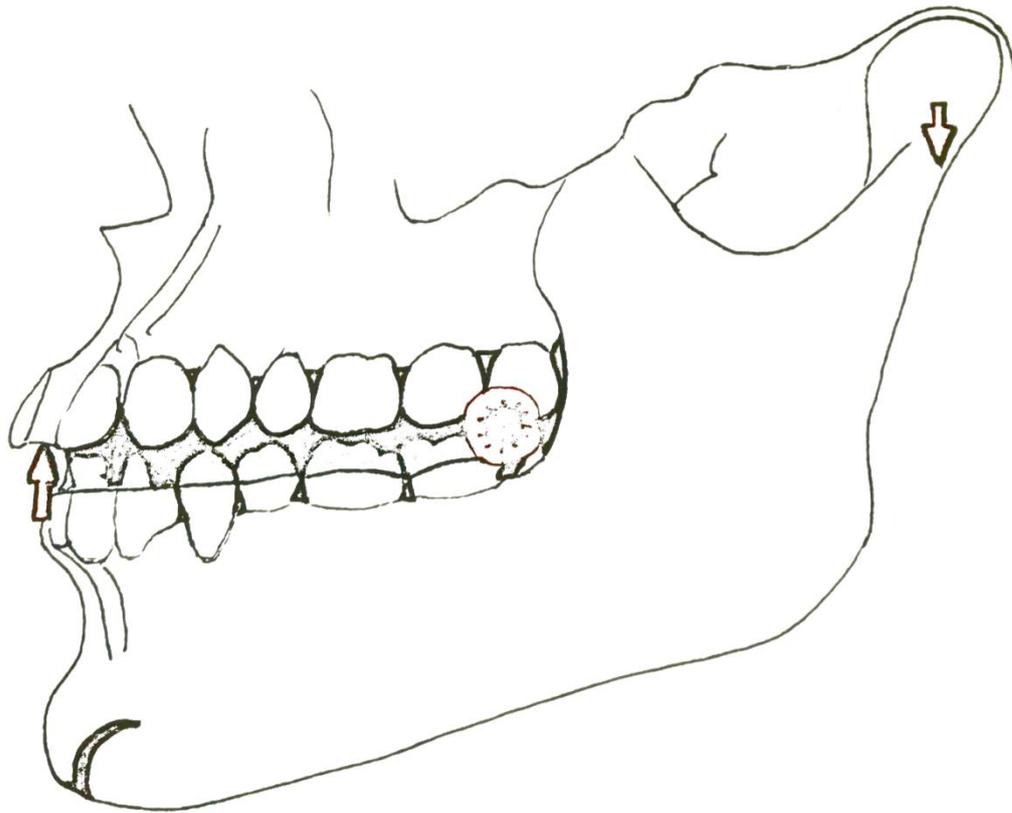


Abbildung 1: Schematische Darstellung des postulierten Wirkprinzips einer Distractionsschiene. Ein Hypomochlion am letzten Molaren soll bei Okklusion als Rotationsachse des Unterkiefers dienen und eine das Kiefergelenk distrahierende Kaudalbewegung des Kondylus erzeugen.

Leider gibt es bisher sehr wenig Literatur zur Funktion und Effizienz der Distractionsschiene. Die Schmerzreduktion und das Erreichen der normalen Bewegungsweiten beim Einsatz einer der Distractionsschiene ähnlichen Pivot-Schiene in Kombination mit einer Stabilisierungsschiene konnte bei einer anterioren Diskusverlagerung ohne Reposition beobachtet werden (66).

Bei Patienten mit juveniler Arthritis im Kiefergelenk kann der Einsatz der Distractionsschiene ein Verschlechtern der knöchernen Asymmetrie verhindern. Jedoch sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich und können nicht zuverlässig vorhergesagt werden (67). Moncayo et al. konnten beim Einsatz der Distractionsschiene beim Kieferschluss eine Kaudalbewegung von durchschnittlich 1,3 mm bei 87,5 % der Probanden ermitteln. 30 % der Testpersonen wiesen primär eine Kaudalbewegung, 35 % eine Anteriorbewegung und 35 % eine Mischform aus Kaudal- und Anteriorbewegung der Kondylen auf (68). Yildiz et al. gaben an, dass bei Kieferschluss mit maximaler Kraft eine einseitige Kaudalbewegung erreicht werden konnte (5). Das beschriebene Phänomen der Anteriorbewegung beim kraftvollen Zubeißen wurde von Linsen et al. untersucht. Es wurde die Distractionsschiene mit der Stabilisierungsschiene verglichen. Dies geschah sowohl mit einem die Protrusion behindernden Kinnband als auch ohne Kinnband. Bei 40 Freiwilligen mit einem durchschnittlichen Alter von 33,9 Jahren, die keine funktionelle Symptomatik aufwiesen, wurde mit einem elektrischen Kiefergelenks-Bewegungs-Messgerät die Veränderung der Kondylenposition ermittelt. Der Vergleich der Schientypen ohne Kinnband unterschied sich nicht signifikant. Jedoch ließ sich bei Anwendung des Kinnbandes eine stärkere Kaudalbewegung bei verringerter Anteriorbewegung zeigen. Der distrahierende Effekt auf das Gelenk scheint bei einer Verhinderung der Protrusion größer zu sein. Eine Beschränkung der Lateralverschiebung konnte jedoch nicht erreicht werden (69). Eine Untersuchung von 22 asymptomatischen Probanden ergab, dass die Distractionsschiene eine Positionsänderung des Kondylus um sagittal 0,3 mm +/- 0,5 mm, vertikal 0,8 mm +/- 0,5 mm und die Stabilisierungsschiene eine Veränderung von 0,2 mm +/- 0,5 mm sagittal und 0,8 mm +/- 0,5 mm vertikal bewirkte, wobei der Kieferschluss mit maximaler Kraft die Anteriorbewegung verstärkte und die Kaudalbewegung verminderte (70). Eine Studie von Seedorf et al. untersuchte das Konzept der Distractionsschiene an 23 gesunden Probanden. Eine 1 mm dicke Zinnfolie wurde auf die zweiten Molaren gesetzt und der Proband wurde gebeten, auf diese zu beißen. Diese Erhöhung wurde genutzt, um den Mechanismus der Distractionsschiene zu simulieren. Zusätzlich wurde mittels steifem Registratmaterial ein okklusales Protrusionshindernis

geschaffen. Mithilfe eines ultraschallbasierten Bewegungsmessgerätes wurde die Positionsänderung des Kondylus ermittelt. Ohne Limitierung wurde wieder eine anterokaudale Kondylenbewegung gemessen. Bei Einsatz des Protrusionshindernisses wurde stattdessen eine statistisch signifikante Kranialbewegung von ca. 0,3 mm beobachtet. Seedorf et al. folgerten daraus, dass ein Schienendesign, welches die Protrusion verhindert, anstatt der gewünschten Gelenksentlastung eine verstärkte Kompression bewirke und daher kontraproduktiv sei (71).

Bei Anwendung der anterioren Repositionierungsschiene wurde eine gute Restitution einer physiologischen Kondylus-Diskus-Fossa-Relation beobachtet. Allerdings stellte sich dieses Ergebnis nicht als sehr beständig heraus, da bei Entfernung der Schienen wieder eine Diskusverlagerung beobachtet werden konnte. Gute kurzzeitige Ergebnisse stehen entsprechend schlechten Langzeitergebnissen gegenüber (65). Ein Vergleich des Krankheitsverlaufs bei Patienten, die entweder mit einer Protrusionsschiene, mit einer Distractionsschiene oder mit einer Michiganschiene behandelt wurden, ergab, dass keine signifikanten Unterschiede im Therapieerfolg zu eruieren waren (72). Ungeachtet des Schientyps erlebten mehr als 65 % der Patienten in dem ersten Jahr eine deutliche Schmerzreduktion. In den weiteren 12 Jahren gab es nur einen leichten Anstieg der Anzahl an Patienten, die von Schmerzen berichteten. Hingegen konnten abnorme Geräusche des Kiefergelenks zwar im ersten Jahr stark reduziert werden, nahmen jedoch im weiteren Verlauf wieder bis zum Ausgangslevel zu. Ebenfalls ließ sich im ersten Jahr eine Verbesserung von Mundöffnungsbehinderungen bei zwei von drei betroffenen Patienten beobachten. Im weiteren Verlauf stieg die Prävalenz von Mundöffnungsbehinderungen sogar noch über das Anfangsniveau hinaus an. Sie war nach 13 Jahren 40 % höher. Alle Schienen zeigten gute Erfolge bei der Behandlung von Schmerzen. Es ließ sich jedoch kein Unterschied im Behandlungserfolg für die verschiedenen Schienen ermitteln (72). Eine weitere Vergleichsstudie untersuchte die Auswirkungen von Distractions- und Stabilisierungsschienen bei Patienten mit Diskusverlagerung ohne Reposition über einen Zeitraum von drei Monaten. Für beide Typen ließ sich eine deutliche Reduktion der Schmerzen sowie eine Verminderung von Mundöffnungsbehinderungen beobachten. Es gab bei der Schmerzreduktion keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen (73).

Schmitter et al. hingegen empfehlen die Verwendung von Zentrikschienen bei Patienten mit Diskusverlagerung ohne Reposition. Zwar seien die ermittelten Verbesserungen der von den Patienten erlebten Schmerzen und die Reduktionen der funktionellen

Bewegungseinschränkungen bei beiden Schientypen vergleichbar, jedoch deutete die logistische Regressionsanalyse darauf hin, dass die Behandlungsergebnisse der Zentrikschiene etwas besser seien (74). Grundsätzlich ist bei der Therapieentscheidung stets zu beachten, dass auch die Schientherapie, insbesondere wenn diese über einen längeren Zeitraum stattfindet, Nebenwirkungen haben kann. Stellungsänderungen der Zähne sowie reaktive Vorgänge in Knochen, Gelenk und Muskeln gelten als möglich (75).

2.3.4.2 Chirurgische Therapie

Die chirurgische Therapie der CMD gilt als umstritten. Die Arthrozentese mit oder ohne Insertion von Medikamenten in das Kiefergelenk bewirkt zum Teil eine gute Verringerung der CMD-Symptomatik (76). Allerdings scheint der Langzeiterfolg dieser Therapie nicht gegeben zu sein. Des Weiteren scheint die Insertion von Medikamenten in das Gelenk keinen nachweisbaren Nutzen zu bringen (76, 77). Die DGFDT empfiehlt die Verwendung von minimal-invasiv-chirurgischen Maßnahmen für den Fall, dass in frühen Erkrankungsstadien von Funktionsstörungen oder degenerativen Gelenkserkrankungen die Anwendung der konservativen Behandlungsmethoden keine Verbesserung der Schmerzsituation und der Funktion bringt (27).

2.3.4.3 Medikamentöse Therapie

Die medikamentöse Therapie kann die Symptome wie zum Beispiel Schmerzen, Muskelspasmen und Entzündungen verringern. Allerdings hat ein Review von Januzzi et al. ergeben, dass es keine Beweise für die Wirksamkeit der entzündungshemmenden Medikamente in der Therapie von der CMD mit Diskusverlagerung ohne Reposition gebe (78). Pihut et al. konnten durch den Einsatz von Botulinum Toxin Typ A eine signifikante Verminderung der Belastung des Kiefergelenks durch eine Überaktivität des M. masseter zeigen. Dennoch war der therapeutische Effekt des Botulinum Toxin Typ A dem der herkömmlichen Schientherapie unterlegen (79). Bei der Nutzen-Risiko-Abwägung der medikamentösen Therapie ist in besonderem Maße zu berücksichtigen, dass der Langzeitnutzen nicht sicher belegt ist.

2.3.4.4 Manuelle Therapie und Verhaltenskontrolle

Die manuelle Therapie gilt insbesondere in Kombination mit der Schienentherapie als effektiv. Es lässt sich ein deutlich besseres Therapieergebnis mit einer verbesserten Mundöffnung und einer Verringerung der Deviation erzielen als mit einer Schienentherapie allein (80). Hierbei ist die Mitarbeit des Patienten in Form von täglicher Selbsttherapie ebenso wichtig wie die Anleitung des Patienten zur Selbstkontrolle, um muskuläre Anspannungen bewusst zu vermindern. Die Verhaltensänderung im Rahmen einer angeleiteten Selbstkontrolle bewirkt eine ausgeprägtere Schmerzreduktion bei Patienten mit Diskusverlagerung mit Reposition (75).

2.3.4.5 Definitive Okklusionsänderungen als Therapie

Bei durch Diagnostik und reversible Therapie bewiesenem, dentogenen Auslöser kann durch subtraktive, kieferorthopädische oder rekonstruktive Maßnahmen eine Therapie angestrebt werden. Hierbei muss mittels Okklusionsschiene eine deutliche Verbesserung des Krankheitsbildes erreicht worden sein, damit die teure und aufwendige Behandlung eine Aussicht auf Erfolg hat (81). Forsell et al. geben hingegen an, dass es keine stichhaltigen Beweise für den Nutzen definitiver Okklusionsänderungen gebe (82).

2.4 Zebris Jaw Motion Analyzer

Der Zebris Jaw Motion Analyzer ist ein auf Ultraschall basierendes Kieferregistriersystem. Dieses bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten, wie die instrumentelle Funktionsanalyse, Scharnierachsenbestimmung, Kieferrelationsbestimmung, Kondylenpositionsbestimmung und individuelle Ermittlung von Artikulatorwerten et cetera. Das System JMAlyser+ BT2A4 hat eine Messrate von bis zu 50 Messungen pro Sekunde (50 Hz). Dies ermöglicht nicht nur die Aufzeichnung von Bewegungen, sondern auch die Aufzeichnung in Relation zum zeitlichen Verlauf. Für die Genauigkeit der okklusalen Positionsermittlung gibt der Hersteller $\pm 0,1$ mm (longitudinal); $\pm 0,2$ mm (transversal und sagittal) sowie bei der Ermittlung der Artikulatorparameter eine Ungenauigkeit von $\pm 2,0^\circ$ an. Insgesamt ist eine

Messungsgenauigkeit von $\pm 5\%$ des Eingangswertes angegeben (83). Ein genereller Vergleich der Scharnierachspunktermittlung des JMA mit dem CADIAX-System (GAMMA, Wien) ergab durchschnittlich eine gute bis sehr gute Kongruenz der Messpunkte beider Systeme (84). Klinisch gab es zwischen dem JMA- und dem CADIAX-System durchgehend mittlere Intraklassenkorrelationskoeffizienten $> 0,75$, sodass von einer klinisch akzeptablen Übereinstimmung der Messungen beider Systeme ausgegangen werden kann (85, 86). Weßling et al. zeigten auch, dass die Intraklassenkorrelation bei gleichzeitiger Durchführung der Messung mit beiden Systemen besonders hoch sei. Hieraus folgerten sie, dass der entscheidende, die Übereinstimmung mindernde Einfluss, Schwankungen aufgrund von veränderten Referenzebenen und Messanordnungen seien (85). Best et al. untersuchten die Reliabilität und Validität des JMA-Systems. Es zeigte sich eine hohe Reliabilität und eine Validität, die nur bei der Aufzeichnung der Mundöffnung Unzuverlässigkeiten aufwies (87). Best et al. empfahlen zur Aufzeichnung von Funktionsbewegungen Systeme wie das JMA (87). Der JMA kann aufgrund von zeitsparender Anwendung und geringem Gewicht im Vergleich zu anderen Systemen als patientenfreundlich angesehen werden (85).

2.5 Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing von Schienen

Das Konzept des Computer aided Design und des Computer aided Manufacturing zur Fertigung zahnärztlicher Therapiemittel hat in den letzten Jahrzehnten deutlich an Bedeutung hinzugewonnen. In der Fertigung von zahnärztlichen Restaurationen hat die CAD/CAM-Technik bereits eine weit verbreitete Verwendung gefunden. Die chairside Abformung mit Intraoralscannern und die damit verbundene Vermeidung der Gipsexpansion und Schrumpfung des Abformmaterials als Fehlerquelle sind hier ebenso von großem Vorteil, wie die schnelle Fertigung der Restauration in der automatisierten Fräßeinheit. Letztendlich erreicht die chairside-Fertigung von Zahnrestaurationen bessere Ergebnisse als der konventionelle Laborweg (88). Die CAD/CAM-Fertigung von Schienen ist deutlich weniger verbreitet. Es gibt jedoch nach neueren Untersuchungen keinen klinisch signifikanten Unterschied in der Effizienz von Behandlungen mit CAD/CAM-gefertigten Schienen im Vergleich zu herkömmlichen Methoden (89). Beim digitalen Workflow besteht die Möglichkeit der Individualisierung der Produktion. Im virtuellem Artikulator können zum Beispiel die Artikulatoreinstellungen an mittels JMA ermittelte, patientenindividuelle Werte

angepasst werden (90). Auch bietet der virtuelle Artikulator eine einfache und zuverlässige Methode als Planungs- und Diagnosewerkzeug (91). Inwiefern dies den Therapieverlauf beeinflusst, ist in der Literatur bisher noch nicht ausreichend untersucht.

3 Material und Methoden

Im „Kurs für Zahnersatzkunde“ der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der Universitätsmedizin Mainz wurde als Bestandteil des Lehrplans eine Axiographie im Rahmen einer instrumentellen Funktionsanalyse sowohl mit als auch ohne Distractionsschiene durchgeführt. Die Auswertung der ermittelten Daten sollte hierbei die Frage beantworten, ob beim Kieferschluss mit Distractionsschiene bei Patienten, deren orofaziales System keine bestehenden Auffälligkeiten aufweist, eine Positionsänderung des Kondylus nach kaudal nachweisbar ist. Des Weiteren sollten die Positionsänderungen mit Schiene und die Positionsänderungen der Kondylen beim Kieferschluss ohne Schiene verglichen werden. Dies diente der Klärung, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Positionsänderungen des Kondylus beim Kieferschluss mit und ohne Distractionsschiene gibt.

Als Nullhypothese galt demnach die Annahme, dass zwischen dem Kieferschluss mit und ohne Distractionsschiene kein Unterschied bei der messbaren Kondylenpositionsänderung besteht.

3.1 Material

Verwendete Geräte:

- Artex Gesichtsbogen & Übertragungsschlitten (Amann Girrbach AG, Österreich)
- Carbon-Artex-Artikulator (Amann Girrbach AG, Österreich)
- Optical 3D Scanner Activity 885 (smart optics Sensortechnik GmbH, Deutschland)
- Coritec 350i Loader (Imes-Icore GmbH, Deutschland)
- JMAlyser+BT2A4 (Zebris Medical GmbH, Deutschland)

Verwendete Verbrauchsmaterialien:

- HS-ortho Alginat (Henry Schein Dental Deutschland GmbH, Deutschland)
- HS Hartgips blau (Henry Schein Dental Deutschland GmbH, Deutschland)
- Kemdent Alminax (Associated Dental Products Ltd., Großbritannien)
- Zinnfolie 0,5mm (Helago-Pharma GmbH & Co.KG, Deutschland)

- Tizian Blank PMMA (Schütz Dental GmbH, Deutschland)
- Kunststofffräsen (Schütz Dental GmbH, Deutschland)
 - Flachkopffräser, kurz (523585)
 - Radiusfräser (523563)
 - Radiusfräser (523561)
 - Flachkopf-/ Schafffräser (523586)
 - Radiusfräser (521581)
 - Radiusfräser (523582)
- Okklusionsfolie (Coltène /Whaledent GmbH &Co. KG, Schweiz)
- Struktur 2 SC/QM (VOCO GmbH, Deutschland)
- Futar (Kettenbach GmbH & Co. KG, Deutschland)
- Provicol QM 5ml (VOCO GmbH, Deutschland)

Verwendete Software:

- WinJaw+ (Zebris Medical GmbH, Deutschland)
- Statistikprogramm SPSS 23 (IBM, USA)

3.2 Voruntersuchung

Das Patientenkollektiv war zunächst anamnestisch sowie manuell auf Symptome einer kranio-mandibulären Funktionsstörung und insbesondere einer Diskusverlagerung mit oder ohne Reposition untersucht worden. Des Weiteren wurde im Rahmen der instrumentellen Funktionsanalyse (siehe Abbildung 2 und 3) ermittelt, ob Hinweise auf Funktionsstörungen vorlagen.

Folgende Befunde galten hierbei auf Grundlage des CMD-Kurzbefundes von Ahlers und Jakstat als Ausschlusskriterium zur Verwendung der Daten im Rahmen dieser Studie (92):

- Messbare Deviation oder Deflexion um mehr als 2 mm
- Eingeschränkte Mundöffnung
- Chronische oder akute Schmerzerlebnisse innerhalb der letzten sechs Monate im stomatognathen System ohne bekannte Ursache
- Geräusche im Kiefergelenk

- Druckdolenz der Kaumuskulatur
- Ausgeprägte Abweichungen der Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers von der Norm
- Bekannte Funktionsstörungen

Bewegungsspuren

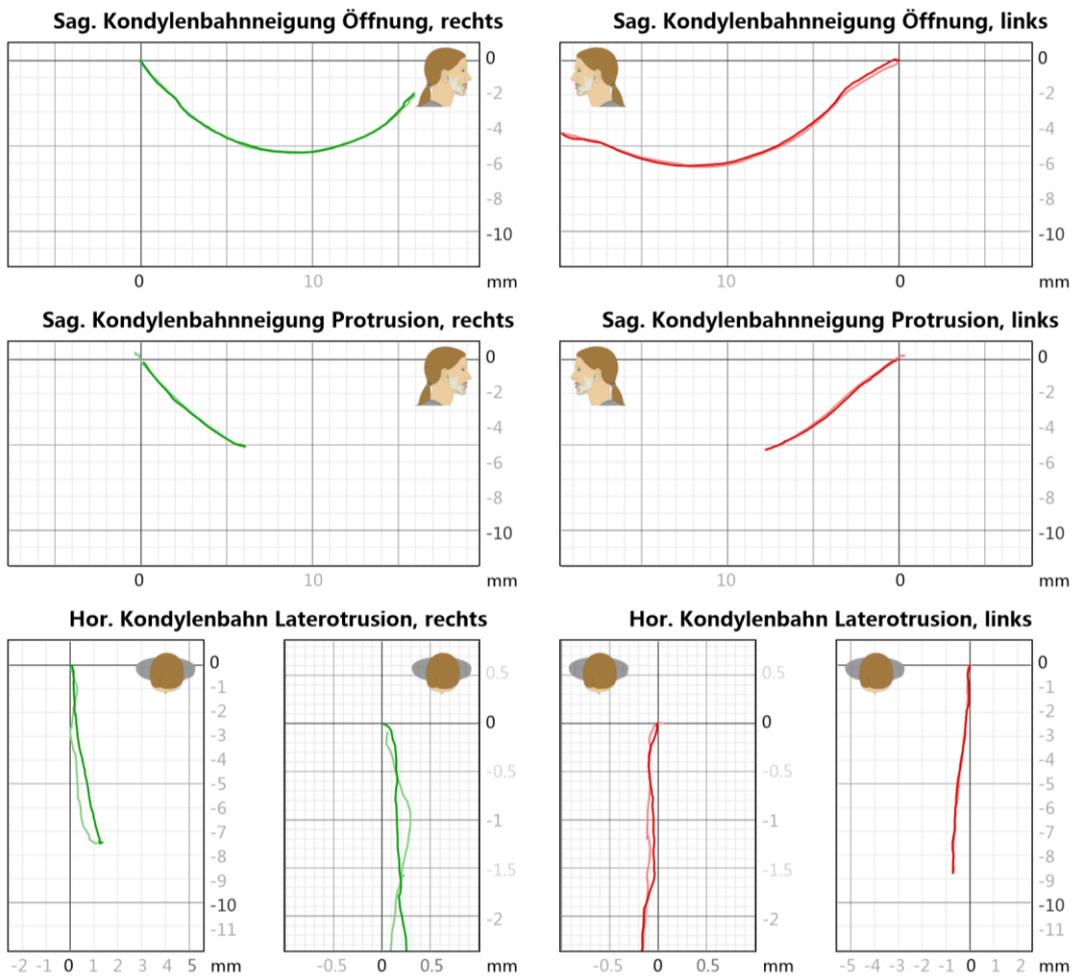


Abbildung 2: Ergebnisse der instrumentellen Funktionsanalyse mit dem Zebris Jaw Motion Analyser entnommen aus dem Programm WinJaw+ beim gesunden Patienten

Bewegungsspuren

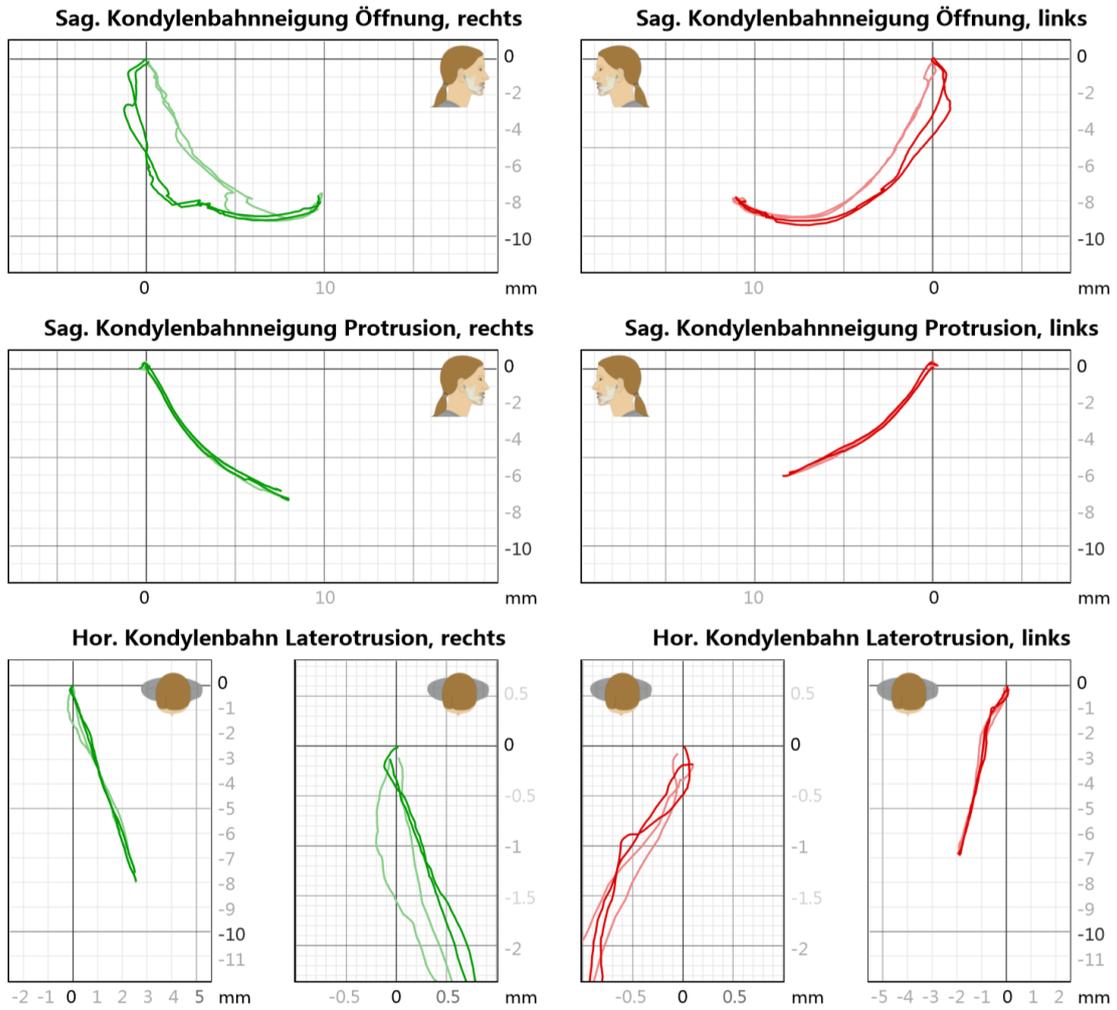


Abbildung 3: Ergebnisse der instrumentellen Funktionsanalyse mit dem Zebris Jaw Motion Analyser entnommen aus dem Programm WinJaw+ beim Patienten mit Verdacht auf einseitige Diskusverlagerung

3.3 Herstellung der Distractionsschienen

Mittels Alginatabformungen des Ober- und Unterkiefers wurden Hartgipsmodelle angefertigt. Diese wurden mithilfe eines Gesichtsbogens arbiträr in einem Carbon-Artex-Artikulator (Amann Girrbach AG) in maximaler Interkuspitation einartikuliert (Siehe Abbildung 4). Mittels Zinnfolie 0,50 mm ist an dem Scharnier des Artikulators, welches zur Einstellung des Bennett-Winkels dient, eine Distraction der Kiefergelenke von einem Millimeter konstruiert worden. Die Zinnfolie 0,50 mm wurde hierbei doppelt zwischen den Oberkieferanteil und den Unterkieferanteil des Artikulatorrahmens fixiert. Die nun veränderte Bisslage wurde mit Kemdent Alminax fixiert. Dies geschah mit einer Sperrung des Stützstiftes um zwei Millimeter. Mit diesem konstruierten Distractionsbiss wurde der Unterkiefer erneut einartikuliert, um bei der Fertigung der Schiene in Neutralstellung des Artikulators eine Distraction sowie eine leichte Sperrung des ursprünglichen Bisses zu gewährleisten.

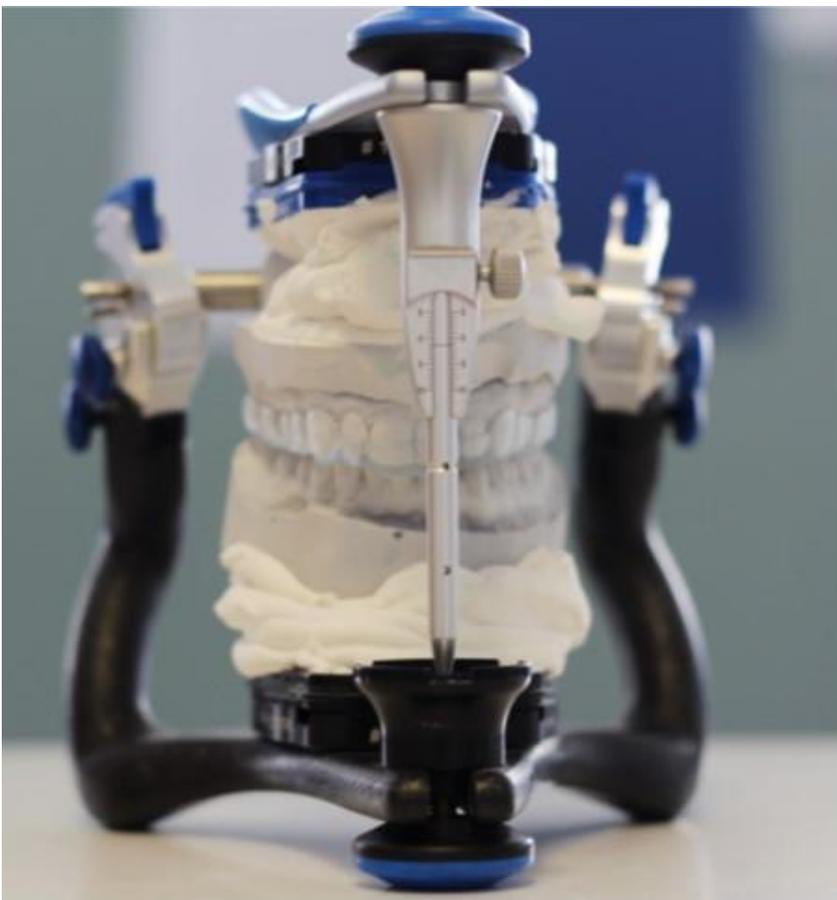


Abbildung 4: Artex-Artikulator mit Modellen und Schiene

Die nun auf den konstruierten Distraktionsbiss einartikulierten Modelle sind mittels Optical 3D Scanner Activity 885 (smart optics Sensortechnik GmbH) für die CAD-Einheit digitalisiert worden. Auf Basis der digitalen Modelle wurde für den Oberkiefer nun eine Aufbisschiene konstruiert (Siehe Abbildung 5). Der Konstruktionsprozess entsprach hierbei dem einer Stabilisierungsschiene, da der Neutralbiss der wieder einartikulierten Modelle einer konstruierten Distraction der Kondylen um 1 mm sowie einer Sperrung des Stützstiftes um 2 mm entsprach. Die Schienen wurden mit einer okklusalen Dicke von 2,50 mm sowie einer peripheren Dicke von 1 mm gestaltet. Die automatische Glättung der Oberfläche wurde mit einem Solldurchmesser des Glättungswerkzeugs von 3 mm eingestellt. Unterschnitte wurden bis zu einer Länge von 0,10 mm zugelassen. Der Abstand der Unterschnitte zum Modell betrug 0,15 mm mit einem Winkel von 0°. Für die Schienenunterseite wurde für die automatische Glättung ein Solldurchmesser des Glättungswerkzeugs von 1 mm verwendet, sowie eine Mindestdicke von 0,60 mm bei geplanter Verwendung eines Fräskopfdurchmessers von 1,1 mm konstruiert.

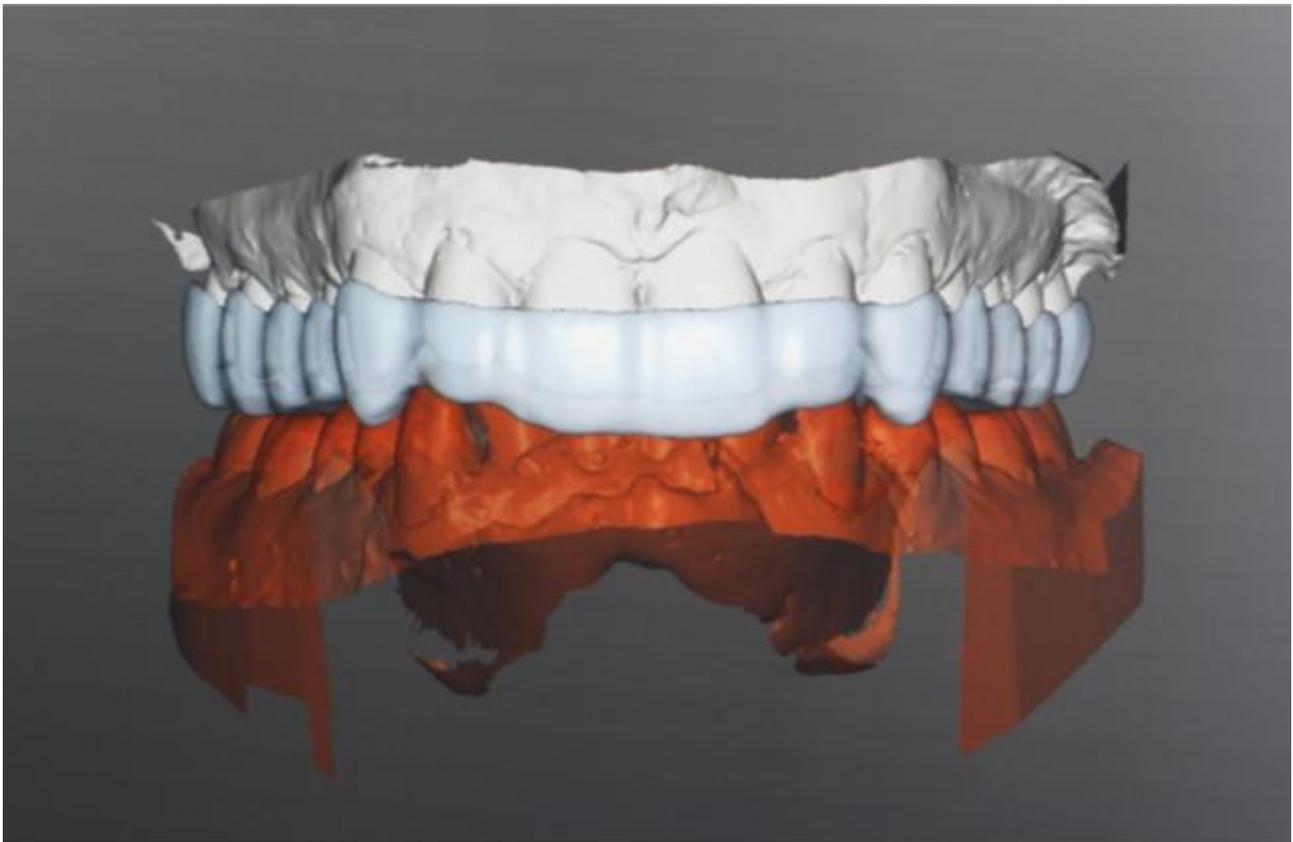


Abbildung 5: Am Computer konstruierte Schiene vor der Fertigstellung durch die CAM-Einheit

Anschließend wurde eine okklusale Glättung im Seitenzahnbereich durchgeführt. Diese bewirkt, dass anstatt eines Reliefs eine glatte Fläche auf der Schiene konstruiert wird. Nur leichte Impressionen an den gewählten Kontaktpunkten oder Erhebungen, die notwendig waren, um die Mindeststärke der Schiene von 0,60 mm nicht zu unterschreiten, durften belassen werden. Die okklusalen Kontakte wurden sowohl für die Front- als auch für die Seitenzähne mit gleicher Stärke konstruiert. Für Molaren wurden jeweils mindestens zwei Kontaktpunkte und für Prämolaren und Frontzähne wurde jeweils mindestens ein Kontakt gewählt (Siehe Abbildung 6). Die Begrenzungen der Schiene entsprachen vestibulär den girlandenförmigen Verläufen der vestibulären Zahnflächen sowie palatinal dem Gingivaverlauf. Nun konnte mittels des vom Hersteller zur Verfügung gestellten Schleifprotokolls von der Computer-aided-Manufacturing-Einheit die Schiene automatisch gefräst werden. Anschließend wurde eine manuelle Kontrolle der Okklusion im Artikulator mit der fertigen Schiene durchgeführt.

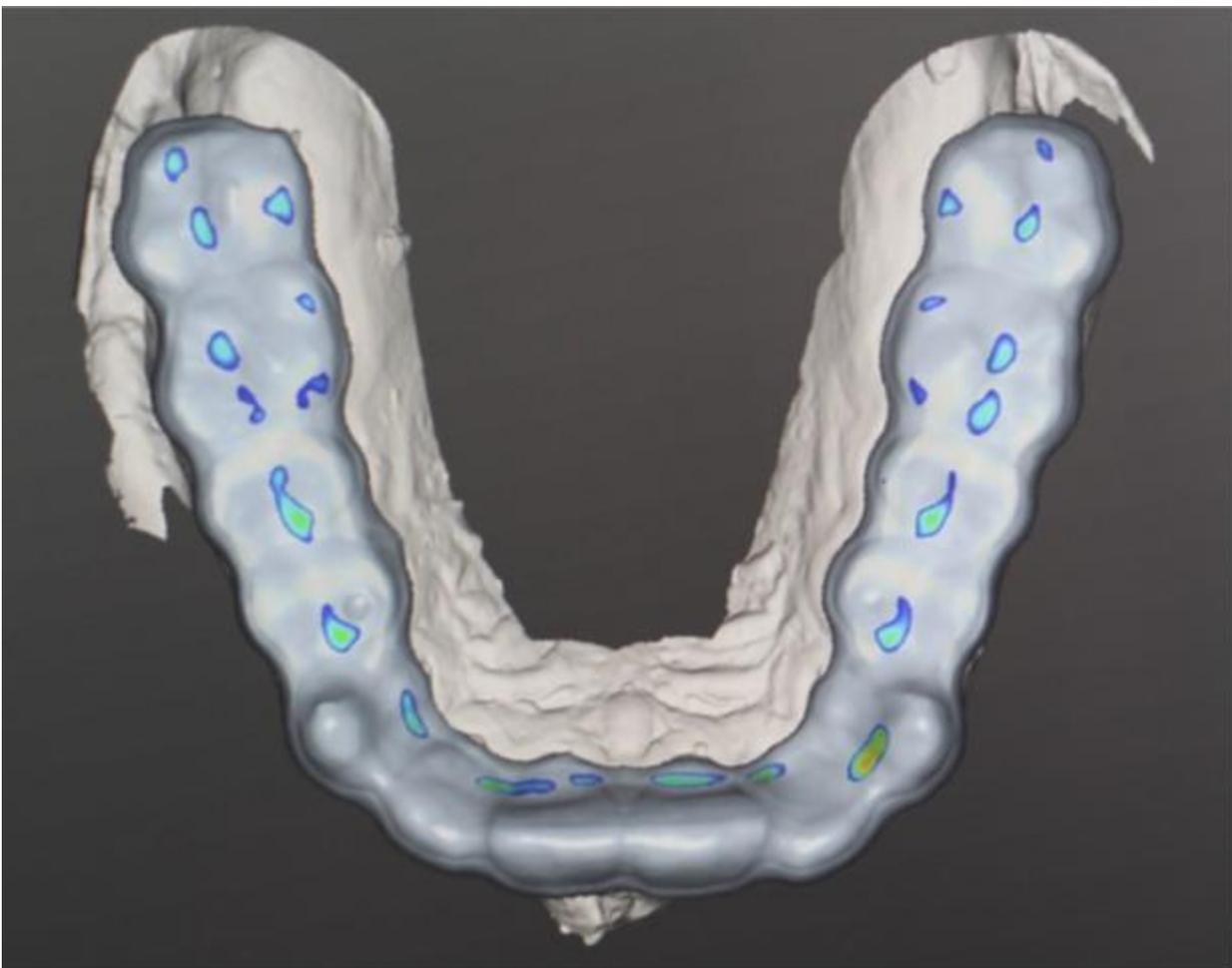


Abbildung 6: Schienenkonstruktion in der Okklusalansicht. Die antagonistischen Kontakte sind farblich markiert.

3.4 Untersuchung

Die Probanden, die im Rahmen der Voruntersuchung unauffällig gewesen waren, wurden gebeten, entspannt in einem zahnärztlichen Behandlungsstuhl zu sitzen. Die Probanden saßen in aufrechter Körperhaltung. Ein Paraokklusalsplint, der als Halterung für den Ultraschallsender diente, wurde mittels Struktur 2 SC/QM individualisiert. Dies geschah, indem der Splint mit dem Komposit an die Vestibulärflächen der Zähne des Unterkiefermodells angepasst wurde. Des Weiteren diente diese Maßnahme zur Stabilisierung des Paraokklusalsplints gegen etwaige deformierende Kräfte. Diese sind insbesondere Hebelkräfte, die unwillkürlich durch die mimische Muskulatur hervorgerufen werden können. Hierbei wurde akribisch darauf geachtet, dass der Paraokklusalsplint nicht die maximale Interkuspitation oder die funktionellen Grenzbewegungen behindert. Anschließend ist der Paraokklusalsplint mittels Futar bei relativer Trockenlegung im Unterkiefer befestigt worden. Überstände, die möglicherweise die statische oder dynamische Okklusion hätten behindern können, wurden unter Kontrolle entfernt. Eine manuelle Kontrolle des Haltes des Paraokklusalsplintes wurde durchgeführt. Wenn der mechanische Halt des Splints durch die Unterschnitte der Vestibulärflächen nicht gewährleistet werden konnte, wurde Provicol als zusätzliches chemisches Haftmittel genutzt. Anschließend wurde der Sensorbogen an der Schädelkalotte angebracht (Siehe Abbildung 7). Die Glabellastütze am Nasion, ein Gummiband occipital sowie ein parietal verlaufendes Band aus Kunststoff dienten zur Fixation. Nachdem der Gesichtsbogen in Position gebracht war, wurde mittels der seitlich angebrachten Schraubhalterungen eine leichte Spannung auf den Gesichtsbogen gebracht. Dies diente dazu, den Halt zu optimieren. Danach wurde das System kalibriert. Als Referenzpunkte wurden mithilfe eines Stiftes am Unterkieferbogen die Position des Kiefergelenks (1 mm anterior des Tragus beidseits) sowie der untere knöchernen Rand der Orbita ermittelt. Aus den drei gemessenen Punkten errechnete der Computer eine Referenzebene.

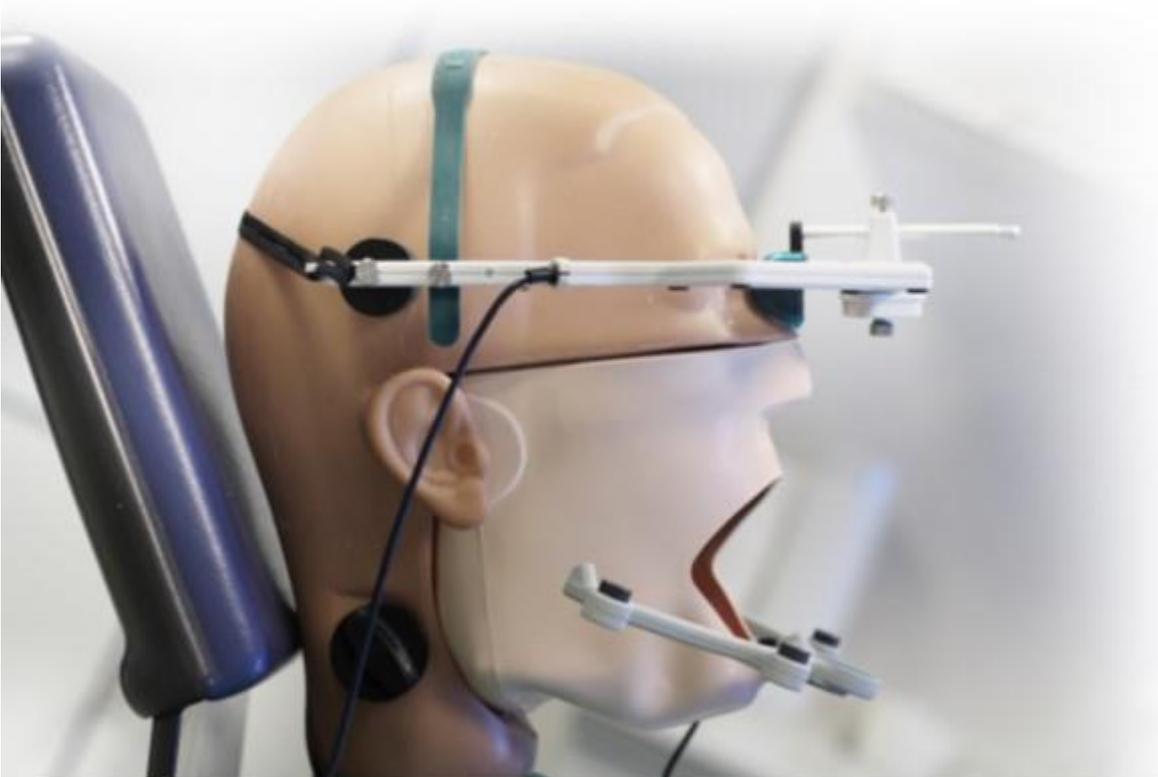


Abbildung 7: JMAnalyser-Gesichtsbogen zur Veranschaulichung am Phantomkopf angebracht

Die Mandibula-Positions-Analyse ermittelt mittels vier Ultraschallsensoren ausgehend von einem Referenzpunkt, der zu Beginn jedes Messdurchlaufs festgelegt wird, eine Positionsveränderung des Kondylus im Kiefergelenk. Zuerst wurde als Referenzpunkt die zentrische Kondylenposition ermittelt. Darauf basierend wurde die Positionsänderung des Kondylus in habitueller Okklusion sowie maximaler Interkuspitation eruiert. Es wurden Probedurchläufe durchgeführt, um den Patienten mit dem Ablauf der Untersuchung vertraut zu machen. Anschließend wurde in jeweils fünf Messdurchläufen mit und ohne Schiene gemessen, in welcher Dimension sich die Position des Kondylus im Kiefergelenk verändert. Zu beachten war hierbei, dass das Messsystem bei Patienten mit einem frontalen Tiefbiss ab 4 mm aufgrund von Frontzahnkontakten auf dem Paraokklusalsplint keine zuverlässige und genaue Messung zuließ. Eine stabile Befestigung des Paraokklusalsplintes, die eine störkontaktfreie maximale Interkuspitation ohne Schiene zulässt, war in diesem Fall nicht möglich (Siehe Abbildung 8). Dies führte dazu, dass bei Probanden mit Overbite ab 4 mm die MPA nur mit inserierter Distractionsschiene durchgeführt werden konnte.



Abbildung 8: Schematische Darstellung des Paraokklusalsplintes bei frontal nicht tiefem Biss im Vergleich zum frontalen Tiefbiss. Beim frontalen Tiefbiss lässt der Paraokklusalsplint keine vollständige Okklusion zu, sodass zuverlässige Messungen ohne Schiene nicht möglich sind. Mit Schiene relativiert sich dieser Effekt.

Im Folgenden werden die drei Messpunkte erläutert. Als Referenzpunkt wurde stets die zentrische Kondylenposition verwendet. Hierzu wurde der Patient gebeten, seine Kaumuskulatur zu entspannen und den Mund unter Vermeidung einer Okklusion der Zähne wiederholt zu öffnen und unvollständig zu schließen. Der Untersucher hatte hierbei seine Hand am Kinn. Diese diente nicht der Manipulation, sondern nur der Kontrolle. Hierdurch wurde taktil überprüft, dass der Patient keine unbewussten Laterotrusions- oder Protrusionsbewegungen durchführte. Wenn der Patient und der Behandler das Gefühl hatten, dass sich das Kausystem in einem Zustand der neuromuskulären Relaxation befindet, kontrollierte der Untersucher diesen Status mit leichten und sanften Bewegungen der Mandibula durch die eigene Hand. Wenn kein muskulärer Widerstand zu fühlen war, wurde der Patient gebeten, langsam den Mund bis zum ersten Zahnkontakt zu schließen. Dieser Punkt galt als zentrische Kondylenposition und damit als Referenzpunkt. Durch Anheben der Hand signalisierte der Patient, dass er die jeweils geforderte Position eingenommen hatte. Der Untersucher löste daraufhin die Messung mittels Fußpedal aus. Anschließend wurde der Proband mit dem Kommando „jetzt leicht auf die Seitenzähne beißen“ gebeten die habituelle Okklusion einzunehmen. Der Patient signalisierte wieder mit erhobener Hand, dass er die Aufforderung durchgeführt hatte. Das Kommando „jetzt stark auf die Seitenzähne beißen“ leitete die Messung der maximalen Interkuspitation ein. Auch diese Messung wurde durchgeführt, sobald der Patient mit Handzeichen signalisierte, dass er die geforderte Position eingenommen hatte. Nachdem alle drei Messungen abgeschlossen waren, wiederholte man den Testdurchlauf, bis der Proband mit und ohne Schiene jeweils fünf Mal getestet worden war.

Für jeden Messdurchgang errechnete das Programm WinJaw+ einen Bericht, der die Ergebnisse sowohl grafisch als auch in Zahlen darstellte (Siehe Abbildung 9 und 10).

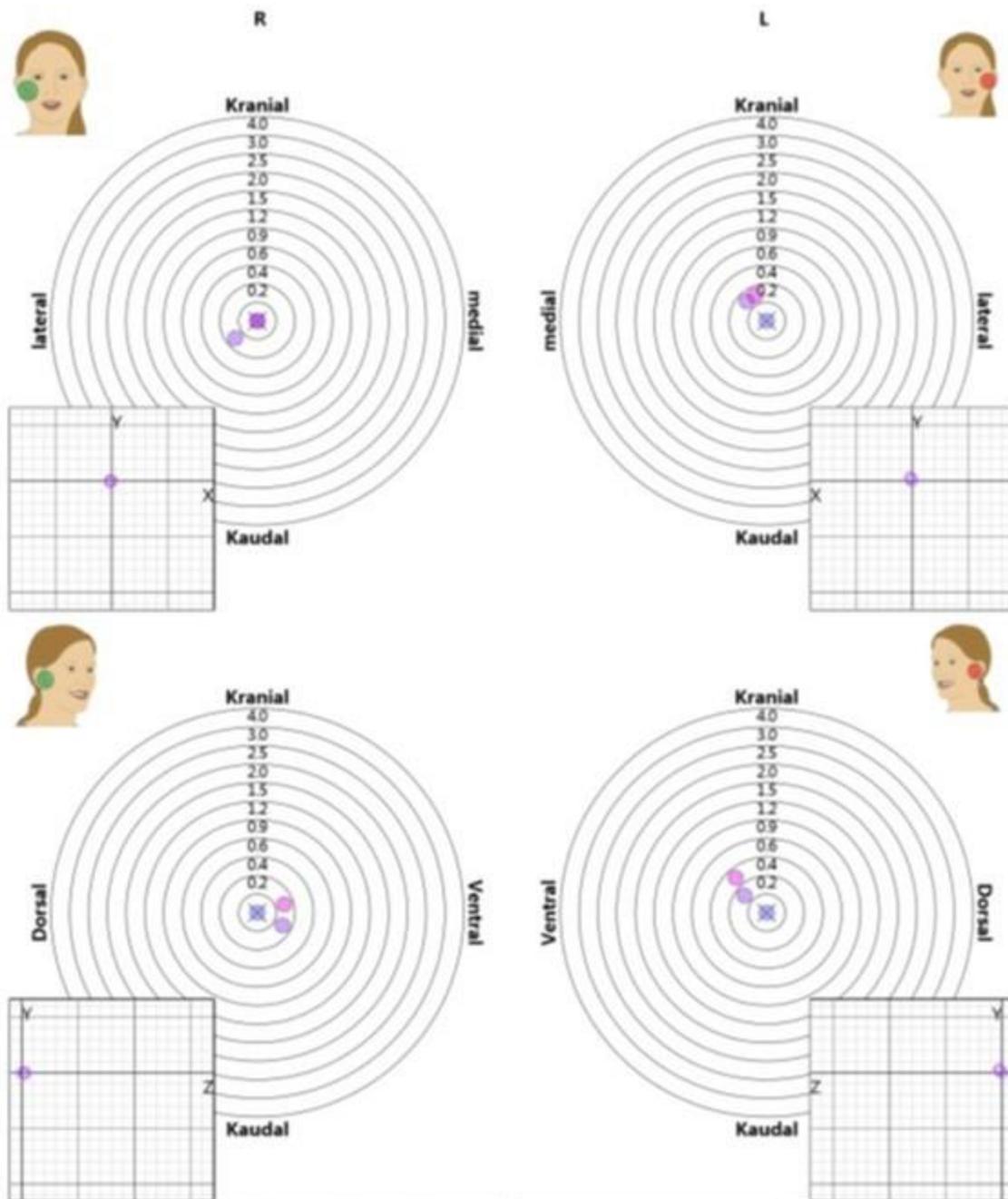


Abbildung 9: Beispiel einer Ausgabe der Messergebnisse einer EPA durch das Programm WinJaw+. Die Messungen wurden in diesem Fall ohne Schiene durchgeführt. Zusätzlich wurden die Messwerte auch tabellarisch ausgegeben.

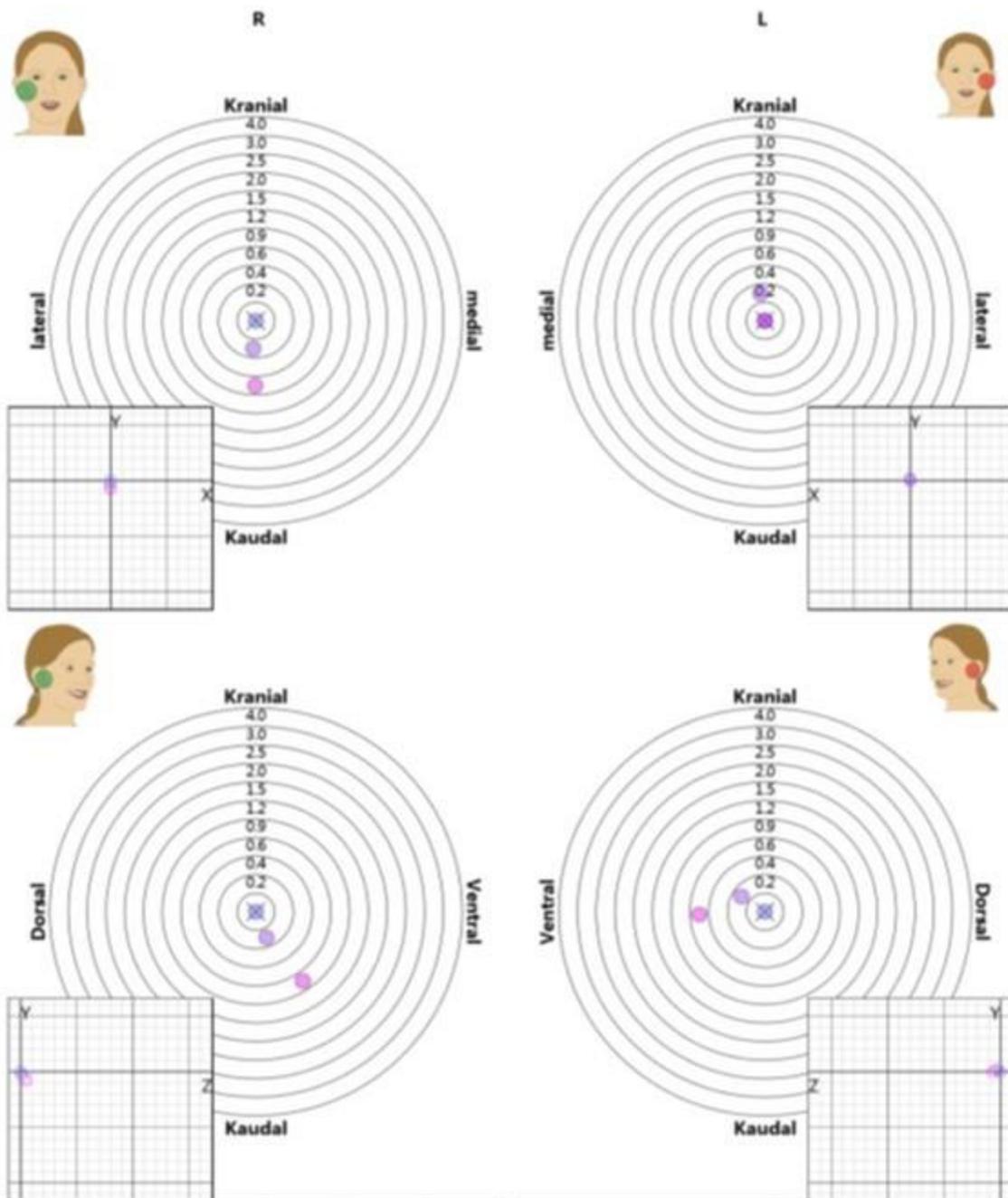


Abbildung 10: Beispiel einer Ausgabe der Messergebnisse einer EPA durch das Programm WinJaw+. Die Messungen wurden in diesem Fall mit Schiene durchgeführt. Zusätzlich wurden die Messwerte auch tabellarisch ausgegeben.

3.5 Statistische Auswertung

Bei fünf Probanden war eine Messung ohne Schiene aus morphologischen Gründen nicht möglich. Bei den anderen 14 Probanden konnten die Messungen sowohl mit als auch ohne Schiene durchgeführt werden. Daraus ergab sich für die Messungen ohne Schiene eine Anzahl von 1260 Datensätzen, für die Messung mit Schiene entstanden 1710 Datensätze. Für die Auswertung wurden die arithmetischen Mittelwerte aus den jeweils fünf Messdurchläufen zur weiteren Verarbeitung verwendet. Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 23 auf dem Betriebssystem Windows XP. Die errechnete deskriptive Statistik umfasste Mittelwert und Standardabweichung, Varianz sowie Minima und Maxima der ermittelten Werte. Der Vergleich der ermittelten Werte mit und ohne Schiene wurde mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ durchgeführt. Eine α -Adjustierung musste aufgrund dessen, dass nur zwei Gruppen miteinander verglichen wurden, nicht durchgeführt werden.

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeine Betrachtung der Messergebnisse

Die aufgeführten Messwerte sind stets als ermittelte Positionsänderungen ausgehend von der zentrischen Kondylenposition zu verstehen. Die Positionsänderungen wurden in drei Achsen gemessen und dargestellt (Siehe Abbildung 11 bis 23).

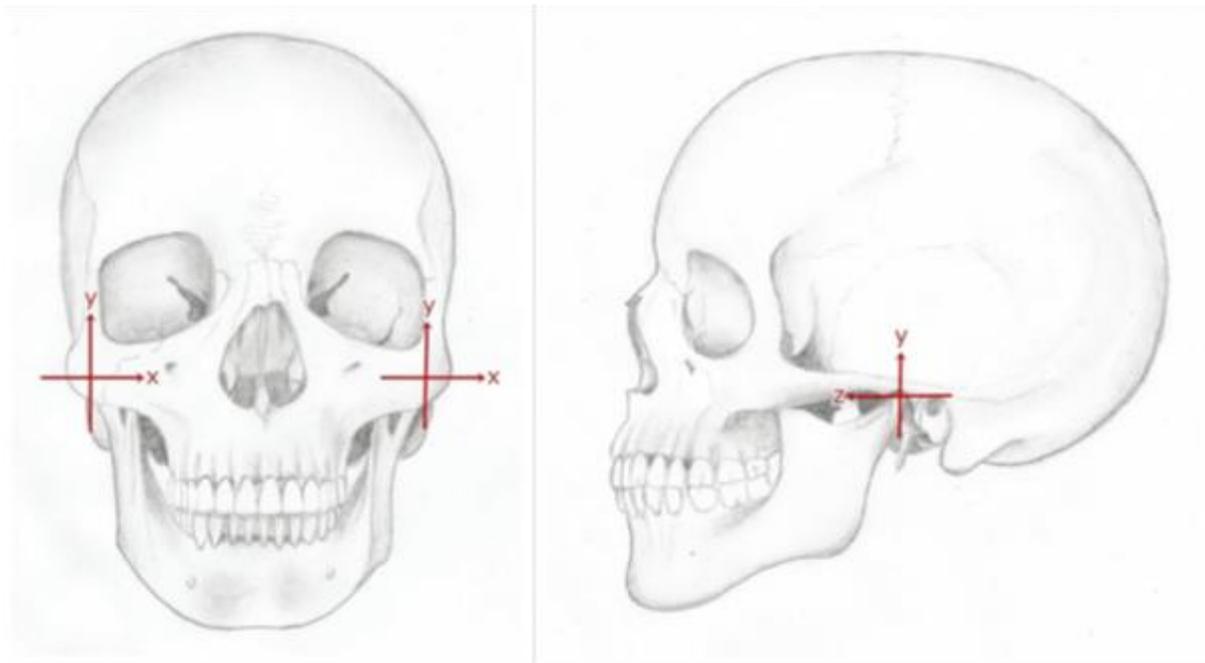


Abbildung 11: Darstellung der drei Achsen, in denen die Messergebnisse des ZEBRIS JMA gemessen wurden.

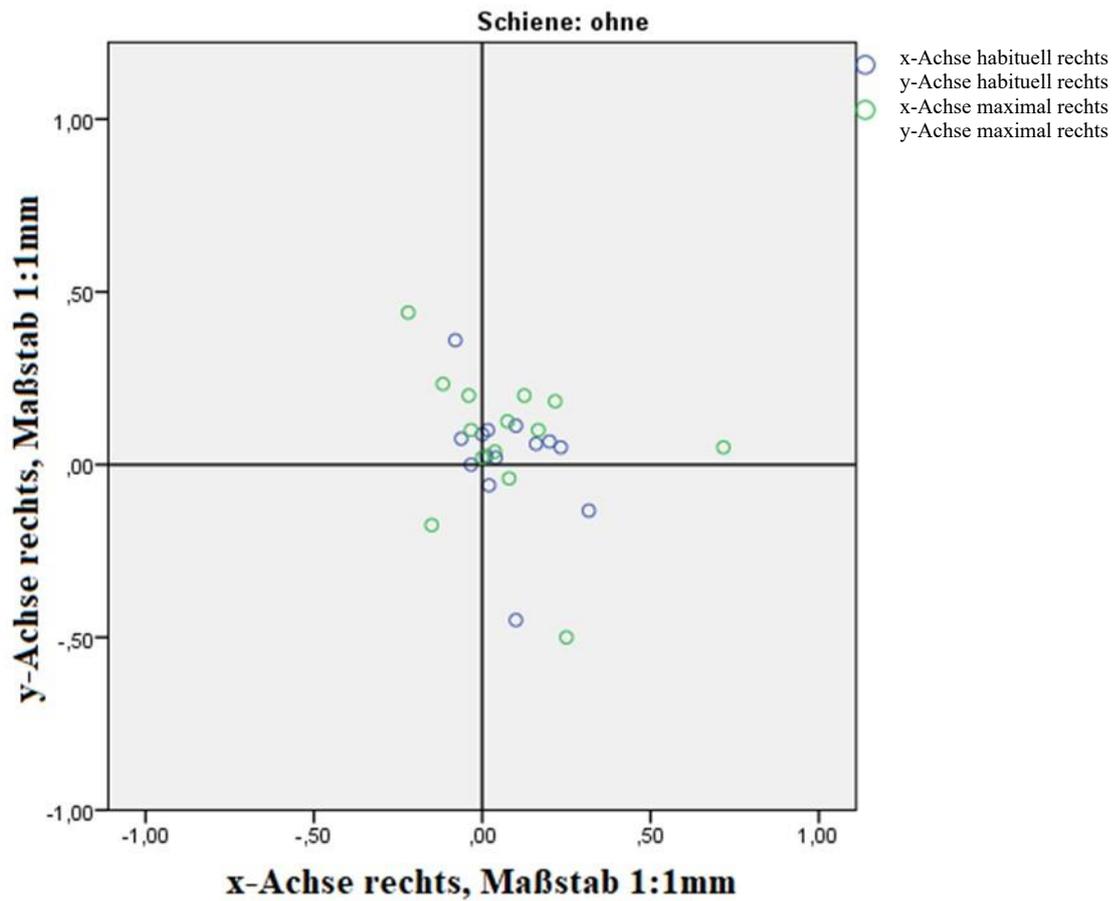


Abbildung 12: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der rechten Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Medialbewegung, negative Werte einer Lateralbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative Werte einer Kaudalbewegung).

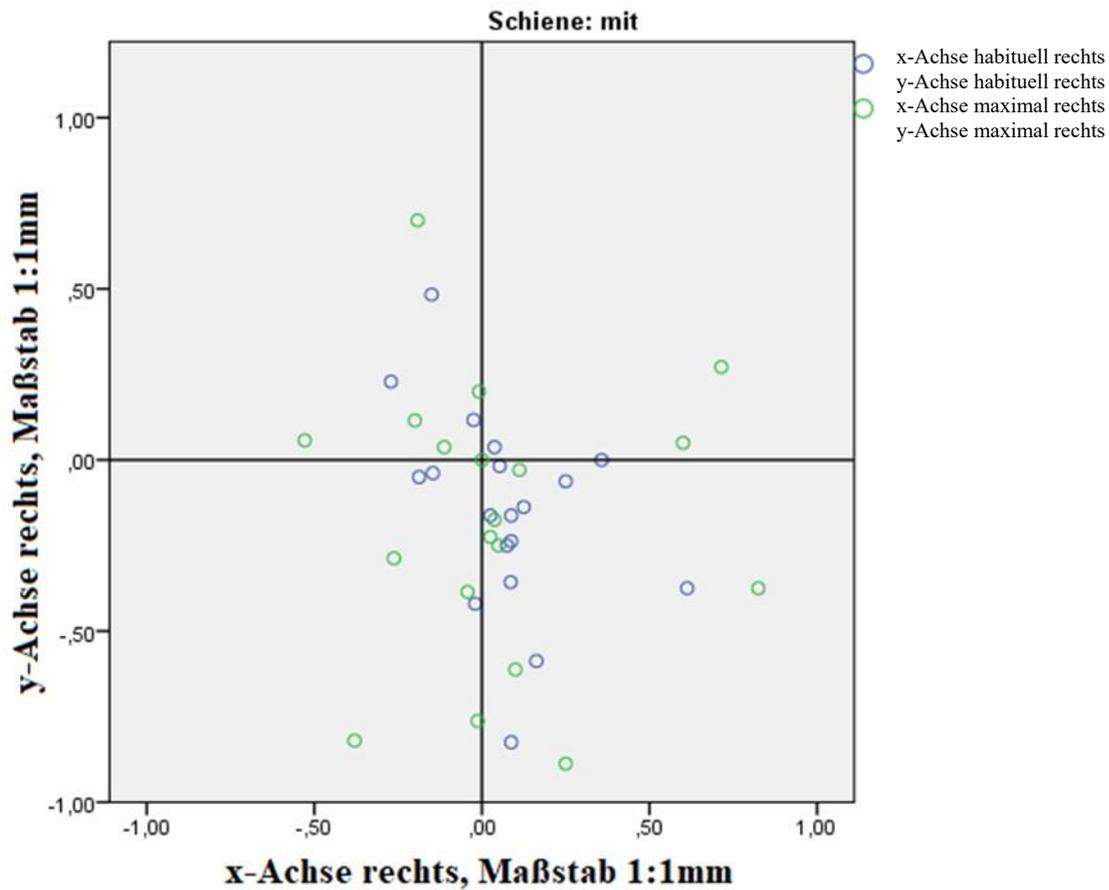


Abbildung 13: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der rechten Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Medialbewegung, negative Werte einer Lateralbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative Werte einer Kaudalbewegung).

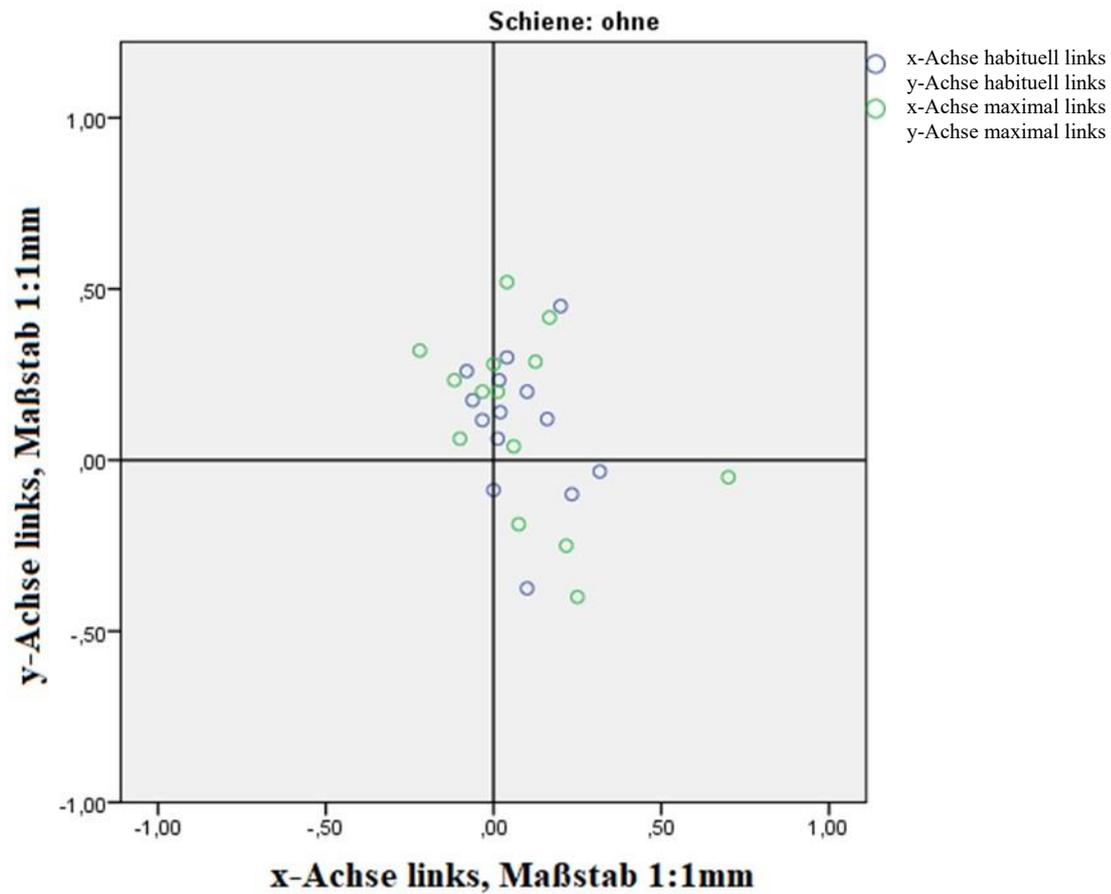


Abbildung 14: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der linken Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Lateralbewegung, negative Werte einer Medialbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative Werte einer Kaudalbewegung).

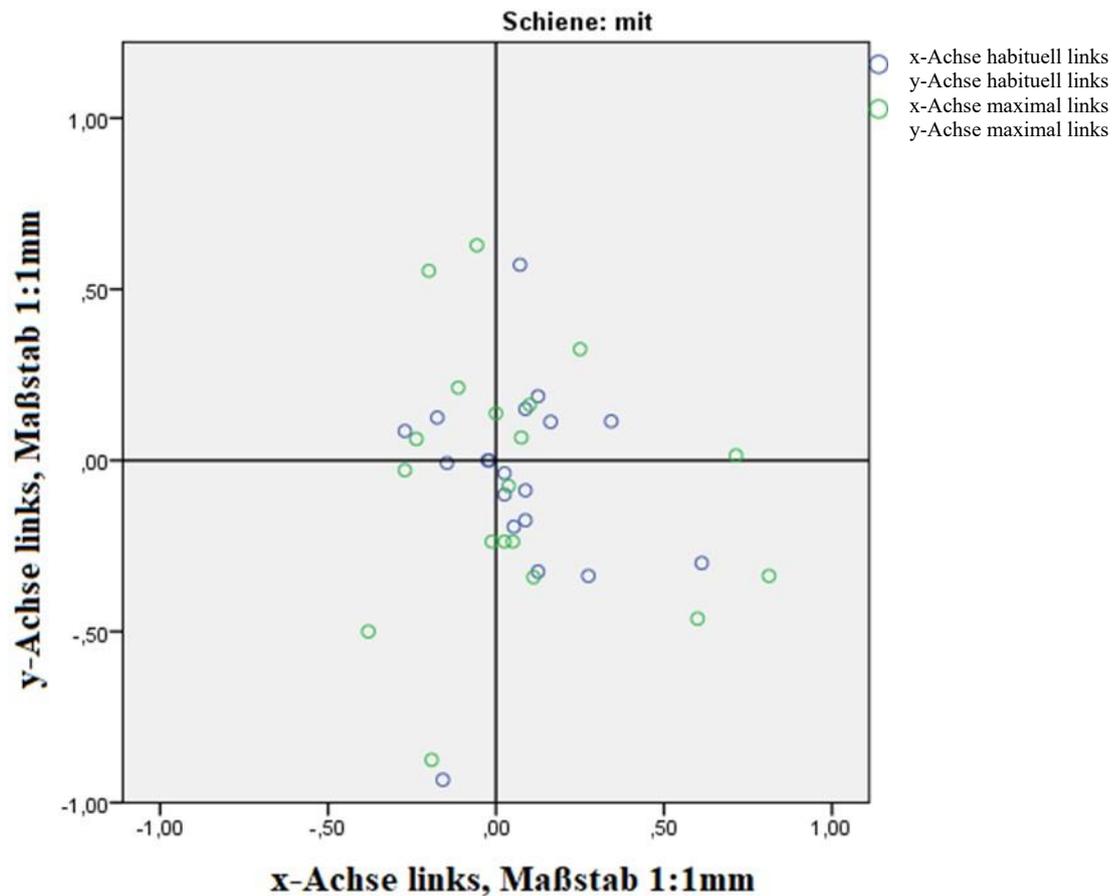


Abbildung 15: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der linken Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Lateralbewegung, negative Werte einer Medialbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative Werte einer Kaudalbewegung).

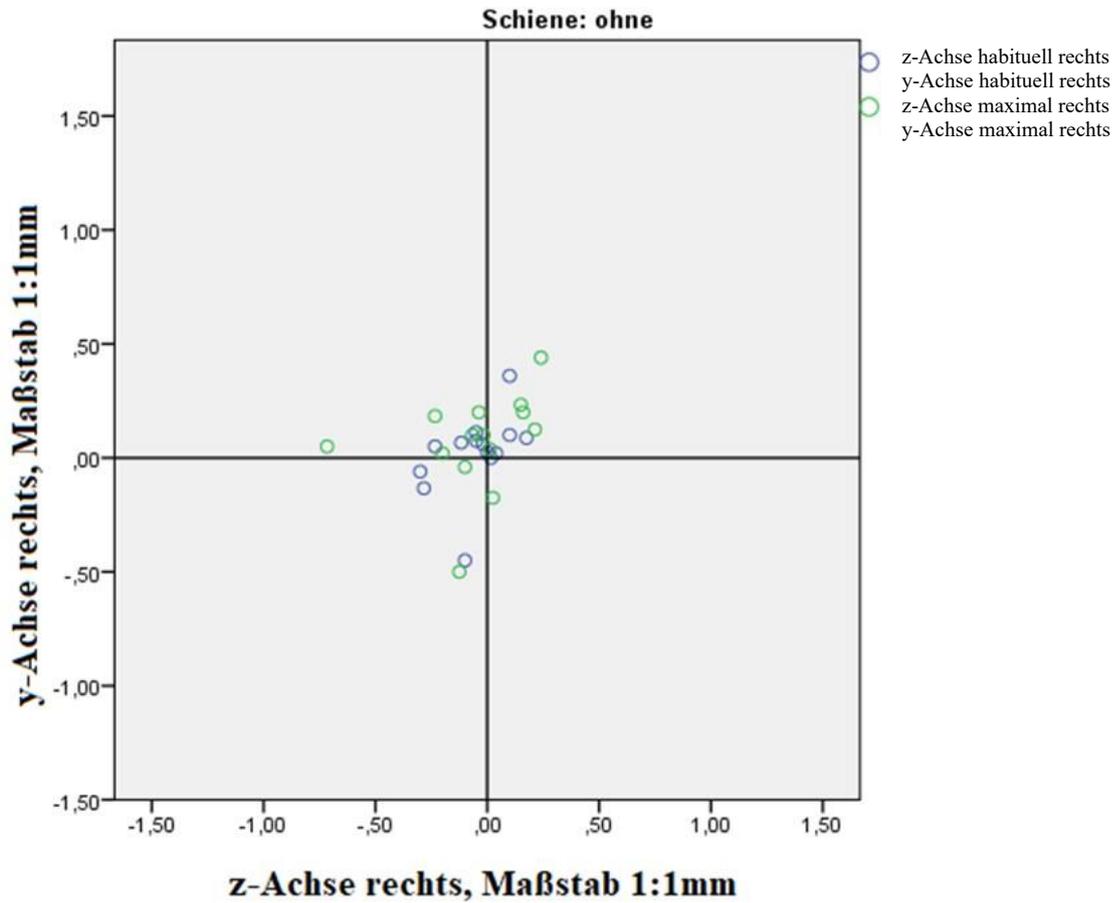


Abbildung 16: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der rechten Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative einer Kaudalbewegung).

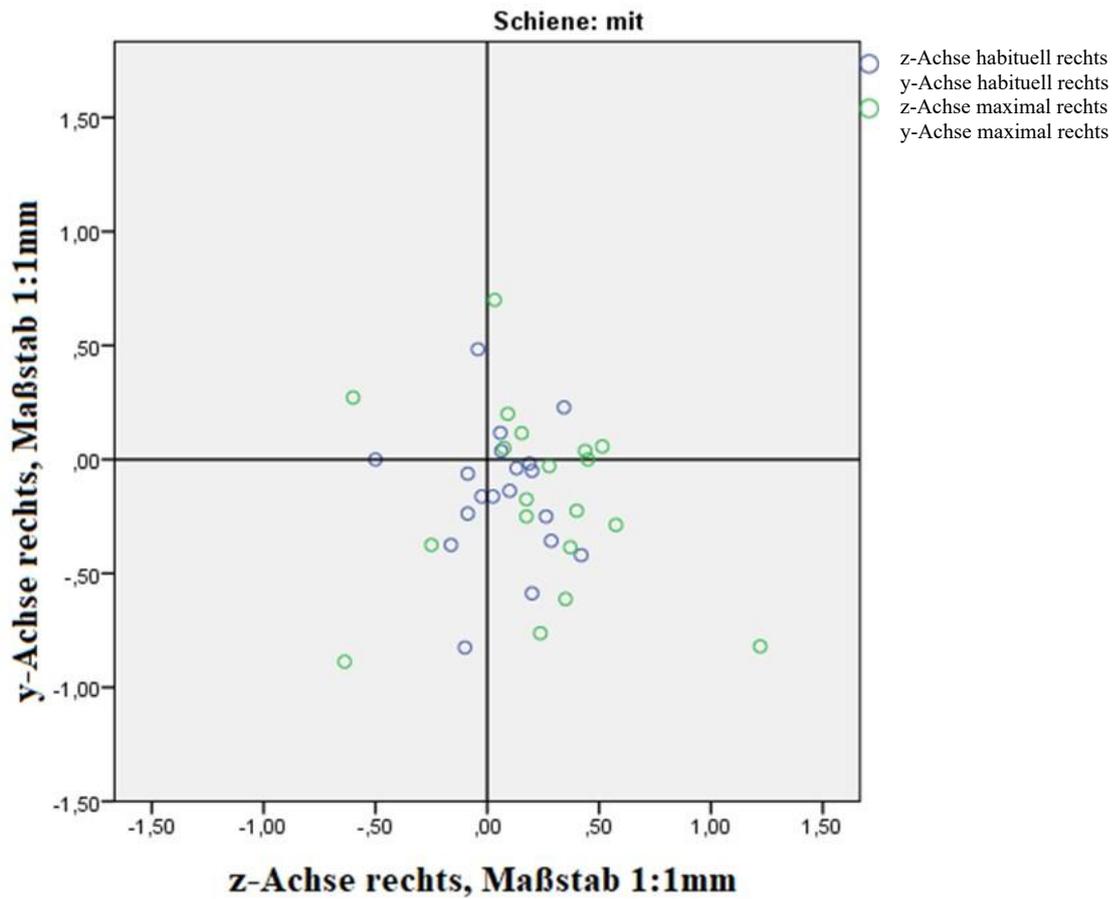


Abbildung 17: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der rechten Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative Werte einer Kaudalbewegung).

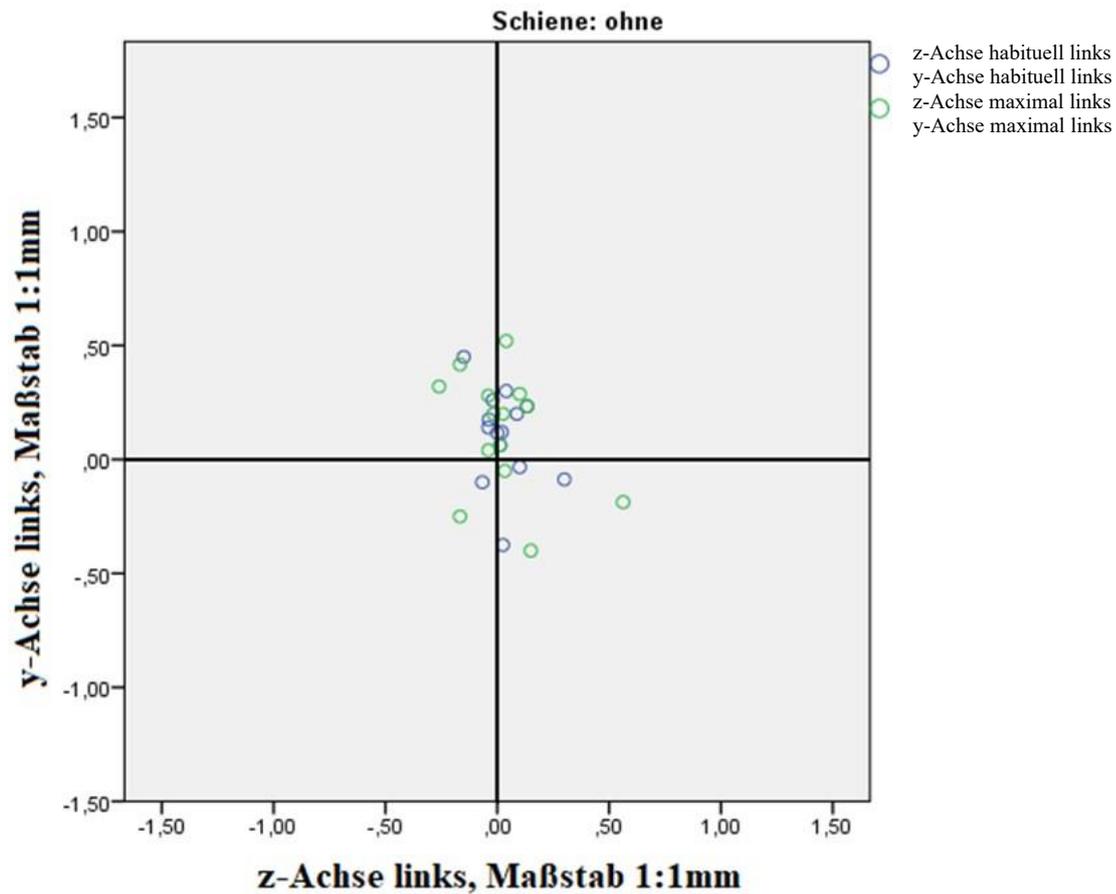


Abbildung 18: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der linken Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative Werte einer Kaudalbewegung).

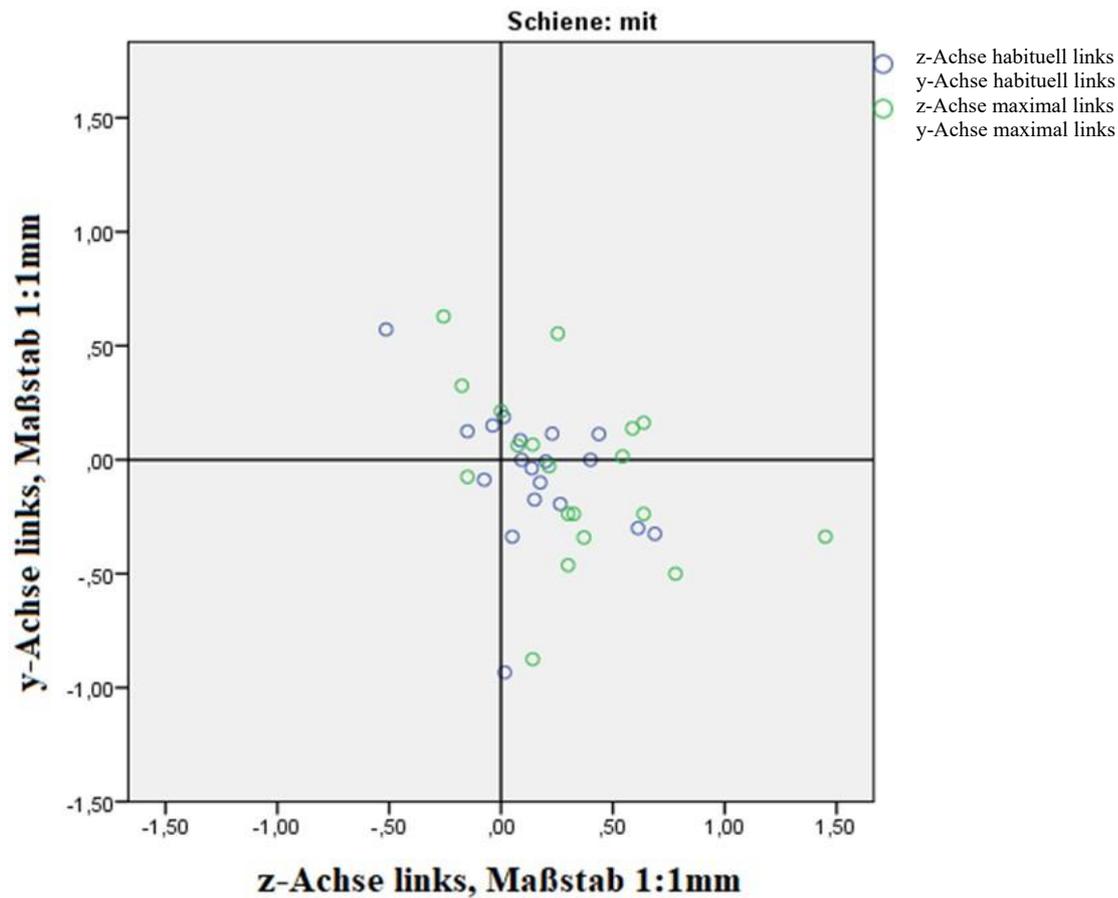


Abbildung 19: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der linken Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung). Die y-Achse entspricht der Kondylenbewegung in vertikaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Kranialbewegung, negative Werte einer Kaudalbewegung).

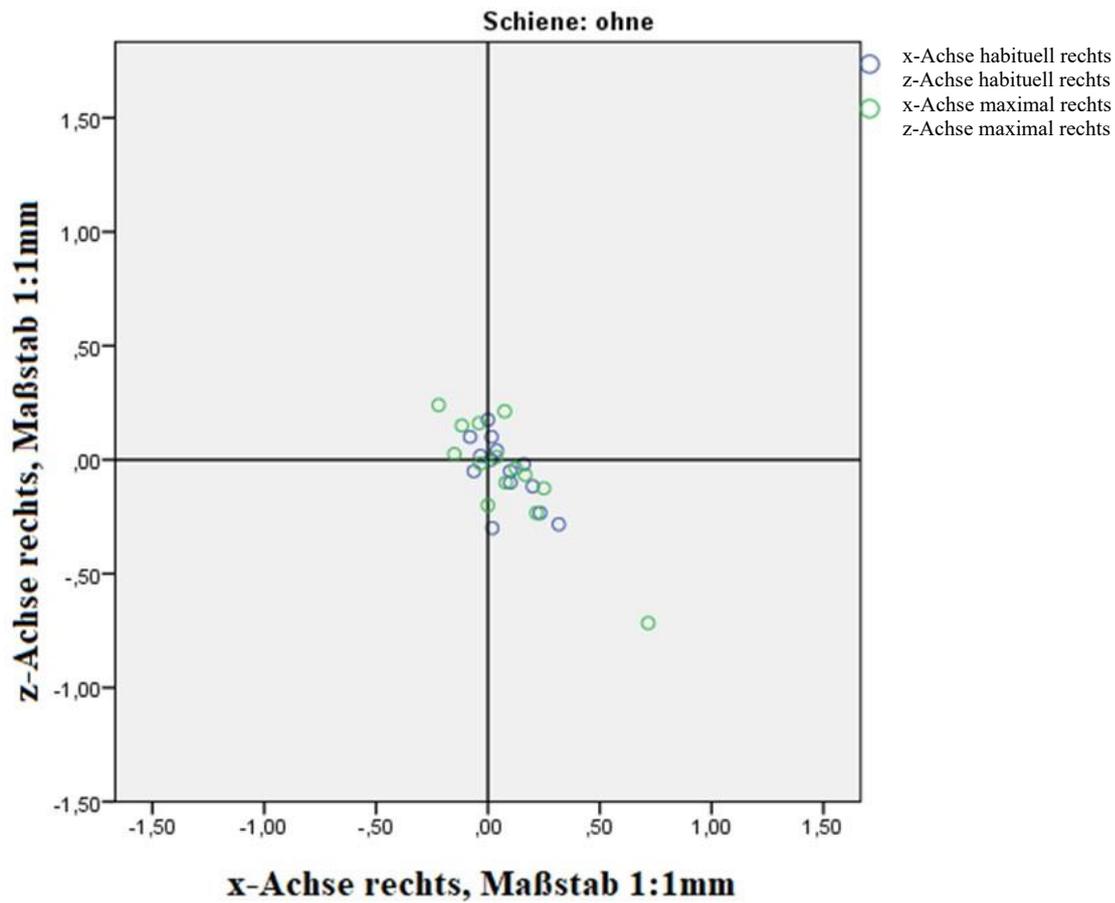


Abbildung 20: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der rechten Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Medialbewegung, negative Werte einer Lateralbewegung). Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung).

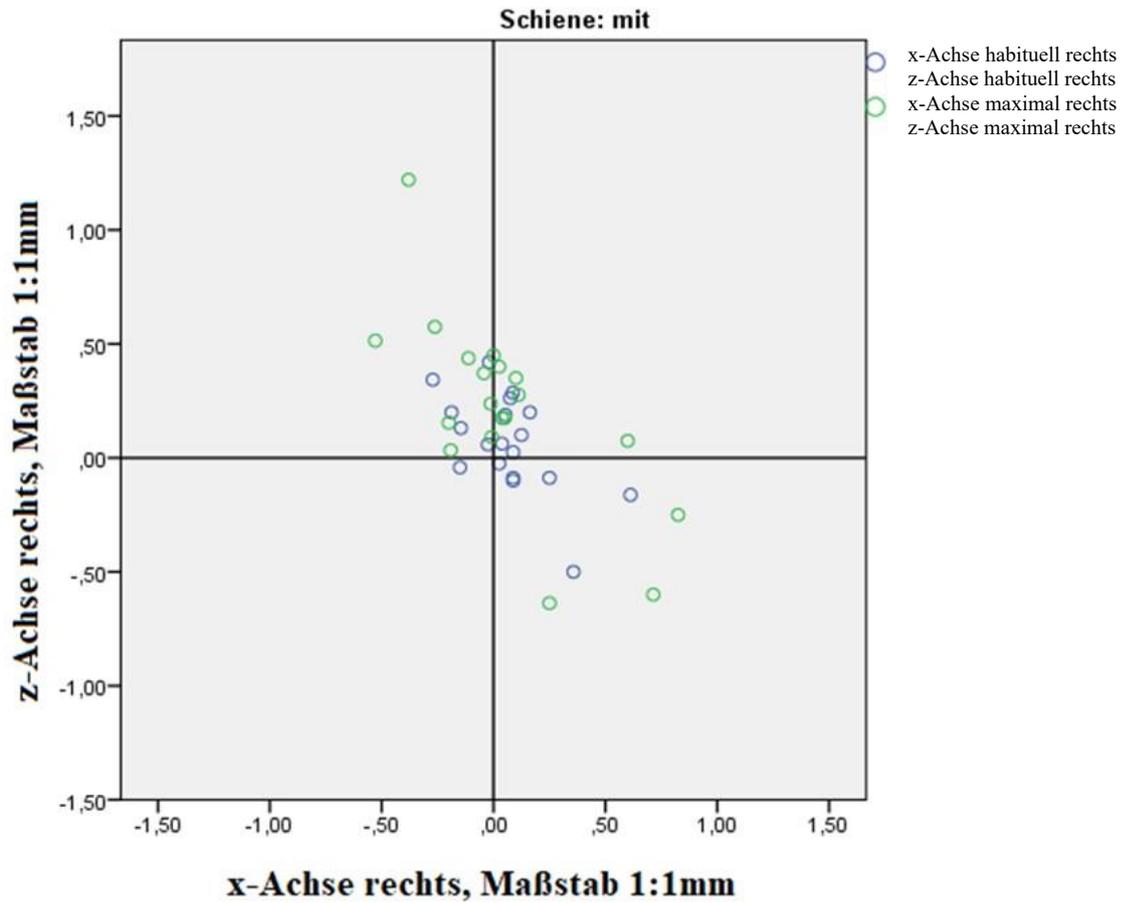


Abbildung 21: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der rechten Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Medialbewegung, negative Werte einer Lateralbewegung). Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung).

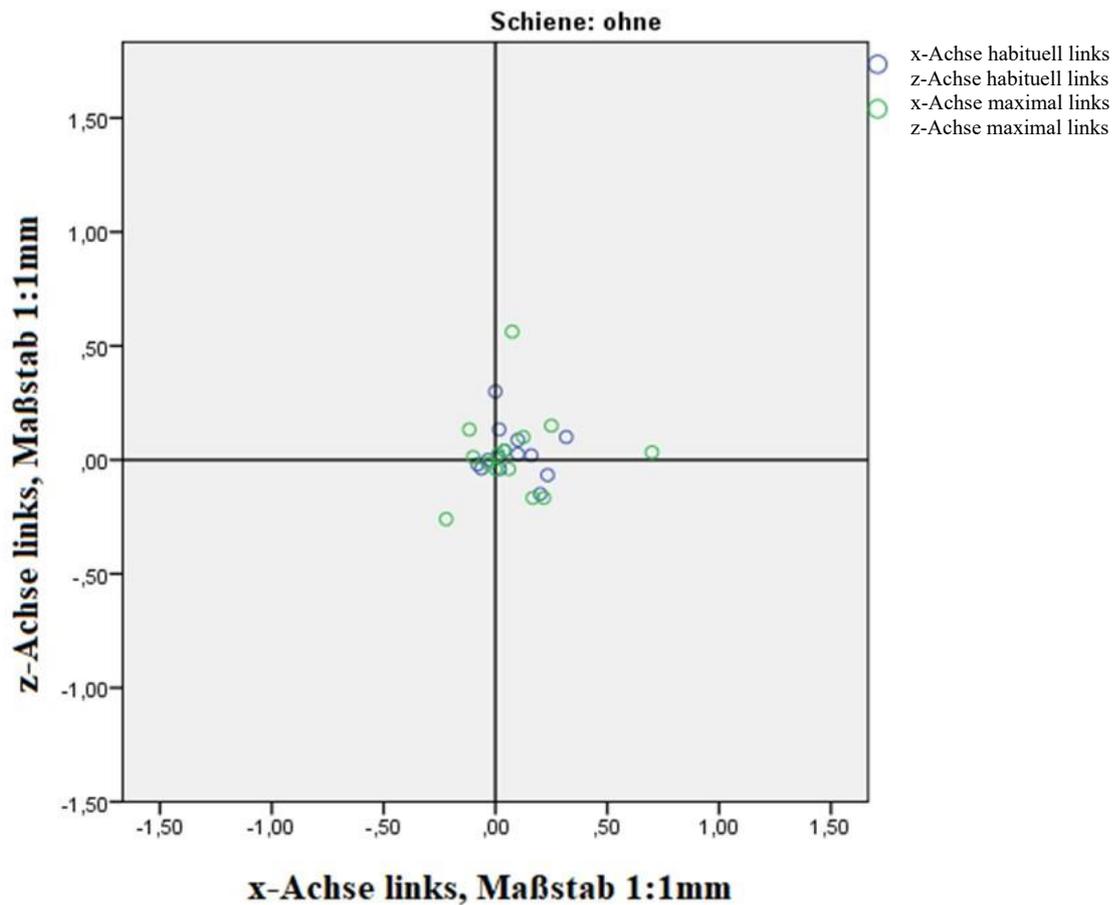


Abbildung 22: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der linken Kondylen aller ohne Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Lateralbewegung, negative Werte einer Medialbewegung). Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung).

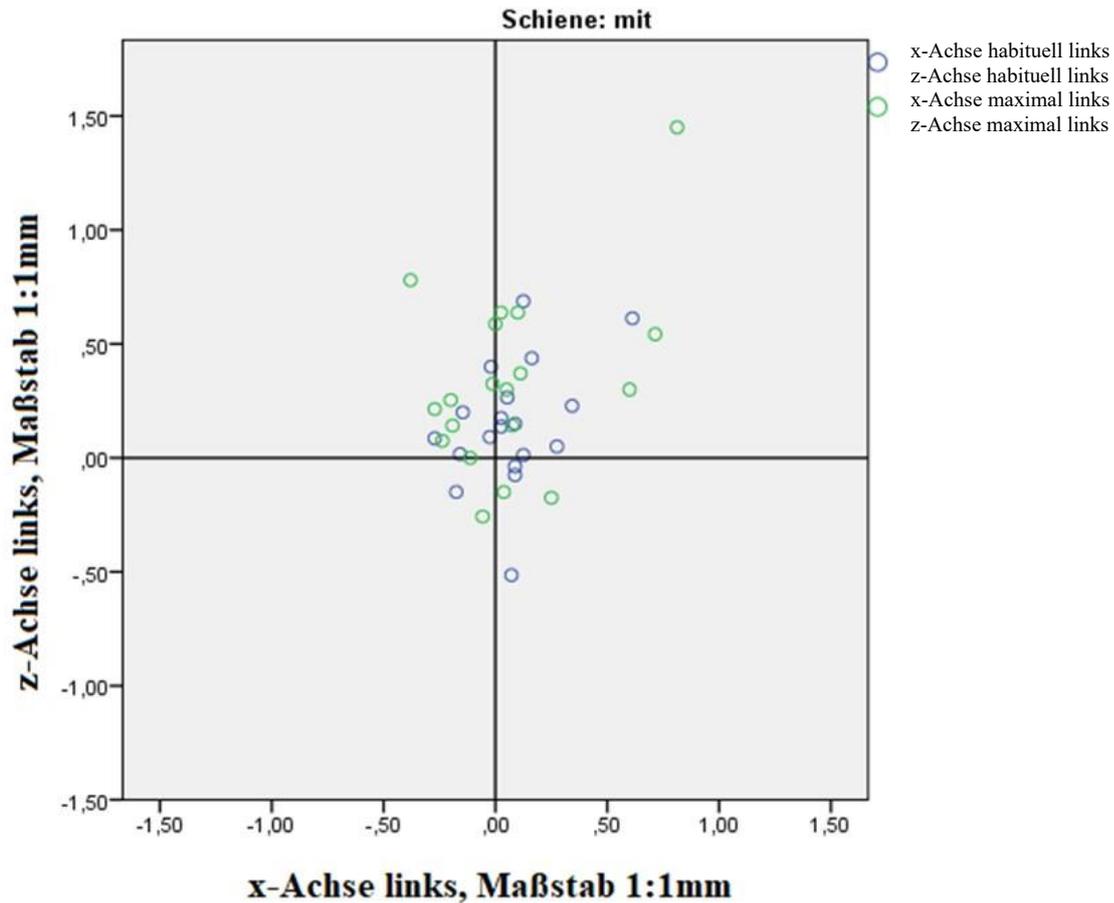


Abbildung 23: Das Wolkendiagramm zeigt die Positionsänderungen der linken Kondylen aller mit Schiene gemessenen Fälle. Dargestellt sind die Messungen in habitueller (blau) und maximaler (grün) Okklusion. Die x-Achse entspricht der Kondylenbewegung in horizontaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Lateralbewegung, negative Werte einer Medialbewegung). Die z-Achse entspricht der Kondylenbewegung in sagittaler Richtung (positive Werte entsprechen einer Anteriorbewegung, negative Werte einer Posteriorbewegung).

4.2 Deskriptive Statistik der Messergebnisse des Zebris JMA

4.2.1 Mandibularpositionsänderungen ohne Distractionsschiene

Bei den Messungen ergab sich für die x-Achse (horizontal) am **rechten Kondylus** in **habituellem Okklusion** als Mittelwert:

$$x = 0,07 \text{ mm} \pm 0,12 \text{ mm}$$

(Min.: -0,08 mm; Max.: 0,32 mm)

Am **linken Kondylus** ergaben die Messungen in der x-Achse bei **habituellem Kieferschluss** als Mittelwert:

$$x = 0,07 \text{ mm} \pm 0,12 \text{ mm}$$

(Min.: -0,08 mm; Max.: 0,32 mm)

Bei **maximaler Interkuspitation** ergaben die Messungen am **rechten Kondylus** den Mittelwert:

$$x = 0,08 \text{ mm} \pm 0,23 \text{ mm}$$

(Min.: -0,22 mm; Max.: 0,72 mm)

Am **linken Kondylus** ließ sich bei **maximaler Interkuspitation** folgender Mittelwert errechnen:

$$x = 0,08 \text{ mm} \pm 0,22 \text{ mm}$$

(Min.: -0,22 mm; Max.: 0,70 mm)

In der y-Achse (vertikal) ergaben die Messungen bei **habituellem Okklusion** am **rechten Kondylus** den Mittelwert:

$$y = 0,02 \text{ mm} \pm 0,17 \text{ mm}$$

(Min.: -0,45 mm; Max.: 0,36 mm)

Am **linken Kondylus** betrug der Mittelwert bei **habituellem Okklusion**:

$$y = 0,10 \text{ mm} \pm 0,20 \text{ mm}$$

(Min.: -0,38 mm; Max.: 0,45 mm)

Bei **maximaler Interkuspitation** ergaben die Messungen am **rechten Kondylus** den Mittelwert:

$$y = 0,07 \text{ mm} \pm 0,22 \text{ mm}$$

(Min.: -0,50 mm; Max.: 0,44 mm)

Am **linken Kondylus** betrug der Mittelwert bei **maximaler Interkuspitation**:

$$y = 0,12 \text{ mm} \pm 0,26 \text{ mm}$$

(Min.: -0,40 mm; Max.: 0,52 mm)

In der z-Achse (sagittal) betrug der Mittelwert bei **habituellem Kieferschluss rechts**:

$$z = -0,05 \text{ mm} \pm 0,14 \text{ mm}$$

(Min.: -0,30 mm; Max.: 0,18 mm)

Und am **linken Kondylus** ergaben die Messungen bei **habituellem Okklusion** den Mittelwert:

$$z = 0,03 \text{ mm} \pm 0,11 \text{ mm}$$

(Min.: -0,15 mm; Max.: 0,30 mm)

Bei **maximaler Interkuspitation** entsprach der Mittelwert **rechts**:

$$z = -0,05 \text{ mm} \pm 0,24 \text{ mm}$$

(Min.: -0,72 mm; Max.: 0,24 mm)

Und am **linken Kondylus** betrug der Mittelwert bei **maximaler Interkuspitation**:

$$z = 0,03 \text{ mm} \pm 0,19 \text{ mm}$$

(Min.: -0,26 mm; Max.: 0,56 mm)

Die Mittelwerte der Messungen entsprechen einer okklusionsbedingten Bewegung der Kondylen nach **laterokraniel**. Die Lateralbewegung fand im Mittel nach links statt. In anteroposteriorer Richtung wurde rechts eine Posteriorbewegung und links eine Anteriorbewegung ermittelt. Die beschriebenen Werte sind nachfolgend in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der Messungen ohne Schiene

	Anzahl der Fälle (n)	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
x-Achse habituell rechts	14	-0,08	0,32	0,07	0,12
x-Achse maximal rechts	14	-0,22	0,72	0,08	0,23
x-Achse habituell links	14	-0,08	0,32	0,07	0,12
x-Achse maximal links	14	-0,22	0,70	0,08	0,22
y-Achse habituell rechts	14	-0,45	0,36	0,02	0,17
y-Achse maximal rechts	14	-0,50	0,44	0,07	0,22
y-Achse habituell links	14	-0,38	0,45	0,10	0,20
y-Achse maximal links	14	-0,40	0,52	0,12	0,26
z-Achse habituell rechts	14	-0,30	0,18	-0,05	0,14
z-Achse maximal rechts	14	-0,72	0,24	-0,05	0,24
z-Achse habituell links	14	-0,15	0,30	0,03	0,11
z-Achse maximal links	14	-0,26	0,56	0,03	0,19

4.2.2 Mandibularpositionsänderungen mit Distractionsschiene

Die Messungen ergaben für die x-Achse (horizontal) bei **habituellem Okklusion** am **rechten Kondylus** den Mittelwert:

$$x = 0,07 \text{ mm} \pm 0,20 \text{ mm}$$

(Min.: -0,27 mm; Max.: 0,61 mm)

Am **linken Kondylus** betrug der Mittelwert bei **habituellem Okklusion**:

$$x = 0,07 \text{ mm} \pm 0,20 \text{ mm}$$

(Min.: -0,27 mm; Max.: 0,61 mm)

Bei **maximaler Interkuspitation** betrug der Mittelwert am **rechten Kondylus**:

$$x = 0,05 \text{ mm} \pm 0,35 \text{ mm}$$

(Min.: -0,53 mm; Max.: 0,83 mm)

Am **linken Kondylus** ließ sich bei **maximaler Interkuspitation** der folgende Mittelwert eruieren:

$$x = 0,07 \text{ mm} \pm 0,33 \text{ mm}$$

(Min.: -0,38 mm; Max.: 0,81 mm)

In der y-Achse (vertikal) ergaben die Messungen bei **habituellem Okklusion** am **rechten Kondylus** den Mittelwert:

$$y = -0,15 \text{ mm} \pm 0,29 \text{ mm}$$

(Min.: -0,83 mm; Max.: 0,48 mm)

Am **linken Kondylus** betrug bei **habituellem Okklusion** der Mittelwert:

$$y = -0,06 \text{ mm} \pm 0,30 \text{ mm}$$

(Min.: -0,93 mm; Max.: 0,57 mm)

Bei **maximaler Interkuspitation** betrug der gemessene Mittelwert **rechts**:

$$y = -0,18 \text{ mm} \pm 0,41 \text{ mm}$$

(Min.: -0,89 mm; Max.: 0,70 mm)

Und am **linken Kondylus** betrug der bei **maximaler Interkuspitation** gemessene Mittelwert:

$$y = -0,06 \text{ mm} \pm 0,37 \text{ mm}$$

(Min.: -0,88 mm; Max.: 0,63 mm)

Negative Werte entsprechen hierbei einer Kaudalbewegung.

In der z-Achse (sagittal) ergaben die Messungen mit Schiene in **habituellem Okklusion** am **rechten Kondylus** einen Mittelwert von:

$$z = 0,07 \text{ mm} \pm 0,21 \text{ mm}$$

(Min.: -0,50 mm; Max.: 0,42 mm)

Am **linken Kondylus** entsprachen die Messwerte bei **habituellem Okklusion** einem Mittelwert von:

$$z = 0,15 \text{ mm} \pm 0,27 \text{ mm}$$

(Min.: -0,51 mm; Max.: 0,69 mm)

Bei **maximaler Interkuspitation** ergaben die Messungen am **rechten Kondylus** den Mittelwert:

$z = 0,21 \text{ mm} \pm 0,41 \text{ mm}$

(Min.: -0,64 mm; Max.: 1,22 mm)

Und am **linken Kondylus** entsprachen die Messergebnisse bei **maximaler Interkuspitation** dem Mittelwert:

$z = 0,33 \text{ mm} \pm 0,40 \text{ mm}$

(Min.: -0,26 mm; Max.: 1,45 mm)

Die gemessenen Werte entsprechen einer leichten Tendenz der Kondylen bei Okklusion nach **laterokaudal** sowie einer **Ventralbewegung beider Kondylen**. Die Lateralbewegung fand im Mittel nach links statt. Die beschriebenen Werte sind nachfolgend in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Messungen mit Schiene

	Anzahl der Fälle (n)	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
x-Achse habituell rechts	19	-0,27	0,61	0,07	0,20
x-Achse maximal rechts	19	-0,53	0,83	0,05	0,35
x-Achse habituell links	19	-0,27	0,61	0,07	0,20
x-Achse maximal links	19	-0,38	0,81	0,07	0,33
y-Achse habituell rechts	19	-0,83	0,48	-0,15	0,29
y-Achse maximal rechts	19	-0,89	0,70	-0,18	0,41
y-Achse habituell links	19	-0,93	0,57	-0,06	0,30
y-Achse maximal links	19	-0,88	0,63	-0,06	0,37
z-Achse habituell rechts	19	-0,50	0,42	0,07	0,21
z-Achse maximal rechts	19	-0,64	1,22	0,21	0,41
z-Achse habituell links	19	-0,51	0,69	0,15	0,27
z-Achse maximal links	19	-0,26	1,45	0,33	0,40

4.3 Vergleich der Messergebnisse

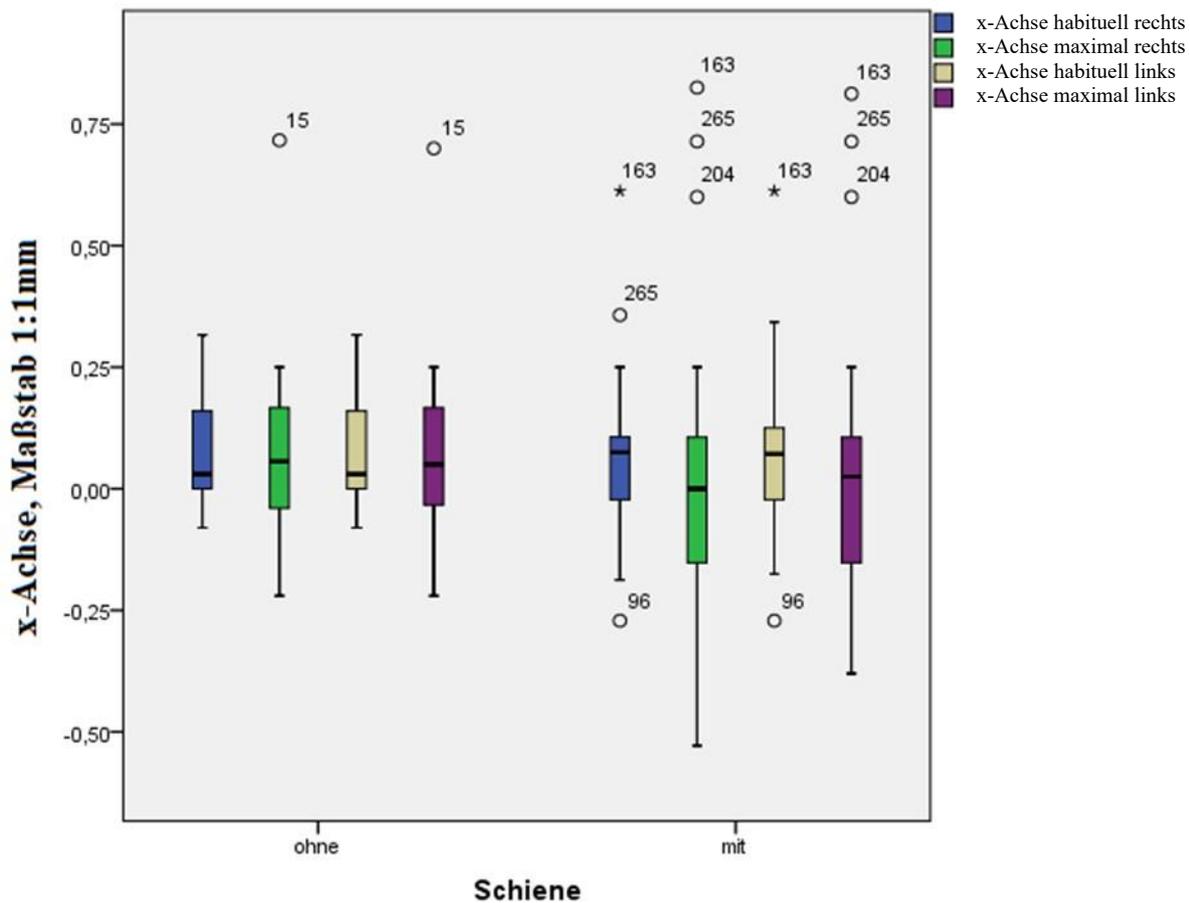


Abbildung 24: Der Boxplot zeigt Positionsveränderungen der Kondylen ausgehend von der Referenzposition (ZKP) in der Horizontalen (x-Achse) mit und ohne Schiene.

In der x-Achse zeigt sich für die Messungen **ohne Schiene bei maximalem Kieferschluss** im Vergleich zum **habituellen Kieferschluss** eine Zunahme der **Linksverschiebung** der Kondylen von:

rechts: $\Delta x < 0,01 \text{ mm}$

links: $\Delta x = 0,01 \text{ mm}$

Anzumerken ist hierbei eine Zunahme der Standardabweichung.

Bei dem Kieferschluss **mit inserierter Schiene** betrug die Differenz der arithmetischen

Mittelwerte beim Vergleich von habituellem zu maximalem Kieferschluss bei einer Rechtsverschiebung des rechten Kondylus:

$$\Delta x = 0,01 \text{ mm}$$

sowie bei einer Linksverschiebung des linken Kondylus:

$$\Delta x < 0,01 \text{ mm}$$

Ebenfalls ist eine Zunahme der Standardabweichung zu vermerken.

Die **Differenz** der **arithmetischen Mittelwerte** von Δx für den Kieferschluss mit und ohne Schiene beträgt bei **habituellem Okklusion**:

rechts: 0,00 mm

links: 0,00 mm

Bei **maximaler Interkuspitation** beträgt die **Differenz** der **arithmetischen Mittelwerte** von Δx mit und ohne Schiene:

rechts: 0,03 mm

links: 0,01 mm

Das geforderte Signifikanzniveau von 5% wurde unter Anwendung des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests weder für die Vergleiche der habituellen noch der maximalen Okklusion auf keiner der beiden Seiten erreicht. Die arithmetischen Mittelwerte hatten in habitueller Okklusion keine Differenz zwischen den Messungen mit Schiene oder ohne Schiene. Dennoch war die Standardabweichung mit Schiene deutlich höher als ohne Schiene (Siehe Abbildung 24).

Bei der maximalen Interkuspitation war, wie oben beschrieben, eine kleine Differenz der arithmetischen Mittelwerte ermittelt worden, diese ist jedoch verschwindend gering und erreichte bei dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test nicht das geforderte Signifikanzniveau von 5%.

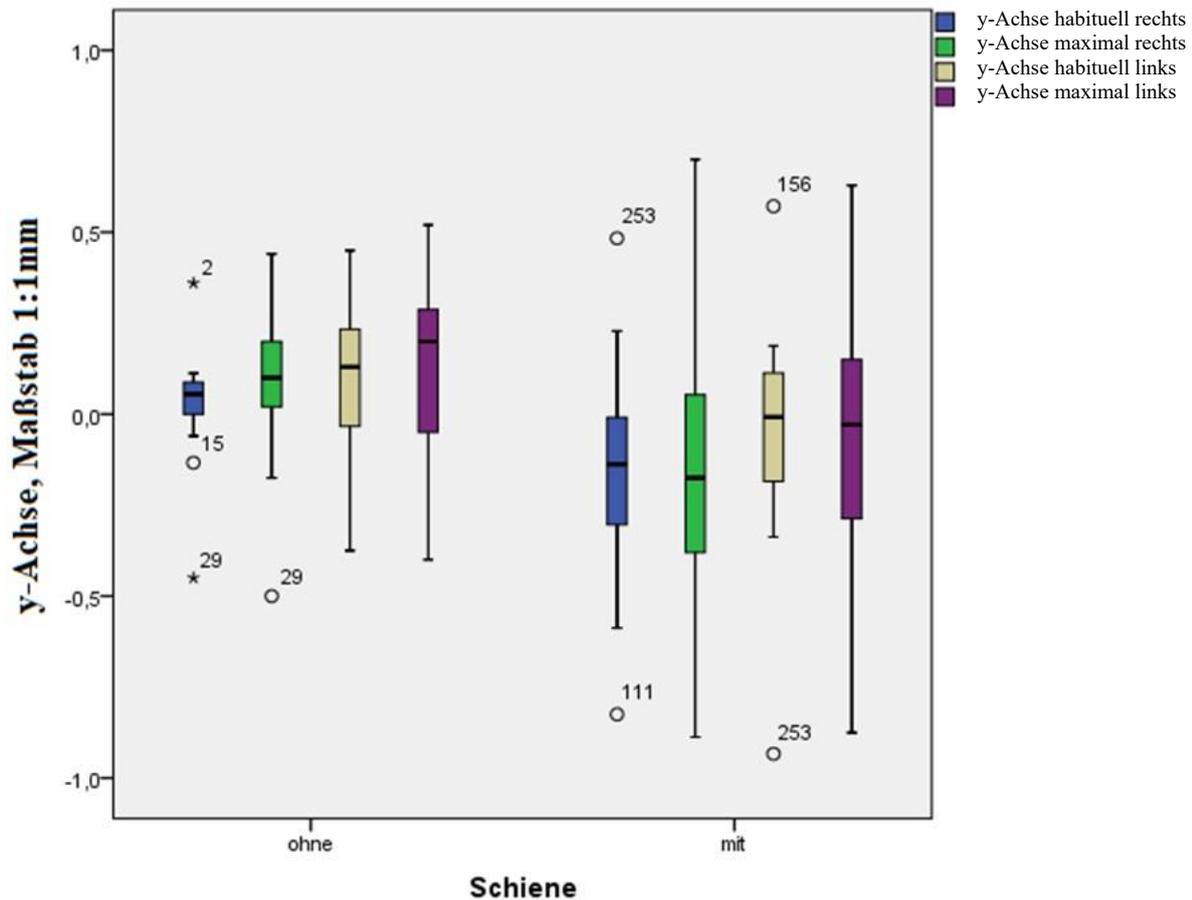


Abbildung 25: Der Boxplot zeigt Positionsveränderungen der Kondylen ausgehend von der Referenzposition (ZKP) in der Vertikalen (y-Achse) mit und ohne Schiene.

In der y-Achse zeigt sich für die Messungen **ohne Schiene bei maximalem Kieferschluss** im Vergleich zum **habituellen Kieferschluss** eine Zunahme der **Kranialverschiebung** des Kondylus von:

rechts: $\Delta y = 0,05 \text{ mm}$

links: $\Delta y = 0,02 \text{ mm}$

Anzumerken ist auch eine Zunahme der Standardabweichung.

Bei dem Kieferschluss mit **inserierter Schiene** von **habituell zu maximal** konnte die folgende mittlere **Kaudalbewegung** der Kondylen gemessen werden:

rechts: $\Delta y = 0,03 \text{ mm}$

links: $\Delta y < 0,01 \text{ mm}$

Ebenfalls ist eine Zunahme der Standardabweichung zu vermerken (Siehe Abbildung 25).

Diese Messergebnisse deuten bei Patienten ohne Schiene auf eine Tendenz zur Kranialverschiebung des Unterkiefers beim Kieferschluss hin. Bei Patienten mit Schiene deutet dies hingegen auf eine Kaudalbewegung der Kondylen hin.

Die **Differenz** der **arithmetischen Mittelwerte** von Δy für den Kieferschluss mit und ohne Schiene beträgt bei **habituellem Okklusion**:

rechts: 0,17 mm

links: 0,10 mm

Bei **maximaler Interkuspitation** beträgt die **Differenz** der **arithmetischen Mittelwerte** von Δy mit und ohne Schiene:

rechts: 0,25 mm

links: 0,18 mm

Für den Vergleich der Werte mit und ohne Schiene konnte mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests ein Messwert von $p < 0,05$ für den habituellen und maximalen Kieferschluss rechts errechnet werden, jedoch kein signifikanter Unterschied für den habituellen und maximalen Kieferschluss links. Es konnte hiernach zumindest **einseitig eine statistisch signifikante Kaudalbewegung** des Kondylus bei Okklusion auf die Distractionsschiene nachgewiesen werden. Die bei der Herstellung der Schienen konstruierte Kaudalbewegung des Kondylus betrug beidseitig 1 mm. Dies entspricht einem Vielfachen der tatsächlich gemessenen Kaudalbewegung der Distractionsschiene. Des Weiteren sticht heraus, dass mit Schiene nicht nur eine deutlich größere Standardabweichung, sondern auch eine deutlich weitere Spannweite der Messwerte bestand. Die gemessenen Höchstwerte nach kaudal ohne Schiene betrugen bei habitueller Okklusion rechts -0,45 mm und links -0,38 mm sowie bei maximaler Interkuspitation rechts -0,50 mm und links -0,40 mm. Mit Schiene betrugen die gemessenen Höchstwerte nach kaudal bei habitueller Okklusion rechts -0,83 mm und links -0,93 mm sowie in maximaler Interkuspitation rechts -0,89 mm und links -0,88 mm. Die gemessenen Höchstwerte nach kranial unterlagen einer weitaus geringeren Veränderung. Die gemessenen Höchstwerte nach kranial betrugen ohne Schiene bei habitueller Okklusion rechts 0,36 mm und links

0,45 mm und bei maximaler Interkuspitation rechts 0,44 mm und links 0,52 mm. Mit Schiene betragen die gemessenen Maxima nach kranial bei habitueller Okklusion rechts 0,48 mm und links 0,57 mm sowie in maximaler Interkuspitation rechts 0,70 mm und links 0,63 mm. Die ermittelte Standardabweichung für die y-Achse betrug für die Messungen ohne Schiene von habitueller Okklusion und maximaler Interkuspitation Werte von 0,17 mm bis 0,26 mm (Siehe Tabelle 1). Mit Schiene betrug die Standardabweichung für die y-Achse Werte von 0,29 mm bis 0,41 mm (Siehe Tabelle 2).

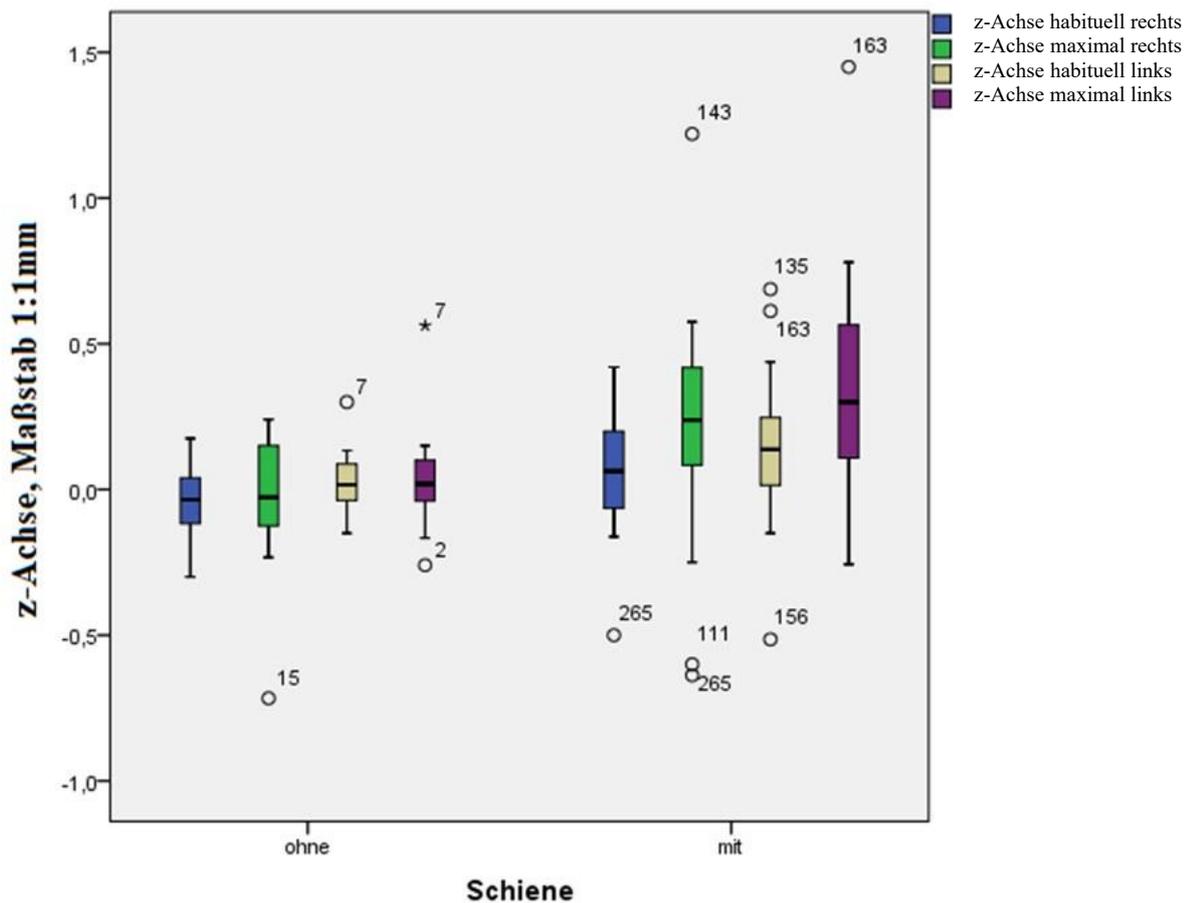


Abbildung 26: Der Boxplot zeigt Positionsveränderungen der Kondylen ausgehend von der Referenzposition (ZKP) in der Sagittalen (z-Achse) mit und ohne Schiene.

In der z-Achse zeigt sich für die Messungen **ohne Schiene bei maximalem Kieferschluss** im Vergleich zum **habituellem Kieferschluss** eine Abnahme der Positionsänderung der Kondylen rechts nach posterior von:

$$\Delta z < 0,01 \text{ mm}$$

Und am linken Kondylus eine Abnahme der Positionsänderung von:

$$\Delta z < 0,01 \text{ mm}$$

Bei dem Vergleich zwischen habituellem und maximalem Kieferschluss nahm die Standardabweichung wieder zu. Dies entspricht einer verminderten Rotation der Mandibula bei maximaler Okklusion im Vergleich zur habituellen Okklusion.

Bei dem Kieferschluss mit inserierter Schiene konnte von habituellem zu maximalem Kieferschluss eine Ventralverschiebung der Kondylen ermittelt werden in Höhe von:

rechts: $\Delta z = 0,14$ mm

links: $\Delta z = 0,18$ mm

Die **Differenz** der **arithmetischen Mittelwerte** für habituelle und maximale Okklusion mit und ohne Schiene ergab mit Schiene eine deutlich ventralere Kondylenposition als ohne Schiene.

Die **Differenz** der **arithmetischen Mittelwerte** von Δz bei **habituellem Okklusion** waren:

rechts: 0,15 mm

links: 0,18 mm

Bei **maximaler Interkuspitation** betrug die **Differenz** der **arithmetischen Mittelwerte** von Δz mit und ohne Schiene:

rechts: 0,26 mm

links: 0,30 mm

Für den Vergleich der Werte mit und ohne Schiene konnte mithilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests ein signifikanter Unterschied von $p < 0,05$ für die Messwerte der habituellen und maximalen Okklusion rechts sowie der maximalen Okklusion links erreicht werden, nicht jedoch für die habituelle Okklusion links. Dies bedeutet, dass mit der Distractionsschiene eine **statistisch signifikant höhere Ventralbewegung** der Kondylen verzeichnet werden konnte als ohne. Im Vergleich der Messungen mit Schiene und ohne Schiene sticht heraus, dass mit Schiene nicht nur eine deutlich größere Standardabweichung, sondern auch eine deutlich weitere Spannweite der Messwerte in habitueller Okklusion und maximaler Interkuspitation bestand (Siehe Abbildung 26). In maximalem Kieferschluss erreichten einzelne Messungen mit Schiene gar eine Ventralverschiebung von $\Delta z > 1$ mm.

Es können also die folgenden Aussagen getroffen werden:

1. Beim Vergleich der mittleren Kaudalbewegung der Kondylen von habituellem und maximalem Kieferschluss mit und ohne Distractionsschiene konnte bei gesunden Patienten für das rechte Kiefergelenk im Mittel ein signifikanter Unterschied mit $p < 0,05$ ermittelt werden. Für die linke Seite hingegen lag zwischen den Messungen mit und ohne Distractionsschiene kein signifikanter Unterschied mit $p < 0,05$ vor. (habituelle Okklusion links: $\Delta y = 0,10$ mm; habituelle Okklusion rechts: $\Delta y = 0,17$ mm; maximale Okklusion links: $\Delta y = 0,18$ mm; maximale Okklusion rechts: $\Delta y = 0,25$ mm)
2. Die in der Planung und Konstruktion erstrebte Distraction des Kiefergelenks nach kaudal von 1 mm konnte in keinem Fall erreicht werden.
3. Beim Vergleich der Messungen mit und ohne Schiene konnte bei gesunden Patienten sowohl in habitueller Okklusion als auch bei maximaler Interkuspitation bei der Lateralbewegung der Kondylen kein signifikanter Unterschied von $p < 0,05$ ermittelt werden (habituelle Okklusion links: $\Delta x = 0,00$ mm; habituelle Okklusion rechts: $\Delta x = 0,00$ mm; maximaler Kieferschluss links: $\Delta x = 0,01$ mm; maximaler Kieferschluss rechts: $\Delta x = 0,01$ mm). Es kann deshalb zum Einfluss der Distractionsschiene auf eine regelmäßige einseitige Lateralisation keine sichere Aussage getroffen werden. Dennoch fällt bei den Messungen mit Schiene eine deutlich größere Streuung der Messwerte in der x-Achse auf. Dies könnte mit einer vermehrten Lateralisation der Kondylen zusammenhängen.
4. In habitueller Okklusion standen die Kondylen mit Distractionsschiene deutlich weiter anterior als ohne Distractionsschiene (habituelle Okklusion: ca. 0,2 mm; maximaler Kieferschluss: ca. 0,3 mm). Die gemessenen Werte ergaben für die maximale Okklusion beidseits sowie für die habituelle Okklusion einseitig einen statistisch signifikanten Unterschied ($p < 0,05$).
5. Sowohl in habitueller als auch in maximaler Okklusion unterlagen sämtliche gemessene Werte in allen drei Dimensionen mit Schiene einer messbar größeren Streuung als ohne Schiene. Die ermittelten Werte der Standardabweichungen sind nachfolgend in der Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Vergleich der Standardabweichungen ohne und mit Schiene

	Standardabweichung ohne Schiene [mm]	Standardabweichung mit Schiene [mm]
x-Achse habituell rechts	0,12	0,20
x-Achse maximal rechts	0,23	0,35
x-Achse habituell links	0,12	0,20
x-Achse maximal links	0,22	0,33
y-Achse habituell rechts	0,17	0,29
y-Achse maximal rechts	0,22	0,41
y-Achse habituell links	0,20	0,30
y-Achse maximal links	0,26	0,37
z-Achse habituell rechts	0,14	0,21
z-Achse maximal rechts	0,24	0,41
z-Achse habituell links	0,11	0,27
z-Achse maximal links	0,19	0,40

- Der Unterschied zwischen den arithmetischen Mittelwerten bei habitueller Okklusion und maximaler Interkuspitation ist in der z-Achse ohne Schiene deutlich geringer als mit Schiene. Die Unterschiede zwischen habitueller Okklusion und maximaler Interkuspitation ohne Schiene betragen rechts sowie links $\Delta z = 0,00$ mm. Mit Schiene betragen die Werte rechts $\Delta z = 0,14$ mm und links $\Delta z = 0,18$ mm. Dies entspricht einer gemessenen Anteriorverschiebung des Kondylus beim Übergang von habitueller Okklusion zu maximaler Interkuspitation mit Schiene.
- Über die Lateralisation der Kondylenposition kann sowohl mit als auch ohne Schiene keine statistisch signifikante Aussage getroffen werden.

5 Diskussion

5.1 Die Methode

Diese Untersuchung diene dem Zweck der Klärung biomechanischer Vorgänge der Distractionsschiene. Hierbei sollte der postulierte Mechanismus der Distractionsschiene einer Plausibilitätskontrolle unterzogen werden. Der Mechanismus der Distractionsschiene sei, dass eine Bissserhöhung am letzten Molaren als Hypomochlion diene und dadurch in Okklusion eine Rotation des Unterkiefers mit daraus folgender Kaudalbewegung des Kondylus bewirkt werde (93). Um die Positionsänderungen der Kondylen am gesunden Probanden zu überprüfen, wurde diese Dissertation auf Basis von Messungen des JMA-Systems verfasst. Als mögliche Fehlerquellen der Messungen kommen sowohl die Lagestabilität des JMA-Systems, die Messsensoren selbst, die fachgerechte Befestigung und Verwendung des JMA-Systems sowie die Verarbeitung der Daten durch die Schnittstelle und das Programm WinJaw+ in Frage. Im Folgenden werden diese diskutiert.

Für die Messungen wurde als Referenzebene die Scharnierachs-Orbitalebene verwendet. Diese wurde von Slavicek et al. als eine für axiographische Messungen geeignete Referenzebene angegeben (94). Die grundlegende Forderung nach einem festen Referenzsystem im Sinne einer reproduzierbaren quantitativen Untersuchung wäre hiermit gegeben. Die Messungen mit und ohne Schiene wurden in einem Durchgang durchgeführt, weshalb für beide Messdurchläufe stets die gleiche Referenzebene genutzt wurde. Da die im Sinne der Fragestellung gesuchten Messwerte keine absoluten, sondern nur relative Positionsänderungen darstellen, konnte auf diese Art eine entsprechende Referenzebene erreicht werden. Selbst wenn diese nicht der tatsächlichen Scharnierachs-Orbitalebene entsprechen würde, so ist zumindest im Rahmen eines einzelnen Messdurchlaufes hierdurch keine oder eine sehr geringe Messschwankung zu erwarten.

Als Referenzpunkt, von dem ausgehend die Veränderungen der Kondylenposition im Zusammenhang mit der Okklusion beobachtet werden sollte, wurde die zentrische Kondylenposition gewählt. Hierzu gaben Best et al. an, dass im Rahmen der Kieferrelationsbestimmung und deren Überführung in ein Aufbissbehelf oder eine prothetische Versorgung eine Abweichung der bestimmten und tatsächlichen zentrischen Kondylenposition von ca. 0,3 mm bestehe (87). Diese Abweichung ist eine signifikante

Größe, die zu einer beachtlichen Verfälschung der gemessenen Positionsänderungen in Okklusion führen kann. In welchem Rahmen eine solche Diskrepanz die Ergebnisse dieser Studie verfälscht haben könnte, kann nicht eindeutig gesagt werden. Linsen et al. untersuchte 26 Patienten zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Es wurde beim Vergleich zwei verschiedener Methoden zur Ermittlung der zentrischen Kondylenposition eine signifikant höhere Reproduzierbarkeit der mittels nicht behandlergeführten Methoden als bei behandlergeführten Methoden beobachtet (95). Ob die höhere Reproduzierbarkeit auch mit einer genaueren Bestimmung der tatsächlichen zentrischen Kondylenposition oder vielmehr einer höheren Reproduzierbarkeit eines systemischen Fehlers zusammenhängt, konnte der Publikation nicht entnommen werden. Die im Rahmen dieser Dissertation durchgeführte Studie basiert im Wesentlichen auf der nicht behandlergeführten Methode.

Auch ein Vergleich des am Kinn geführten Kieferschlusses sowie der Kieferposition nach Schluckakt mittels instrumenteller Axiographie bei 262 Probanden zeigte teilweise signifikante Unterschiede der Kondylenpositionen. Nach dem Schluckakt wurde die Unterkieferposition signifikant weiter anterior gemessen als beim geführten Kieferschluss. Es wird deshalb davon abgeraten, den Schluckakt als Hilfsmittel zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition zu verwenden. Des Weiteren ist die Bestimmung der zentrischen Kondylenposition mithilfe des Schluckaktes nicht empfohlen, da hierbei oft eine Anteriorverschiebung der Kondylen vorkomme (96). Diese Methode wurde nicht nur wegen der etwaigen Ungenauigkeit, sondern allein schon aus praktischen Gründen für unsere Studie ausgeschlossen. Da der Schluckakt in der Regel mit einer erhöhten Aktivität der mimischen Muskulatur insbesondere im Rahmen des Lippenschlusses einhergeht, bestand hierbei die Gefahr, dass der Paraokklusalsplint im Unterkiefer teilweise oder ganz luxiert werden konnte.

In Bezug auf die Körperhaltung empfehlen Schupp et al. für die Ermittlung der zentrischen Kondylenposition eine aufrechte und relaxierte Haltung des Patienten mit gerader Ausrichtung des Kopfes. Es wird geraten, die Körperhaltung des Patienten nicht zu reclinieren oder gar Manipulationen am Unterkiefer durchzuführen. Auf diese Art soll der Patient selbst eine für ihn physiologische zentrische Kondylenposition einnehmen (97). Diese Maßnahmen wurden allesamt im Rahmen der für diese Arbeit durchgeführten Untersuchungen umgesetzt. Insbesondere auf die relaxierte Position und das Vermeiden von Manipulationen soll hierbei eingegangen werden. Lediglich ein leichtes Anlegen der Finger zur taktilen Kontrolle im Sinne der Vermeidung von Protrusionsbewegungen wurde durch den Behandler adjuvant durchgeführt. Daraus folgt, dass alle Bewegungen im Verlauf

der Messdurchläufe durch die Patienten autonom ausgeführt wurden. Nur wenn Patient oder Behandler den Eindruck hatten, dass die Kaumuskulatur des Patienten im nicht entspannten Zustand war, wurden manuelle Lockerungen der Unterkiefermuskulatur mittels sanft geführter Scharnierachsbewegungen des Unterkiefers durchgeführt. Jedoch fand dies niemals während der Messdurchläufe statt.

Das Fallkollektiv bestand bei dieser Untersuchung aus Erwachsenen im Alter von 24 bis 40 Jahren. Hierbei wurden Faktoren wie Gewicht, Geschlecht oder Wachstumstyp der Untersuchten nicht als Auswahlkriterium verwendet. Eine Studie von Reicheneder et al. weist darauf hin, dass Kondylenbewegungen bei Kindern unabhängig von Gewicht, Geschlecht oder Wachstumstyp sind. Einzig die Mundöffnung war abhängig vom Alter reduziert (98). In Anbetracht des nicht abgeschlossenen Wachstums ist dies jedoch bei Kindern zu erwarten. In einer weiteren Dissertationsarbeit wurden die Bewegungsparameter der Kiefergelenke von 92 Kindern und 40 Erwachsenen verglichen. Es konnten hierbei für Kinder und Erwachsene keine signifikanten Zusammenhänge des Geschlechts, des Gesichtstyps oder des Körpergewichts gefunden werden. Die maximale Retrusion hing jedoch stark von der Körpergröße der erwachsenen Probanden ab. Im Rahmen der Dissertation konnte sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern ein signifikanter Seitenunterschied der Kondylenbahnlängen ermittelt werden (99).

Die in dieser Studie untersuchten Probanden wurden nicht auf Gewicht, Geschlecht oder Wachstumstyp untersucht. Die Literatur weist diesbezüglich jedoch nicht auf einen signifikanten Einfluss dieser Faktoren auf die Funktion des Kiefergelenks hin.

Der JMA von Zebris ist ein Messsystem für die instrumentelle Funktionsanalyse sowie die Mandibula-Positions-Analyse (MPA). Die Funktionsanalyse basiert im Wesentlichen auf einer konstanten Messaufnahme, die die Bewegungen aufzeichnet und analysiert. In der Vergangenheit war es aufgrund mangelnder Methoden üblich, dies im analogen Verfahren (Schreibstift und Messpapier, Messlineal) zu tun. Sämtliche neue Verfahren müssen sich daran entsprechend messen. Um das ultraschallbasierte JMA zu testen, wurden die aufgezeichneten Bewegungen mit den Messungen einer digitalen Schieblehre verglichen. Hierbei zeigte sich kein Unterschied in den gemessenen Amplituden der Bewegungen. Allerdings war ein großer Vorteil des JMA, dass der Bahnverlauf der Bewegung sowie die Geschwindigkeit ebenfalls aufgezeichnet werden konnten (100). Dies zeigt, dass das JMA zur Bestimmung von Positionsänderungen des Kondylus im Rahmen von

Momentaufnahmen den Instrumenten der analogen Funktionsdiagnostik nicht unterlegen ist. Eine bestmögliche Genauigkeit der Kondylenpositionsanalyse war Voraussetzung zur Gewinnung belastbarer Daten. Des Weiteren wurde im Rahmen dieser Dissertation ein harmonischer Bahnverlauf ohne Deviation als Zeichen für eine physiologische Funktion des Kiefergelenks gewertet. Dies wurde als Voraussetzung zur Verwendung der ermittelten Daten angewendet.

Ein großer Vorteil des JMA für diese Studie war, dass aufgrund der Befestigung mittels Paraokklusalschiene auch Analysen in Okklusion der natürlichen Zahnflächen möglich sind. In der klinischen Anwendung fiel jedoch auf, dass insbesondere bei morphologisch ungünstigen Fällen der Halt der Paraokklusalschiene nicht immer optimal war. In dieser Untersuchung wurde zur Verbesserung des Halts ein provisorischer Zement verwendet. Dieser hat gegenüber anderen Befestigungsmaterialien den Vorteil der einfachen Entfernbarekeit und Noninvasivität. Dennoch konnte bei sechs Probanden in Okklusion aufgrund eines stark ausgeprägten Überbisses in maximaler Interkuspitation ohne Schiene kein zuverlässiger Halt erzielt werden. Deshalb konnten in diesen Fällen keine Messungen ohne Schiene durchgeführt werden. Die Messungen mit Schiene waren auch in diesen Fällen möglich, da mit inserierter Schiene automatisch eine Bisshebung stattfand und der Halt der Paraokklusalschiene wieder sichergestellt war. Ein wesentlicher Faktor zur Sicherung des Haltes war die Vermeidung von Störkontakten der Paraokklusalschiene mit dem Oberkiefer. Diese hätten nicht nur den Halt der Schiene gestört, sondern auch die Messergebnisse verfälscht. Aus den beschriebenen Umständen ergab sich die Notwendigkeit zur Okklusionskontrolle in statischer und dynamischer Okklusion, welche entsprechend durchgeführt wurde. Es bestand jedoch weitergehend auch das Risiko, dass der Proband aufgrund von Anspannungen der mimischen Muskulatur den Messbogen luxierte oder aber der Halt aufgrund von sehr schräg stehenden Zähnen eingeschränkt war. Der Proband wurde daher entsprechend dazu angehalten, eine Anspannung der mimischen Muskeln soweit möglich zu vermeiden. Des Weiteren wurden selbstverständlich während den Messungen wiederholt sowie am Ende der Untersuchungen abschließend manuelle Kontrollen des Halts der Paraokklusalschiene durchgeführt. Wenn hierbei auffiel, dass der Halt beeinträchtigt war, wurden entsprechend die nach der vorherigen Kontrolle durchgeführten Messungen verworfen sowie die Paraokklusalschiene erneut befestigt. Dennoch kann nicht mit absoluter Sicherheit gesagt werden, ob durch Lockerungen der Paraokklusalschiene Messfehler entstanden sind.

Die Alternativmöglichkeiten, um diese Fehlerquelle geringer zu gestalten, wären entweder eine zusätzliche Befestigung des Unterkieferbogens okklusal oder aber die Verwendung von invasiven Befestigungsmethoden gewesen. Die Verwendung invasiver Maßnahmen wurden aufgrund der Abwägung des Nutzens der Patienten gegenüber dem hiermit verbundenen Schaden aus ethischen Gründen abgelehnt. Die Befestigung des Unterkieferbogens unter Einbeziehung der Okklusalfächen hätte zuverlässige Kondylenpositionsaufnahmen im Sinne der Fragestellung mit Distractionsschiene erschwert und ohne Distractionsschiene unmöglich gemacht.

Für die Fertigung der Schiene wurde die subtraktive CAD/CAM-Fertigung gewählt. Zur Digitalisierung der intraoralen Situation wurden Gipsmodelle mittels Alginatabformung angefertigt, welche dann in einem Extraoralscanner digitalisiert wurden. Die subtraktive Fertigung aus einem massiven Kunststoffrohling bringt den Vorteil, dass das Allergiepotehtial von etwaigem Restmonomer minimiert und die Polymerisationsschrumpfung als Negativfaktor vermieden werden kann. Auch kann virtuell Okklusion und Halt individuell an den Patienten angepasst und die Retention der Schiene sehr präzise gewählt werden (97).

Dedem et al. berichteten bei der Fertigung von Stabilisierungsschienen mit dem CAD/CAM-Verfahren unter Verwendung von Intraoralscans, dass 9 von 10 eine gute Passung gehabt hätten. Die zehnte Schiene wies eine unzureichende Retention auf. Dedem et al. gaben jedoch an, dass auch diese Schiene durch Korrekturen einsetzbar gewesen sei (101). Diese Form der Anwendung beinhaltet nicht nur die Zeitersparnis in der Herstellung und die Möglichkeit, unkompliziert eine Ersatzschiene herzustellen, sondern auch die Vermeidung des von vielen Patienten als unangenehm empfundenen Abformmaterials. Für diese Untersuchung war die Anwendung des Intraoralscans jedoch nicht suffizient, da für die Konstruktion einer gezielten, 1 mm großen Distraction der Kiefergelenke eine arbiträre Montage nötig ist. Dies ist im herkömmlichen Verfahren zur CAD/CAM-Fertigung mittels Intraoralscanner noch nicht möglich, wäre jedoch für die Zukunft eine deutliche Beschleunigung des Work-Flows bei der computergestützten Fertigung von Aufbissbehelfen. Die gute Passgenauigkeit der CAD/CAM gefertigten Schienen bestätigte sich jedoch auch in den durchgeführten Untersuchungen. Sämtliche angefertigten Schienen wiesen eine suffiziente Passung auf. Lediglich kleine Anpassungen mussten gelegentlich

chairside durchgeführt werden.

Algabri et al. stellten fest, dass bei der Behandlung von 30 Patienten mit CMD, von denen die eine Hälfte mit Schienen, die vom Techniker mittels eines manuellen Wax-Ups und der anschließenden Umsetzung der Schiene in Kunststoff hergestellt wurden, sowie die andere Hälfte mittels CAD/CAM-gefertigten Schienen behandelt wurden, signifikante Unterschiede bei der zum Einsetzen und Anpassen der Schienen benötigten Zeit entstanden. Die Versorgung der Patienten mittels CAD/CAM-gefertigter Schiene verlangte hierbei deutlich weniger Zeitaufwendung des Behandlers ($p < 0,0001$). Bei der Untersuchung der Patienten über einen dreimonatigen Zeitraum konnte allerdings kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Verbesserung der Symptome oder der Muskelaktivität im EMG eruiert werden (102). Dies lässt vermuten, dass die CAD/CAM-gefertigten Schienen wie sie in dieser Studie verwendet wurden den klassisch gefertigten Schienen bezüglich des Therapieerfolgs ebenbürtig sind.

Bei dem Schienendesign wurde auf ein Relief zugunsten von planen Okklusalflächen verzichtet. Klinisch gilt dies als günstig zur Vermeidung von Störkontakten und wird empfohlen (103). Hierdurch sollte verhindert werden, dass der Unterkiefer beim Kieferschluss durch eine starre Führung in einen unphysiologischen Zwangsbiss gerät. Die planen Okklusalflächen boten einen gewissen Freiheitsgrad in der horizontalen Ebene, sodass der Kieferschluss auf der Schiene durch die Muskelführung, und nicht durch ein starres, von dem Schienendesign vorgegebenes Relief bestimmt werden sollte. Aufgrund mangelnder Literatur zum okklusalen Design von verschiedenen Schientypen bleibt es ungeklärt, ob das Fehlen eines okklusalen Reliefs vermehrte Verschiebungen des Unterkiefers nach lateral oder anterior bewirkt. Eine Verschiebung des Unterkiefers, sofern diese anstelle der gewünschten Rotation nach kaudal vorkäme, könnte insbesondere bei der Distractionsschiene den Funktionsmechanismus und gegebenenfalls auch das Therapieergebnis beeinflussen. Denkbar wäre hierbei zum Beispiel eine vermehrte Protrusion des Unterkiefers anstelle der Kaudalbewegung der Kondylen. Weitere Studien zu diesem Thema erscheinen zur Klärung des Sachverhaltes sinnvoll. Gegebenenfalls sollten die durchgeführten Untersuchungen mit Schienen, die ein ausgeprägtes okklusales Relief haben, wiederholt werden.

Bei der Wahl des Materials für eine Schiene besteht grundlegend die Frage, ob ein weich

bleibendes oder ein hartes Material verwendet wird. In der klinischen Anwendung zur Therapie der CMD wurden vergleichbare Ergebnisse mit beiden Schientypen erzielt. In der Kurzzeitanwendung scheint die Behandlung mittels weich bleibender Schiene sogar eine stärkere Verbesserung der Mundöffnung sowie eine höhere Reduktion der Geräusche im Kiefergelenk zu liefern (104). Jedoch fand sich keine Literatur zu der Anwendung von weich bleibendem Material bei der Distractionsschiene. Da das Konzept der Distractionsschiene einen Vorkontakt am letzten vorhandenen Molaren vorsieht, wurde auf weich bleibende Materialien verzichtet. Die Befürchtung war, dass eine Deformation des weichen Materials bei starkem Kieferschluss die Resultate verfälschen könnte. Des Weiteren beinhaltet die übliche Verfahrensweise zur Anwendung der Distractionsschiene die Verwendung von hartem Kunststoff. Weil diese Untersuchung eine Plausibilitätsüberprüfung eines bestehenden Therapiekonzepts ist, wurde sich bei der Ausführung entsprechend an dem üblichen Verfahren orientiert.

Die für die Distractionsschienen verwendeten Polymethylmethacrylatpolymere hatten im Biegetest der für die CAD/CAM-Fertigung vorhergesehenen Materialien die höchsten Biegefestigkeiten. Sowohl Bis-Acrylat-Komposite als auch herkömmlich gefertigtes PMMA erzielten im Biegetest geringere Biegefestigkeiten. Insgesamt schnitt das herkömmlich gefertigte PMMA mit der geringsten Biegefestigkeit aller getesteten Materialien ab (105).

Als Ausgangssituation zur Konstruktion und Herstellung der Distractionsschiene mithilfe eines konstruierten Distractionsbisses wurde in dieser Untersuchung die maximale Interkuspitation verwendet. Dies bedeutet, dass auf die Ermittlung der zentrischen Kondylenposition mittels Bissnahme verzichtet wurde. Hamata et al. zeigten, dass bei der Behandlung von Patienten mit CMD mittels einer in der zentrischen Kondylenposition gefertigten Schiene und Patienten, deren Schiene in maximaler Interkuspitation gefertigt wurde, kein signifikanter Unterschied im Behandlungsergebnis entstand. Die EMG-Aktivität der Muskulatur in beiden Gruppen zeigte keinen signifikanten Unterschied. Der Anstieg an Bewegungsfreiheit des Kiefergelenks sowie die Verringerung der Schmerzen war in beiden Gruppen gleichwertig (106). Daraus kann gefolgert werden, dass bei Patienten, deren Kondylenposition in der maximalen Interkuspitation nicht aufgrund von morphologischen Fehlstellungen stark von der zentrischen Kondylenposition abweicht, die Verwendung der maximalen Interkuspitation zur Planung und Fertigung einer Schienentherapie ein valides Mittel ist. Des Weiteren ist die maximale Interkuspitation normalerweise ein einfach zu

rekonstruierender Ausgangspunkt. Es gilt hierbei zu beachten, dass für die Ermittlung der zentrischen Kondylenposition in der Literatur Abweichungen von ca. 0,3 mm angegeben werden (107).

5.2 Die Ergebnisse

Die primäre Fragestellung dieser Untersuchung bestand darin, den Mechanismus der Distractionsschiene zu überprüfen. Hierbei konnte ermittelt werden, dass bei gesunden Fällen, die sich in einem Zustand relativer muskulärer Entspannung befanden, der distrahierende Effekt der Schiene aufs Kiefergelenk weit unter dem geplanten Maß von 1 mm lag. Trotzdem muss gesagt werden, dass ein statistisch signifikanter distrahierender Effekt beobachtet wurde.

Diese Beobachtung deckt sich mit der von Yildiz et al. gemachten Untersuchung der Distractionsschiene mit einseitiger Distraction bei 18 Patienten, die von einer einseitigen Diskusverlagerung ohne Reposition betroffen waren. Die Messungen fanden ebenfalls mittels ultraschallbasiertem Jaw Motion Analyzer statt. Bei Okklusion mit maximaler Kraft wurde eine signifikante Kaudalbewegung des Kondylus beobachtet. Es wurde daraus gefolgert, dass eine einseitige Distraction das Platzangebot im Kiefergelenk erweitern könne. Anzumerken ist, dass die Patienten vorher keine Form der CMD-Behandlung erhalten hatten (5).

Eine andere Studie mit 16 Patienten mit juveniler Arthritis verglich die im DVT aufgezeichneten knöchernen Veränderungen nach zweijähriger Anwendung der Distractionsschiene. Als Kontrollgruppe dienten elf Patienten, die keine Kiefergelenkserkrankungen und auch keine kieferorthopädische Behandlung erfahren hatten. Hierbei fiel auf, dass bei den erkrankten Kindern eine Positionsänderung des Kondylus eher nach distal als in vertikaler Ebene stattfand. Die Behandlung habe jedoch eine morphologische Veränderung des Kondylus und eine damit einhergehende Kompensation des Krankheitsbildes bewirkt. Dies habe eine Progression der Erkrankung verhindert. Diese Ergebnisse widersprechen der vom Autor ermittelten Distraction der Kiefergelenke. Allerdings gilt es hierbei zu bedenken, dass González et al. die Distractionsschiene als Langzeitmaßnahme für ein anderes Krankheitsbild eingesetzt haben, sodass mit umfassenden - zum Teil erwünschten - morphologischen Veränderungen gerechnet werden muss (67).

Moncayo et al. beschrieben bei der Auswertung von linearen Röntgentomogrammen der

Kiefergelenke von 20 Patienten eine durchschnittliche Kaudalbewegung der Kondylen um 1,3 mm bei 87,5 % der Probanden. Die Messungen wurden durchgeführt, wenn die Patienten mit geschlossenen Lippen auf eine Pivotschiene bissen. Hierbei ist anzumerken, dass der Mechanismus der Pivotschiene dem der Distractionsschiene entspricht. Das Patientenkollektiv wurde unterteilt in 30 %, die eine beidseitige Distraction des Kiefergelenks hatten, 35 %, die primär eine Protrusion der Kondylen erlebten und 35 %, deren Kondylen eine Mischform aus Kaudalbewegung und Protrusion zeigten (68). Es ist jedoch zu beachten, dass eine Beurteilung mittels Röntgen aufgrund der Überlagerungs- und Verzerrungseffekte sehr fehleranfällig ist. Des Weiteren ist eine präzise Messung in Millimeter ohne Referenzobjekte im Bereich der Messzone nur bedingt möglich. Die Anbringung von Referenzobjekten ist in der interessierenden Region ohne invasive Maßnahmen nicht durchführbar. Die Ergebnisse von Moncayo et al. sind dementsprechend als fraglich zu sehen.

Linsen et al. untersuchten die Kondylenposition bei 40 asymptomatischen Patienten unter Verwendung einer Stabilisierungsschiene sowie einer ein- und beidseitigen Pivotschiene. Die Messungen wurden mit einem ultraschallbasierten Jaw-Motion-Messsystem durchgeführt. Des Weiteren wurden die Testläufe sowohl mit als auch ohne Kinnband zur Fixierung der Mandibula zwecks Vermeidung von Protrusionsbewegungen durchgeführt und als Referenzpunkt wurde die geführte zentrische Kondylenposition verwendet. Ohne Kinnband wurde hierbei bei allen Schienen kein signifikanter distrahierender Effekt ermittelt. Unter Verwendung eines Kinnbandes wurde jedoch eine signifikante Distraction des Kiefergelenks bei Verwendung der Pivotschiene gemessen (69). Ein therapeutischer Effekt konnte so mithilfe der Pivotschiene in Kombination mit einem Kinnband erreicht werden. Die Messungen bei asymptomatischen Patienten sowie die kurze Tragedauer lassen jedoch kein Urteil über das Langzeitergebnis bei erkrankten Patienten zu. Ebenso bleibt fraglich, ob die Zwangshaltung des Unterkiefers auf die Weichgewebe des kranio-mandibulären Systems nicht kontraproduktiv sind. Dies könnte beispielsweise in Form einer Tonuserhöhung der Muskulatur oder einer Reizung der bilaminären Zone oder der Gelenkkapsel geschehen. Die von Linsen et al. ermittelte Distraction des Kiefergelenks deckt sich mit den in dieser Dissertation ermittelten Ergebnissen. Es ist jedoch auffällig, dass die statistisch signifikante Distraction von Linsen et al. bei einer Verhinderung der Protrusion gemessen wurde. Dies steht im Kontrast zu den zuvor beschriebenen Ergebnissen. In unserer Untersuchung wurde die Protrusion nicht verhindert und trotzdem

eine statistisch signifikante Distraction gemessen. Weitere Untersuchungen zur Klärung dieser Diskrepanzen sowie zur sicheren Beurteilung des Ausmaßes der tatsächlichen Kondylenpositionsänderung mit Pivotschiene sind sinnvoll. Es sind insbesondere im Vergleich der Ergebnisse von Linsen et al. ohne Kinnband sowie Moncayo et al. Diskrepanzen der im Rahmen dieser Studie ermittelten Ergebnisse zu beachten (68, 69).

Demling et al. untersuchte ebenfalls asymptotische Probanden ($n = 22$) mithilfe von ultraschallbasierten Jaw-Motion-Messsystemen. Es wurden Kondylenpositionsveränderungen bei einer Insertion von Stabilisierungsschiene und Pivotschiene unter Kieferschluss mit maximaler und normaler Kraft verglichen. Bei der Pivotschiene wurde eine Bewegung der Kondylen in anterokaudaler Richtung von $0,3 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ sagittal und $0,8 \pm 0,5 \text{ mm}$ vertikal gemessen. Die Stabilisierungsschiene erreichte hingegen eine Kondylenbewegung in anterokaudaler Richtung von $0,2 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ sagittal und $0,8 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ vertikal. Bei der der maximalen Kraftanwendung beim Zubeißen durch den Patienten konnten Demling et al. bei beiden Schientypen eine Verstärkung der Anteriorbewegung sowie eine Verminderung der Kaudalbewegung der Kondylen messen (70). Bei der Pivotschiene entsprach dies bei maximaler Okklusion Messwerten von sagittal $0,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ und vertikal $0,6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ sowie bei der Stabilisierungsschiene sagittal $0,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ und vertikal $0,4 \text{ mm} \pm 0,6 \text{ mm}$. Die Messergebnisse erreichten im Vergleich der verschiedenen Versuchsgruppen eine hohe Signifikanz ($p < 0,001$). Hierbei muss beachtet werden, dass die beim gesunden Patienten gemessenen Kondylenbewegungen nicht zwangsläufig ähnlich zu den Kondylenbewegungen beim funktionell erkrankten Patienten sein müssen. Die bei beiden Schientypen gemessene Anterokaudalbewegung sowie die ermittelte Signifikanz überschreiten die in dieser Untersuchung ermittelten Werte bei der Distractionsschiene sehr stark. Wenngleich auch eine Tendenz zur Distraction der Kondylen durch die Distractionsschiene gemessen werden konnte, liegt diese weit unter den von Demling et al. gemessenen Werten. Interessant ist ebenfalls, dass die Stabilisierungsschiene auch einen deutlichen distrahierenden Effekt erzeugt habe (70). Dies wirft die Frage auf, ob der erwünschte Effekt der Reposition des Diskus auch mit der Stabilisierungsschiene erreicht werden kann. Auch muss in Frage gestellt werden, ob die in dieser Studie ermittelte Kaudalbewegung der Kondylen überhaupt mit der konstruierten Distraction der Schiene zusammenhängt, oder ob diese vielmehr unabhängig von der Schienenkonstruktion auftrat. Weitere Studien zur Funktion des Kiefergelenks und der Stabilisierungsschiene sind zur

Klärung dieser Fragestellung notwendig.

Seedorf et al. überprüften an 23 gesunden Probanden den Wirkmechanismus der Pivotschiene. Jedoch verwendeten sie hierfür keine Distractionsschiene, sondern ließen die Probanden lediglich auf eine 1 mm dicke Zinnfolie im Bereich der letzten Molaren beißen. Außerdem wurde zur Vermeidung von Protrusionsbewegungen des Unterkiefers ein Registriermaterial eingesetzt. Die Kondylenpositionsmessungen wurden mit einem ultraschallbasierten Jaw Motion Analyzer durchgeführt. Bei maximaler Okklusion auf die Zinnfolie ohne Protrusionssperre konnte eine Anterokaudalbewegung der Kondylen gemessen werden. Unter Einsatz der Protrusionssperre wurde hingegen eine signifikante Kranialbewegung der Kondylen um ca. 0,3 mm ermittelt (71). Die gemessene Anterokaudalbewegung bei Sperrung des Bisses am letzten Molaren um 1 mm unterstützt sowohl die vom Autor eruierten Ergebnisse als auch die von Demling et al. (70, 71). Die Kranialbewegung der Kondylen bei Verhinderung der Protrusion mittels eines Registratmaterials hingegen scheint im Widerspruch zu den von Linsen et al. gemachten Untersuchungen zu stehen (69). Jedoch ist hierbei zu beachten, dass das Registratmaterial eine starre Verhinderung der Protrusion darstellte, wohingegen das von Linsen et al. verwendete Kinnband scheinbar eine weniger starre Sperre zu sein schien, sodass die Ergebnisse nicht zwangsläufig widersprüchlich sein müssen. Aufgrund des unterschiedlichen Testaufbaus der Studien sind diese Aussagen nicht sicher zu treffen. Weitere Untersuchungen mit gleichem Versuchsaufbau sind sinnvoll, um die Ergebnisse zu verifizieren.

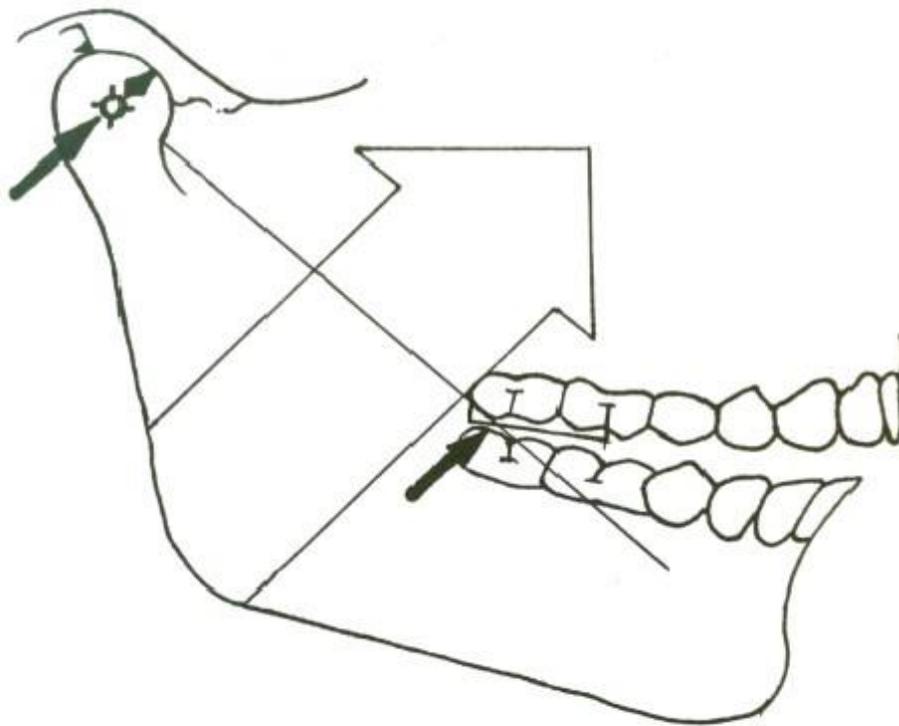


Abbildung 27: Schematische Darstellung des von Deshpande (2010) beschriebenen Prinzips. Da die Kaumuskulatur distal des Hypomochlions am letzten Molaren ansetzt, erzeugt dies eine Kompression des Kiefergelenks nach anterokranial.

Deshpande et al. argumentieren, dass die Distractionsschienen als Aufbissbehelf keine Effekte hätten, die den Gesetzen der Mechanik entgegenstünden. Dies begründen sie mit dem Ansatz der Kaumuskulatur dorsal der Molaren. Sofern der letzte Molar als Rotationsachse gesehen werde, könne eine Schiene zwangsweise nur eine Kompression des Kiefergelenks bewirken, da der Muskelzug distal sei (siehe Abbildung 27). Des Weiteren führen sie an, dass 40 % der Patienten mit CMD vom Placeboeffekt profitierten (93). Die im Rahmen dieser Dissertationsarbeit ermittelten Ergebnisse stehen diesen Aussagen entgegen. Mit den Messmethoden konnte eine Distraction festgestellt werden. Dass dies im Widerspruch zu den Gesetzen der Physik stehe, erscheint nur dann paradox, wenn man das komplizierte stomatognathe System auf einige wenige Strukturen zu vereinfachen ersucht. In der Realität sind jedoch viele Muskelkompartimente mit sehr unterschiedlichen Ansätzen sowie auch andere Gewebe an den Kieferbewegungen maßgeblich beteiligt. Deshpandes Aussage, eine Schiene könne per se keine Entlastung des Gelenks bewirken, ist wie zuvor dargestellt nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft unhaltbar.

Der Zweck der Distractionsschiene als Repositionierungsschiene ist in der zahnärztlichen Funktionstherapie vor allem die Behandlung der Diskusverlagerung. Hierbei soll der Diskus in die natürliche Kondylus-Diskus-Fossa-Lagebeziehung zurückkehren und in dieser Lagebeziehung gehalten werden. Des Weiteren sollen Funktionseinschränkungen, Gelenkgeräusche und Schmerzen, die durch die Erkrankung hervorgerufen werden, gemindert werden. Die vom Autor durchgeführten Untersuchungen sowie die vorangehend diskutierten Untersuchungen sind stets unter Berücksichtigung der klinischen Behandlungserfolge und -misserfolge zu beurteilen. Auch wenn die Kaudalbewegung des Kondylus teilweise nachweisbar war, bedeutet dies nicht zwangsweise, dass das Therapiekonzept der Distractionsschiene am Patienten mit Diskusverlagerung einen Mehrwert bietet. Da die anteriore Repositionierungsschiene sowie die Stabilisierungsschiene als „klinisch bewährt“ (27) zur Therapie der Diskusverlagerung gelten, sollen diese beiden Typen im Folgenden der Distractionsschiene gegenübergestellt werden.

Eine prospektive Studie zum Vergleich zwischen der Pivotschiene und der Stabilisierungsschiene mit jeweils 20 Probanden pro Schientyp stellte die Therapieerfolge bei der Behandlung der anterioren Diskusverlagerung am Kiefergelenk gegenüber (73). Es wurden hierbei über den Zeitraum von drei Monaten ab Beginn der Schientherapie monatliche Untersuchungen und Befragungen der Patienten durchgeführt. Die Patientenbefragung basierte auf der VAS sowie funktionellen Untersuchungen. Die Mundöffnung der Patienten konnte bei beiden Schientypen im Verlauf der Therapie erfolgreich vergrößert sowie das Schmerzempfinden reduziert werden ($p < 0,05$). Der Anstieg der maximalen Mundöffnung betrug bei dem Patientenkollektiv, das mit einer Stabilisierungsschiene behandelt wurde, 8,05 mm sowie bei dem Patientenkollektiv, das mit einer Pivotschiene behandelt wurde, 8,26 mm. Die Verbesserung der VAS betrug bei der Stabilisierungsschiene 30,54 Einheiten und bei der Pivotschiene 39,36 Einheiten. Jedoch gab es keinen signifikanten Unterschied der Behandlungsergebnisse der beiden Schientypen ($p > 0,05$). Es erscheint naheliegend, dass beide Schientypen wirkungsvolle Therapiemethoden bei der anterioren Diskusverlagerung darstellen (73). Diese Ergebnisse decken sich mit den im Rahmen dieser Dissertationsschrift ermittelten Ergebnissen, dass eine Distraction der Kondylen stattfindet. Jedoch muss bei den Ergebnissen von Stiesch-Scholz et al. beachtet werden, dass hierbei nur kurzfristige

Resultate ermittelt wurden. Die langfristige Wirkung der Pivot-Schiene sowie der Stabilisierungsschiene konnte hier aufgrund des Studiendesigns von Stiesch-Scholz et al. (Beobachtung nur über den Zeitraum von drei Monaten) nicht beurteilt werden. Des Weiteren empfehlen Stiesch-Scholz et al. für die Pivot-Schiene eine Reduktion der Vorkontakte nach acht Wochen, um Zahnintrusionen zu verhindern. Die Pivot-Schiene würde demnach in eine Stabilisierungsschiene umgewandelt (73).

Ein klinischer Vergleich der Zentrikschiene mit der Distractionsschiene bei Patienten mit anteriorer Diskusverlagerung zeigte hingegen eine ähnliche Verbesserung der klinischen Symptomatik beim Einsatz der Zentrikschiene gegenüber der Distractionsschiene. Statistische Analysen weisen jedoch darauf hin, dass im Beobachtungszeitraum von sechs Monaten eine etwas höhere Reduktion der Schmerzen und ein leicht stärkerer Mobilitätsgewinn bei der Mundöffnung bei der Behandlung mit der Zentrikschiene auftrat. Schmitter et al. empfehlen dementsprechend die Verwendung der Zentrikschiene (74). Im Rahmen dieser Dissertationsschrift wurde bei der Distractionsschiene eine unerwünschte große Streuung in allen drei Ebenen sichtbar. Es ist denkbar, dass diese einen negativen Einfluss auf die Behandlungserfolge haben könnte. Insbesondere eine Lateralisation oder Rotation des Unterkiefers erscheint demnach kontraproduktiv. Diese Bewegungen konnten bei den MPA-Messungen mit Distractionsschiene entsprechend gehäuft beobachtet werden.

Naeije et al. stellten in einem Literaturreview mit dem Umfang von 167 Veröffentlichungen fest, dass die Diskusverlagerung am Kiefergelenk in der normalen Bevölkerung eine Prävalenz zwischen 18 und 35 % aufweist (108). In den meisten Fällen befänden sich Patienten mit vorliegender Diskusverlagerung in einem kompensierten Zustand, weshalb in den wenigsten Fällen die Diskusverlagerung mit Schmerzen und Bewegungseinschränkungen verbunden sei. Hierbei empfehlen Naeije et al. eine konservative Therapie, die eine Beschleunigung der physiologischen Kompensation darstelle (108). Nach diesem Ansatz ist der Sinn der Distractionsschienentherapie in Frage zu stellen, da dieser nicht das Ziel einer Kompensation, sondern einer Restitution der physiologischen Kondylus-Diskus-Fossa-Relation anstrebt. Die vorhergehend geschilderten Untersuchungsergebnisse lassen die Distractionsschiene jedoch ebenfalls eher als ein Mittel zur Symptomlinderung erscheinen. Dauerhafte Repositionen, insbesondere nach Entfernung der Distractionsschiene, stellten sich gewöhnlich nicht

ein (65).

Ein Vergleich des Krankheitsverlaufs bei Patienten, die entweder mit einer Protrusionsschiene, mit einer Distractionsschiene oder mit einer Michiganschiene behandelt wurden, ergab, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen Therapieformen zu eruieren waren. Dies äußerte sich darin, dass mehr als 65 % der Patienten unabhängig vom verwendeten Schientyp in dem ersten Jahr eine deutliche Schmerzreduktion erlebten. In den weiteren 12 Jahren gab es nur einen leichten Anstieg der Anzahl an Patienten, die von Schmerzen berichteten. Auch diese Langezeitergebnisse zeigten keine Abhängigkeit von dem verwendeten Schientyp. Abnorme Geräusche des Kiefergelenks, wie zum Beispiel Klickgeräusche, konnten unabhängig vom Schientyp im ersten Jahr stark reduziert werden. Sie nahmen jedoch im weiteren Verlauf wieder bis zum Ausgangslevel zu. Ebenfalls ließ sich im ersten Jahr eine Verbesserung von Mundöffnungsbehinderungen bei zwei von drei betroffenen Patienten beobachten. Danach stieg die Prävalenz von Mundöffnungsbehinderungen noch über das Anfangsniveau hinaus an und erreichte von anfänglich 29,3% nach 13 Jahren sogar 40% der Probanden (72). Dies spricht dafür, dass die Distractionsschiene zumindest einen gewissen therapeutischen Wert hat. Möglicherweise ist die Ursache hierfür die zuvor beschriebene Distraction oder auch die Protrusion, die bei den das Kiefergelenk mittels Vorkontakt im Molarenbereich distrahierenden Schienen vermehrt vorzukommen scheint (70).

Eine Meta-Analyse von Kuzmanovic Pficer et al. ergab, dass die Stabilisierungsschiene kurzzeitig stärkere Schmerzreduktionen, höhere Mobilitätsgewinne der Mundöffnung sowie eine größere Reduktion des Muskeltonus der Kaumuskulatur erreiche. Jedoch gleiche sich dieser kurzzeitige Vorteil der Stabilisierungsschiene im Langzeitverlauf an andere Therapiekonzepte an. Der Langzeitnutzen der Stabilisierungsschiene sei fragwürdig. Kuzmanovic Pficer et al. forderten daher weitere Studien zur endgültigen Klärung des Nutzens der Stabilisierungsschiene (109). Wenn man nun die vorangehenden Studienergebnisse der Distractionsschiene in Relation zur fragwürdigen Langzeiteffektivität der Stabilisierungsschiene sieht, wird deutlich, dass zur Beurteilung des Sinns und Nutzens der Distractionsschiene nicht ausreichend Literatur vorhanden ist. Es sollten weitere Studien zur Klärung des Sachverhalts durchgeführt werden.

Zu den Nebenwirkungen der Distractionsschiene ist entsprechend auch sehr wenig Literatur

vorhanden. Stiesch-Scholz et al. untersuchten bei 20 Probanden, die eine Distractionsschiene getragen hatten, nach drei Monaten ob Zahnlockerungen, Zahnintrusionen oder Zahnempfindlichkeiten in Okklusion vorlagen. Keiner der Probanden wies eine der genannten Nebenwirkungen auf (73). Dhannawat et al. empfehlen für die Pivot-Schiene ein Design, bei dem sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer eine Schiene eingesetzt wird. Hierdurch solle eine Entlastung des Kiefergelenks bewirkt und das Risiko von Zahnstellungsänderungen im Rahmen der Behandlung eliminiert werden (110).

Aufgrund dieser sehr gemischten Literaturergebnisse und der in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse, die zum Teil stark im Widerspruch zu der bestehenden Literatur stehen, fehlt es an ausreichender Evidenz, um eine Empfehlung für oder gegen die Therapie mit der Distractionsschiene auszusprechen. Weitere Untersuchungen zur endgültigen Abklärung der Effizienz der Distractionsschiene sind notwendig. Eine wissenschaftliche Abwägung des möglichen therapeutischen Nutzens gegenüber den möglichen Nebenwirkungen kann momentan nicht zuverlässig erfolgen.

6 Zusammenfassung

Nach Analyse der erarbeiteten Ergebnisse aus den erhobenen Daten sowie der vorhandenen Literatur können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

Eine Distraction des Kondylus nach kaudal scheint bei Verwendung der Distractionsschiene in der Regel stattzufinden. Dieser distrahierende Effekt auf das Kiefergelenk ist jedoch nahezu immer weit unter dem im Bereich der Aufbissschiene konstruierten Maß.

Im Vergleich mit der anterioren Repositionierungsschiene sind die dokumentierten Erfolge der Distractionsschiene bestenfalls gleichwertig. Eine wissenschaftliche Abwägung des möglichen therapeutischen Nutzens gegenüber den möglichen Nebenwirkungen kann momentan nicht zuverlässig gestellt werden, da die Datenlage für beide Behandlungsmethoden für ein abschließendes Urteil nicht ausreichend ist und entsprechend weitere Studien zur abschließenden Klärung des Sachverhaltes notwendig sind.

Als langfristiges therapeutisches Mittel erscheint die Distractionsschiene ungeeignet. Es gibt viele Hinweise, dass die Distractionsschiene im Fall der Diskusverlagerung mit Reposition bei Patienten Beschwerden lindern kann. Die bestehende Literatur gibt Anhaltspunkte, dass bei einem langfristigen Einsatz der Distractionsschiene Nebenwirkungen als wahrscheinlich anzusehen sind.

Aufgrund der in der Literatur angegebenen hohen bis sehr hohen Prävalenz der CMD ohne und mit Diskusverlagerung und der unbefriedigenden therapeutischen Langzeitergebnisse sämtlicher Therapiekonzepte sind weitere Untersuchungen sowohl bezüglich der Ursache als auch der Therapie der CMD mit und ohne Diskusverlagerung sinnvoll.

Literaturverzeichnis

1. Al-Khotani A, Naimi-Akbar A, Albadawi E, Ernberg M, Hedenberg-Magnusson B, Christidis N. Prevalence of diagnosed temporomandibular disorders among Saudi Arabian children and adolescents. *J Headache Pain*. 2016;17:41.
2. Osiewicz MA, Lobbezoo F, Loster BW, Loster JE, Manfredini D. Frequency of temporomandibular disorders diagnoses based on RDC/TMD in a Polish patient population. *Cranio*. 2018;36(5):304-10.
3. Huang GJ, LeResche L, Critchlow CW, Martin MD, Drangsholt MT. Risk factors for diagnostic subgroups of painful temporomandibular disorders (TMD). *J Dent Res*. 2002;81(4):284-8.
4. Sharma S, Gupta DS, Pal US, Jurel SK. Etiological factors of temporomandibular joint disorders. *Natl J Maxillofac Surg*. 2011;2(2):116-9.
5. Yıldız M, Çağatay Dayan S, Şakar O, Sülün T. Distraction of the temporomandibular joint condyle in patients with unilateral non-reducing disc displacement: Fact or fiction? *Cranio*. 2018;36(5):294-9.
6. Hugger A, Lange M, Schindler H, Türp J. Begriffsbestimmungen: Funktionsstörung, Dysfunktion, kranio-mandibuläre Dysfunktion (CMD), Myoarthropathie des Kausystems (MAP). *Dtsch Zahnärztl Z*. 2016;71(2):165.
7. Delbach HA. Klinisch-experimentelle Evaluation des Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-Systems zur maxillomandibulären Relaktionsbestimmung 2005.
8. Sobotta J. Atlas der Anatomie Band 1 Kopf, Hals, obere Extremität München Jena: Putz, R., Pabst, R., (Hrsg.) Urban & Fischer; 2000.
9. Dauber W. Anatomische Grundlagen der Funktionsdiagnostik. Atlas der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik Hanser, München. 1996:20-39.
10. Troest T. Form und Funktion im stomatognathen System. Funktionsstörungen des Kauorgans“, Koeck, B(Hrsg), Urban und Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore. 1995;3.
11. Buhmann A, Lotzmann U. Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. Farbatlant der Zahnmedizin, Bd 12. Thieme, Stuttgart; 2000.
12. Vogel A. Verhalten der Kaumuskelatur–ein Überblick. *ZAHN PRAX*. 2008;6:412-7.
13. Takaki P, Vieira M, Bommarito S. Maximum bite force analysis in different age groups. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2014;18(3):272-6.
14. Gühring W, Barth J. Anatomie: spezielle Biologie des Kausystems: Verlag Neuer Merkur GmbH; 1992.
15. Waltimo A, Könönen M. A novel bite force recorder and maximal isometric bite force values for healthy young adults. *Scand J Dent Res*. 1993;101(3):171-5.
16. Koç D, Doğan A, Bek B. Effect of gender, facial dimensions, body mass index and type of functional occlusion on bite force. *J Appl Oral Sci*. 2011;19(3):274-9.
17. Calderon Pdos S, Kogawa EM, Lauris JR, Conti PC. The influence of gender and bruxism on the human maximum bite force. *J Appl Oral Sci*. 2006;14(6):448-53.
18. Custodio W, Gomes SG, Faot F, Garcia RC, Del Bel Cury AA. Occlusal force, electromyographic activity of masticatory muscles and mandibular flexure of subjects with different facial types. *J Appl Oral Sci*. 2011;19(4):343-9.
19. Freesmeyer WB. Was man vom Kiefergelenk des Menschen wissen sollte. *Manuelle Medizin*. 2000;38(6):316-21.
20. Ferrario VF, Sforza C, Miani A, Jr., Serrao G, Tartaglia G. Open-close movements in the human temporomandibular joint: does a pure rotation around the intercondylar hinge axis exist? *J Oral Rehabil*. 1996;23(6):401-8.
21. Siéssere S, Vitti M, Semprini M, Regalo SC, Iyomasa MM, Dias FJ, et al. Macroscopic and microscopic aspects of the temporomandibular joint related to its clinical implication. *Micron*.

2008;39(7):852-8.

22. Oancea L, Stegaroiu R, Cristache CM. The influence of temporomandibular joint movement parameters on dental morphology. *Ann Anat.* 2018;218:49-58.
23. Ma Q, Bimal P, Mei L, Olliver S, Farella M, Li H. Temporomandibular condylar morphology in diverse maxillary-mandibular skeletal patterns: A 3-dimensional cone-beam computed tomography study. *J Am Dent Assoc.* 2018;149(7):589-98.
24. Lippert H, Deller T. *Lehrbuch Anatomie: Urban & Fischer München;* 2011.
25. Stanković S, Vlajković S, Bošković M, Radenković G, Antić V, Jevremović D. Morphological and biomechanical features of the temporomandibular joint disc: an overview of recent findings. *Arch Oral Biol.* 2013;58(10):1475-82.
26. Ferro K. J. MSM, Driscoll C.F., Freilich M.A., Guckes A.D., Koernschild K.L., McGarry T.J. *The Glossary of Prosthodontic Terms. The Journal of Prosthetic Dentistry.* 2005;9.
27. Ahlers MO, Fussnegger M, Göz G, Imhoff B, Jakstat HA, Mentler C, et al. *Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems. Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie.* 2015.
28. Reiter S, Goldsmith C, Emodi-Perlman A, Friedman-Rubin P, Winocur E. Masticatory muscle disorders diagnostic criteria: the American Academy of Orofacial Pain versus the research diagnostic criteria/temporomandibular disorders (RDC/TMD). *J Oral Rehabil.* 2012;39(12):941-7.
29. Wang GYF, Shi XQ, Wu W, Gueorguieva M, Yang M, Zhang J. Sustained and repeated mouth opening leads to development of painful temporomandibular disorders involving macrophage/microglia activation in mice. *Pain.* 2018;159(7):1277-88.
30. Facial Pain: National Institute of Dental and Craniofacial Research; [updated 02.2018]. Available from: <https://www.nidcr.nih.gov/research/data-statistics/facial-pain>.
31. Ouanounou A, Goldberg M, Haas DA. Pharmacotherapy in Temporomandibular Disorders: A Review. *J Can Dent Assoc.* 2017;83:h7.
32. Dursun Ö, Çankaya T. Assessment of Temporomandibular Joint Dysfunction in Patients with Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2018;27(8):2141-6.
33. Gilheaney Ó, Stassen LF, Walshe M. Prevalence, Nature, and Management of Oral Stage Dysphagia in Adults With Temporomandibular Joint Disorders: Findings From an Irish Cohort. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(8):1665-76.
34. Abouelhuda AM, Kim HS, Kim SY, Kim YK. Association between headache and temporomandibular disorder. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2017;43(6):363-7.
35. Afroz S, Naritani M, Hosoki H, Takechi K, Okayama Y, Matsuka Y. Prevalence of Posterior Disc Displacement of the Temporomandibular Joint in Patients with Temporomandibular Disorders: Systematic Review and Meta-Analyses. *J Oral Facial Pain Headache.* 2018;32(3):277–86.
36. Schiffman E, Ohrbach R, Truelove E, Look J, Anderson G, Goulet JP, et al. 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†. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014;28(1):6-27.
37. de Farias JF, Melo SL, Bento PM, Oliveira LS, Campos PS, de Melo DP. Correlation between temporomandibular joint morphology and disc displacement by MRI. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(7):20150023.
38. Chang MS, Choi JH, Yang IH, An JS, Heo MS, Ahn SJ. Relationships between temporomandibular joint disk displacements and condylar volume. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2018;125(2):192-8.
39. Rabelo KA, Sousa Melo SL, Torres MGG, Campos PSF, Bento PM, Melo DP. Condyle Excursion Angle, Articular Eminence Inclination, and Temporomandibular Joint Morphologic Relations With Disc Displacement. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(5):938.e1-.e10.
40. Ooi K, Inoue N, Matsushita K, Yamaguchi H, Mikoya T, Minowa K, et al. Incidence of anterior disc displacement without reduction of the temporomandibular joint in patients with

dentofacial deformity. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018;47(4):505-10.

41. Wieckiewicz M, Grychowska N, Wojciechowski K, Pelc A, Augustyniak M, Sleboda A, et al. Prevalence and correlation between TMD based on RDC/TMD diagnoses, oral parafunctions and psychoemotional stress in Polish university students. *Biomed Res Int.* 2014;2014:472346.
42. Almeida LE, Pierce S, Zacharias J, Cullinan W, Noronha L, Olandoski M, et al. Immunohistochemical analysis of IL-1 beta in the discs of patients with temporomandibular joint dysfunction. *Cranio.* 2017;35(4):233-7.
43. Luo S, Deng M, Long X, Li J, Xu L, Fang W. Association between polymorphism of MMP-1 promoter and the susceptibility to anterior disc displacement and temporomandibular joint osteoarthritis. *Arch Oral Biol.* 2015;60(11):1675-80.
44. Garip H, Tufekcioglu S, Kaya E. Changes in the temporomandibular joint disc and temporal and masseter muscles secondary to bruxism in Turkish patients. *Saudi Med J.* 2018;39(1):81-5.
45. Schellhas KP, Pollei SR, Wilkes CH. Pediatric internal derangements of the temporomandibular joint: effect on facial development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;104(1):51-9.
46. Simmons HC. *Craniofacial pain: a handbook for assessment, diagnosis and management*: Chroma; 2009.
47. Rocha T, Castro MA, Guarda-Nardini L, Manfredini D. Subjects with temporomandibular joint disc displacement do not feature any peculiar changes in body posture. *J Oral Rehabil.* 2017;44(2):81-8.
48. Julsvoll EH, Vøllestad NK, Robinson HS. Validation of clinical tests for patients with long-lasting painful temporomandibular disorders with anterior disc displacement without reduction. *Man Ther.* 2016;21:109-19.
49. Kumar R, Pallagatti S, Sheikh S, Mittal A, Gupta D, Gupta S. Correlation Between Clinical Findings of Temporomandibular Disorders and MRI Characteristics of Disc Displacement. *Open Dent J.* 2015;9:273-81.
50. Marpaung CM, Kalaykova SI, Lobbezoo F, Naeije M. Validity of functional diagnostic examination for temporomandibular joint disc displacement with reduction. *J Oral Rehabil.* 2014;41(4):243-9.
51. Yang Z, Wang M, Ma Y, Lai Q, Tong D, Zhang F, et al. Magnetic Resonance Imaging (MRI) Evaluation for Anterior Disc Displacement of the Temporomandibular Joint. *Med Sci Monit.* 2017;23:712-8.
52. Dong XY, He S, Zhu L, Dong TY, Pan SS, Tang LJ, et al. The diagnostic value of high-resolution ultrasonography for the detection of anterior disc displacement of the temporomandibular joint: a meta-analysis employing the HSROC statistical model. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44(7):852-8.
53. Habashi H, Eran A, Blumenfeld I, Gaitini D. Dynamic high-resolution sonography compared to magnetic resonance imaging for diagnosis of temporomandibular joint disk displacement. *J Ultrasound Med.* 2015;34(1):75-82.
54. Zhuo Z, Cai XY. Radiological follow-up results of untreated anterior disc displacement without reduction in adults. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016;45(3):308-12.
55. Hu YK, Yang C, Xie QY. Changes in disc status in the reducing and nonreducing anterior disc displacement of temporomandibular joint: a longitudinal retrospective study. *Sci Rep.* 2016;6:34253.
56. Mapelli A, Machado BC, Garcia DM, Rodrigues Da Silva MA, Sforza C, de Felício CM. Three-dimensional analysis of jaw kinematic alterations in patients with chronic TMD - disc displacement with reduction. *J Oral Rehabil.* 2016;43(11):824-32.
57. Xie Q, Yang C, He D, Cai X, Ma Z, Shen Y, et al. Will unilateral temporomandibular joint anterior disc displacement in teenagers lead to asymmetry of condyle and mandible? A longitudinal study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016;44(5):590-6.

58. de Melo DP, Sousa Melo SL, de Andrade Freitas Oliveira LS, Ramos-Perez FM, Campos PS. Evaluation of temporomandibular joint disk displacement and its correlation with pain and osseous abnormalities in symptomatic young patients with magnetic resonance imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015;119(1):107-12.
59. Dias IM, Cordeiro PC, Devito KL, Tavares ML, Leite IC, Tesch Rde S. Evaluation of temporomandibular joint disc displacement as a risk factor for osteoarthritis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016;45(3):313-7.
60. Zheng ZW, Yang C, Wang MH, Zhu XH, Fang YM. Non-joint effusion is associated with osteoarthritis in temporomandibular joints with disk displacement. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016;44(1):1-5.
61. Gernet W. *Zahnärztliche Prothetik*: Georg Thieme Verlag; 2007.
62. Badel T, Marotti M, Kern J, Laskarin M. A quantitative analysis of splint therapy of displaced temporomandibular joint disc. *Ann Anat.* 2009;191(3):280-7.
63. Profozić A, Plazibat A, Polašek A, Pliško M, Čimić S. Position of Mandibular Condyles during Stabilization Splint Wearing. *Acta Clin Croat.* 2017;56(4):594-9.
64. Liu MQ, Lei J, Han JH, Yap AU, Fu KY. Metrical analysis of disc-condyle relation with different splint treatment positions in patients with TMJ disc displacement. *J Appl Oral Sci.* 2017;25(5):483-9.
65. Chen HM, Liu MQ, Yap AU, Fu KY. Physiological effects of anterior repositioning splint on temporomandibular joint disc displacement: a quantitative analysis. *J Oral Rehabil.* 2017;44(9):664-72.
66. Muhtarogullari M, Avci M, Yuzugullu B. Efficiency of pivot splints as jaw exercise apparatus in combination with stabilization splints in anterior disc displacement without reduction: a retrospective study. *Head Face Med.* 2014;10:42.
67. González MF, Pedersen TK, Dalstra M, Herlin T, Verna C. 3D evaluation of mandibular skeletal changes in juvenile arthritis patients treated with a distraction splint: A retrospective follow-up. *Angle Orthod.* 2016;86(5):846-53.
68. Moncayo S. Biomechanics of pivoting appliances. *J Orofac Pain.* 1994;8(2):190-6.
69. Linsen SS, Stark H, Matthias A. Changes in condylar position using different types of splints with and without a chinstrap: a case-control study. *Cranio.* 2012;30(1):25-31.
70. Demling A, Fauska K, Ismail F, Stiesch M. A comparison of change in condylar position in asymptomatic volunteers utilizing a stabilization and a pivot appliance. *Cranio.* 2009;27(1):54-61.
71. Seedorf H, Scholz A, Kirsch I, Fenske C, Jüde HD. Pivot appliances - is there a distractive effect on the temporomandibular joint? *J Oral Rehabil.* 2007;34(1):34-40.
72. Behr M, Stebner K, Kolbeck C, Faltermeier A, Driemel O, Handel G. Outcomes of temporomandibular joint disorder therapy: observations over 13 years. *Acta Odontol Scand.* 2007;65(5):249-53.
73. Stiesch-Scholz M, Kempert J, Wolter S, Tschernitschek H, Rossbach A. Comparative prospective study on splint therapy of anterior disc displacement without reduction. *J Oral Rehabil.* 2005;32(7):474-9.
74. Schmitter M, Zahran M, Duc JM, Henschel V, Rammelsberg P. Conservative therapy in patients with anterior disc displacement without reduction using 2 common splints: a randomized clinical trial. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005;63(9):1295-303.
75. Conti PC, Corrêa AS, Lauris JR, Stuginski-Barbosa J. Management of painful temporomandibular joint clicking with different intraoral devices and counseling: a controlled study. *J Appl Oral Sci.* 2015;23(5):529-35.
76. Yapici-Yavuz G, Şimşek-Kaya G, Oğul H. A comparison of the effects of Methylprednisolone Acetate, Sodium Hyaluronate and Tenoxicam in the treatment of non-reducing disc displacement of the temporomandibular joint. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2018;23(3):e351-e8.

77. Davoudi A, Khaki H, Mohammadi I, Daneshmand M, Tamizifar A, Bigdelou M, et al. Is arthrocentesis of temporomandibular joint with corticosteroids beneficial? A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2018;23(3):e367-e75.
78. Januzzi E, Nasri-Heir C, Grossmann E, Leite FM, Heir GM, Melnik T. Combined palliative and anti-inflammatory medications as treatment of temporomandibular joint disc displacement without reduction: a systematic review. *Cranio*. 2013;31(3):211-25.
79. Pihut ME, Margielewicz J, Kijak E, Wiśniewska G. Evaluation of articular disc loading in the temporomandibular joints after prosthetic and pharmacological treatment in model studies. *Adv Clin Exp Med*. 2017;26(3):455-60.
80. Alajbeg IZ, Gikić M, Valentić-Peruzović M. Mandibular Range of Movement and Pain Intensity in Patients with Anterior Disc Displacement without Reduction. *Acta Stomatol Croat*. 2015;49(2):119-27.
81. Imhoff B. Systematic additive occlusal therapy—when, why, how, and what next? Systematische additive Okklusionstherapie—Wann, warum, wie, und dann. *Zeitschrift für kranio-mandibuläre Funktion*. 2013;5(3):277-94.
82. Forssell H, Kalso E, Koskela P, Vehmanen R, Puukka P, Alanen P. Occlusal treatments in temporomandibular disorders: a qualitative systematic review of randomized controlled trials. *Pain*. 1999;83(3):549-60.
83. GmbH zM. Kieferregistriersysteme JMAAnalyser+ / JMT+ Technische Daten und Gebrauchsanweisung <https://www.zebris.de/zahnmedizin/jma-die-neue-dimension-der-kieferregistrierung> [updated 24.10.2019].
84. Bias F, & Kordaß, B. . Vergleichende Untersuchungen zur Lokalisation der terminalen Scharnierachse mit dem Jaw Motion Analyser der Firma Zebris und dem CADIAX diagnostic der Firma Gamma. *Zeitschrift für kranio-mandibuläre Funktion*. 2009;1(3):193-213.
85. Wessling F. Vergleichende klinische Untersuchung der elektronischen Registriersysteme GAMMA-CADIAX® und JMA®. 2003.
86. Weßling F, Kordaß B, Schwahn B. Klinischer Vergleich der elektronischen Messsysteme GAMMA-Cadiax und JMA. *ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt*. 2000;109(11):603-6.
87. Best N. Untersuchungen zur Reliabilität und Validität der dreidimensionalen Kiefergelenkfunktionsanalyse mittels Zebris WinJaw-System 2010.
88. Baroudi K, Ibraheem SN. Assessment of Chair-side Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Restorations: A Review of the Literature. *J Int Oral Health*. 2015;7(4):96-104.
89. Pho Duc JM, Hüning SV, Grossi ML. Parallel Randomized Controlled Clinical Trial in Patients with Temporomandibular Disorders Treated with a CAD/CAM Versus a Conventional Stabilization Splint. *Int J Prosthodont*. 2016;29(4):340-50.
90. Aslanidou K, Kau CH, Vlachos C, Abou Saleh T. The fabrication of a customized occlusal splint based on the merging of dynamic jaw tracking records, cone beam computed tomography, and CAD-CAM digital impression. *Journal of Orthodontic Science*. 2017;6(3):104.
91. Maestre-Ferrín L, Romero-Millán J, Peñarrocha-Oltra D, Peñarrocha-Diago M. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: an update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17(1):e160-3.
92. Ahlers MO, Jakstat HA. CMD-Screening mit dem „CMD-Kurzbefund“. *ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt*. 2015;124(03):102-6.
93. Deshpande RG, Mhatre S. TMJ disorders and occlusal splint therapy—a review. *International Journal of Dental Clinics*. 2010;2(2).
94. Slavicek R. Clinical and instrumental functional analysis for diagnosis and treatment planning. Part 5. Axiography. *J Clin Orthod*. 1988;22(10):656-67.
95. Linsen SS, Stark H, Klitzschmüller M. Reproducibility of condyle position and influence of splint therapy on different registration techniques in asymptomatic volunteers. *Cranio*. 2013;31(1):32-9.

96. Celar A, Siejka E, Schatz J, Fürhauser R, Piehslinger E. Mandibular reference position: chin-point guided closure vs. final deglutition. *Cranio*. 1996;14(1):42-5.
97. Schupp W, Boisserée W, Haubrich J, Läkamp M, Meinzer M. Die interdisziplinäre Behandlung einer kranio man-dibulären und muskuloskelettalen Dysbalance unter besonderer Berücksichtigung digitaler Verfahren. *Kieferorthopädie*. 2015.
98. Reicheneder C, Kardari Z, Proff P, Fanghaenel J, Faltermeier A, Römer P. Correlation of condylar kinematics in children with gender, facial type and weight. *Ann Anat*. 2013;195(3):243-7.
99. Kardari Z. Mandibular and condylar movements in children and adults-a trial on kinematic parameters and their association with individual characteristics 2011.
100. Mazzetto MODMP, Anacleto MADM, Rodrigues CADM, Bragança RMD, Paiva GD, Valencise Magri LDM. Comparison of mandibular movements in TMD by means of a 3D ultrasonic system and digital caliper rule. *Cranio*. 2017;35(1):46-51.
101. Dedem P, Türp JC. Digital Michigan splint - from intraoral scanning to plasterless manufacturing. *Int J Comput Dent*. 2016;19(1):63-76.
102. Algabri RS, Alqutaibi AY, Elkadem AHE, Maher EA, Kaddah AF. Patient's satisfaction and muscles activity after management of temporomandibular disorders patients using computer-aided design/computer-aided manufacturing versus conventional occlusal splints (randomized clinical trial). *International Dental & Medical Journal of Advanced Research*. 2017;3(1):1-8.
103. Ash MM, Jr. Occlusion, TMDs, and dental education. *Head Face Med*. 2007;3:1.
104. Seifeldin SA, Elhayes KA. Soft versus hard occlusal splint therapy in the management of temporomandibular disorders (TMDs). *Saudi Dent J*. 2015;27(4):208-14.
105. Alp G, Murat S, Yilmaz B. Comparison of Flexural Strength of Different CAD/CAM PMMA-Based Polymers. *J Prosthodont*. 2019;28(2):e491-e5.
106. Hamata MM, Zuim PR, Garcia AR. Comparative evaluation of the efficacy of occlusal splints fabricated in centric relation or maximum intercuspation in temporomandibular disorders patients. *J Appl Oral Sci*. 2009;17(1):32-8.
107. Etz E, Hellmann D, Giannakopoulos N, Schmitter M, Rammelsberg P, Schindler H. The variability of centric jaw relations in the process chain of prosthetic restorations and their neuromuscular effects Variabilität zentrischer Kieferrelationen in der Prozesskette prothetischer Restaurationen. *Zeitschrift für Kraniomandibuläre Funktion*. 2012;4(2):141-56.
108. Naeije M, Te Veldhuis AH, Te Veldhuis EC, Visscher CM, Lobbezoo F. Disc displacement within the human temporomandibular joint: a systematic review of a 'noisy annoyance'. *J Oral Rehabil*. 2013;40(2):139-58.
109. Kuzmanovic Pficer J, Dodic S, Lazic V, Trajkovic G, Milic N, Milicic B. Occlusal stabilization splint for patients with temporomandibular disorders: Meta-analysis of short and long term effects. *PloS one*. 2017;12(2):e0171296.
110. Dhannawat P, Shrivastav S, Ranjit K, Banerjee S. Different Types of Occlusal Splint Used in Management of Temporomandibular Joint Disorders-A Review. *Eur J Mol Clin Med*. 2020;7(7):1787-94.

Anhang

Im Folgenden sind die Tabellen aller durchgeführten Messdurchläufe und aller dabei ermittelten Messwerte zu sehen.

Zur besseren Übersicht wurden die folgenden Abkürzungen verwendet:

Prob = Proband

Schi = Messdurchlauf mit [m] oder ohne [o] Schiene

xrek = x-Achse, rechter Kondylus bei erstem Zahnkontakt (zentrische Kondylenposition)

xrho = x-Achse, rechter Kondylus bei habituellem Kieferschluss

xrmi = x-Achse, rechter Kondylus bei maximalem Kieferschluss

xlek = x-Achse, linker Kondylus bei erstem Zahnkontakt (zentrische Kondylenposition)

xlho = x-Achse, linker Kondylus bei habituellem Kieferschluss

xlmi = x-Achse, linker Kondylus bei maximalem Kieferschluss

yrek = y-Achse, rechter Kondylus bei erstem Zahnkontakt (zentrische Kondylenposition)

yrho = y-Achse, rechter Kondylus bei habituellem Kieferschluss

yrmi = y-Achse, rechter Kondylus bei maximalem Kieferschluss

ylek = y-Achse, linker Kondylus bei erstem Zahnkontakt (zentrische Kondylenposition)

ylho = y-Achse, linker Kondylus bei habituellem Kieferschluss

ylmi = y-Achse, linker Kondylus bei maximalem Kieferschluss

zrek = z-Achse, rechter Kondylus bei erstem Zahnkontakt (zentrische Kondylenposition)

zrho = z-Achse, rechter Kondylus bei habituellem Kieferschluss

zrmi = z-Achse, rechter Kondylus bei maximalem Kieferschluss

zlek = z-Achse, linker Kondylus bei erstem Zahnkontakt (zentrische Kondylenposition)

zlho = z-Achse, linker Kondylus bei habituellem Kieferschluss

zlmi = z-Achse, linker Kondylus bei maximalem Kieferschluss

Prob	Schi	xrek	xrho	xrmi	xlek	xlho	xlmi	yrek	yrho	yrmi	ylek	ylho	ylmi	zrek	zrho	zrmi	zlek	zlho	zlmi
1 o	0	-0,4	-0,6	0	-0,4	-0,6	0	0,4	0,4	0	0,4	0,5	0	0,3	0,4	0	-0,1	-0,4	0
1 o	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0,4	0,5	0	0,3	0,1	0	-0,1	0	0	0,1	0,3	0,3
1 o	0	0,1	-0,2	0	0,1	-0,2	0	0,5	0,5	0	0,3	0,3	0	0	0,2	0	0	0	-0,2
1 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0,1	0,4	0	0,1	0,5	0	0,2	0,2	0	-0,1	0	0
1 o	0	0	-0,3	0	0	-0,3	0	0,4	0,4	0	0,2	0,2	0	0,1	0,4	0	0	0	-1
1 m	0	-0,5	-0,4	0	-0,5	-0,4	0	-0,1	-0,2	0	-0,3	-0,2	0	0,5	0,4	0	0,2	0,2	0,2
1 m	0	-0,2	-0,6	0	-0,2	-0,6	0	0,4	-0,1	0	0,1	0	0	0,3	0,7	0	0,2	0,2	0,2
1 m	0	-0,3	-0,1	0	-0,3	-0,1	0	0,1	0,1	0	0	-0,1	0	0,4	0,4	0	0,2	0,4	0,4
1 m	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	-0,3	0	0,4	0,1	0	0	-1	0	0,3	0,7	0	0,1	0,4	0,4
1 m	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	0,3	0,4	0	0,2	0,6	0	0,1	0,1	0	0	0	0,1
1 m	0	-0,2	-2	0	-0,2	-2	0	0,3	0,2	0	0,3	0,4	0	0,3	0,5	0	-0,1	0,1	0,1
1 m	0	-0,6	-0,5	0	-0,6	-0,5	0	0,2	-0,1	0	0,3	0,1	0	0,5	0,8	0	0	0	0,1
2 o	0	-0,4	-0,1	0	-0,4	-0,1	0	0	-0,1	0	-0,2	-0,3	0	0,5	0,3	0	0,3	0,5	0,5
2 o	0	0,3	0,3	0	0,3	0,3	0	0,1	0	0	-0,2	-0,2	0	0	0,1	0	0,3	0,6	0,6
2 o	0	-0,1	0,2	0	-0,1	0,2	0	-0,1	0,1	0	-0,3	-0,3	0	0,2	0,2	0	0,3	0,7	0,7
2 o	0	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0	0,3	0,3	0	-0,1	-0,1	0	0	0,2	0	0,6	0,7	0,7
2 o	0	0	0,3	0	0	0,3	0	0,1	0,3	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,3	0,8	0,8
2 o	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0,1	0,1	0	0	-0,3	0	0,1	0,2	0	0,2	0,4	0,4
2 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,3	0	0	-0,4	-0,4	0	0,2	0,3	0	0,2	0,4	0,4
2 o	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,3	0	0,4	0,1	0	0,3	0,4	0	0,2	0,4	0,4
2 m	0	0,2	0,3	0	0,2	0,3	0	0	-0,2	0	0	-0,1	0	0	0	0	0,4	0,5	0,5
2 m	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	-0,1	0	0,1	-0,2	0	0	0,1	0	0,2	0,4	0,4
2 m	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	-0,2	0	0	-0,2	0	0,1	0,2	0	0,3	0,5	0,5
2 m	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,6	0	-0,2	-0,6	0	0,1	0,5	0	0,2	0,5	0,5
2 m	0	-0,1	-0,2	0	-0,1	-0,2	0	0	-0,8	0	0	-0,3	0	0,1	0,6	0	0,1	0,1	0,1
2 m	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0,1	-0,2	0	0,1	-0,1	0	0,1	0,3	0	0	0,2	0,2
2 m	0	0,4	0,2	0	0,3	0,2	0	0,2	0	0	-0,1	0	0	-0,1	-0,1	0	0,1	0,2	0,2
2 m	0	-0,3	-0,4	0	-0,3	-0,4	0	-0,2	-4	0	-0,2	-0,4	0	0,2	0,3	0	-0,2	0,2	0,2
3 o	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	0	0,1	0	0,1	-0,1	0	0,1	-0,4	0	0,2	0,4	0,4
3 o	0	0,8	1,3	0	0,8	1,2	0	-0,1	0,1	0	0	0,1	0	-0,7	-1	0	0,4	0,4	0,4
3 o	0	0,2	0,6	0	0,2	0,6	0	-0,1	0	0	-0,1	-0,1	0	-0,2	-0,8	0	-0,1	-0,1	-0,1
3 o	0	0	0,8	0	0	0,8	0	-0,2	0,1	0	0,1	0,1	0	-0,2	-0,8	0	0	0,1	0,1
3 o	0	0,1	0,3	0	0,1	0,3	0	-0,2	0	0	-0,2	-0,1	0	-0,2	-0,5	0	0	-0,2	-0,2
3 o	0	0,6	0,8	0	0,6	0,8	0	-0,2	0	0	-0,1	-0,2	0	-0,5	-0,8	0	0,1	-0,1	-0,1
3 m	0	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	-0,2	-0,6	0	0,1	0,1	0	-0,1	-1	0	0	-0,1	-0,1
3 m	0	-0,1	0,7	0	-0,1	0,7	0	-0,3	-1,1	0	0	0,9	0	0,4	-0,7	0	-0,1	-0,2	-0,2
3 m	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,2	-0,9	0	0,1	0,1	0	-0,2	-0,4	0	-0,1	0,1	0,1
3 m	0	0,1	-0,1	0	0,1	-0,1	0	-5	-0,9	0	-0,1	0	0	-0,6	-0,9	0	0,1	0	0
3 m	0	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	-0,1	0	0,3	0,4	0	0	-0,3	0	0	0	0
3 m	0	0,1	0,4	0	0,1	0,4	0	-0,2	-1,4	0	0,5	0,5	0	0	-0,7	0	0,1	-0,1	-0,1
3 m	0	0,4	0,6	0	0,4	0,6	0	-0,4	-1,3	0	0	0,6	0	-0,4	-1	0	-0,1	-0,4	-0,4
3 m	0	0,1	0,5	0	0,1	0,5	0	-0,3	-0,8	0	0,3	0	0	0,1	-0,1	0	-0,2	-0,7	-0,7
4 o	0	0,3	0,3	0	0,3	0,3	0	0,2	0,3	0	0,2	0,2	0	0,2	0,4	0	0,1	0,4	0,4
4 o	0	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0	0,3	0,2	0	0,2	0,2	0	-0,2	0	0	0,1	0,2	0,2
4 o	0	-0,3	-0,1	0	0,3	0,1	0	0	0	0	0,1	0,2	0	0,2	0,1	0	0	0,1	0,1
4 o	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,2	0,1	0	0	-0,2	0	0,1	0,2	0,2
4 o	0	-0,1	-0,5	0	-0,1	-0,3	0	0	0,1	0	0,2	0,4	0	0,1	0,3	0	-0,1	0	0
4 o	0	-0,2	-0,1	0	-0,2	-0,1	0	0	-0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	-0,1	0	0	0	0,2
4 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0	0,1	0	0,2	0,2	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1
4 o	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0,4	0	-0,2	-0,1	0	0,1	0,1	0,1
4 m	0	0,3	0,4	0	0,3	0,4	0	-0,2	-0,1	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	0,2	0,6	0,6
4 m	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0,4	0	-0,1	0,2	0,2
4 m	0	0,1	0,3	0	0,1	0,3	0	0	0,6	0	-0,1	0,3	0	-0,1	0,3	0	0,1	0,6	0,6
4 m	0	0,2	0,6	0	0,2	0,6	0	0,2	0,2	0	0,1	0,1	0	-0,1	0,1	0	0,1	0,7	0,7
4 m	0	-0,1	0,1	0	-0,1	0,1	0	0	0,2	0	-0,1	0,3	0	0,1	0,4	0	-0,1	0,5	0,5
4 m	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	0,1	0,4	0	0,2	0,4	0	0,3	0,4	0	0	0	0,4
4 m	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0	0	0,2	0	0,1	0,5	0	-0,1	0,3	0,3
4 m	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0	-0,6	0	0,2	-0,4	0	0,3	0,8	0	0,1	0,8	0,8
5 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0	-0,3	0	0,5	0,7	0	0,3	0,2	0	-0,3	-0,4	-0,4
5 m	0	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	0,1	1,1	0	0,1	0,4	0	-0,1	0,6	0	0,2	0,4	0,4
5 m	0	0,2	0,4	0	0,2	0,4	0	0,4	1	0	0,2	0,1	0	0,3	0,6	0	0,3	0,6	0,6
5 m	0	0,2	0,1	0	0,2	0,1	0	-0,4	-0,5	0	-0,2	-0,3	0	-0,3	-0,2	0	0	0	0
5 m	0	0	-0,2	0	0	-0,2	0	-1	-1,3	0	-0,8	-0,9	0	-0,5	0,6	0	-0,5	-0,9	-0,9
5 m	0	0,2	0,1	0	0,2	0,1	0	0	-0,1	0	0,2	0,3	0	0	-0,1	0	0,1	0	0
5 m	0	-0,3	-0,5	0	-0,3	-0,5	0	-0,4	-0,3	0	-0,3	-0,1	0	0,1	0,4	0	-0,3	-0,4	-0,4
5 m	0	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0	-0,6	-1	0	-0,4	-0,8	0	-0,5	-0,7	0	-0,1	-0,5	-0,5
5 h	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,5	-0,7	0	-0,4	-0,5	0	-0,3	-0,5	0	-0,5	-0,7	-0,7
5 h	0	0,1	-0,2	0	0,1	-0,2	0	-0,9	-1,2	0	-0,7	-0,9	0	-0,5	-0,5	0	-0,4	-0,7	-0,7
5 h	0	0	-0,3	0	0	-0,3	0	-0,6	-0,7	0	-0,8	-0,8	0	-0,4	-0,4	0	-0,4	-0,7	-0,7
5 h	0	-0,3	-0,5	0	-0,3	-0,5	0	-0,4	-0,3	0	-0,3	-0,1	0	0,1	0,4	0	-0,3	-0,4	-0,4
5 h	0	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0	-0,6	-1	0	-0,4	-0,8	0	-0,5	-0,7	0	-0,1	-0,5	-0,5
6 o	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	-0,2	0	0,1	0	0	0,1	0,4	0,4
6 o	0	0,2	0,3	0	0,2	0,3	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	-0,2	0	-0,3	-0,2	0	0,1	0,2	0,2
6 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,7	-0,7	0	-0,6	-0,6	0	0	0	0	-0,1	-0,1	-0,1
6 o	0	0,1	0,3	0	0,1	0,3	0	-0,7	-0,7	0	-0,5	-0,6	0	-0,2	-0,3	0	0	0,1	0,1

6 m	0	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	-0,3	-0,6	0	-0,2	-0,2	0	0,3	0,3	0	0,6	0,5	
6 m	0	0,2	-0,3	0	0,2	-0,3	0	-0,1	0,3	0	-0,3	0	0	0	0,6	0	0,5	0,5	
6 m	0	-0,4	-0,2	0	-0,4	-0,2	0	-0,3	-0,2	0	-0,5	-0,4	0	0,3	0,4	0	0,5	0,7	
6 m	0	-0,2	-0,1	0	0,2	-0,1	0	-0,4	0	0	-0,4	-0,2	0	-0,2	0,3	0	0,7	0,5	
6 m	0	0	0	0	0	0	0	-0,1	-0,2	0	-0,3	-0,4	0	0,7	0,6	0	0,8	0,8	
6 m	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,3	0	0	0,1	0	0	0,6	0,5	0	0,8	0,9
6 m	0	0,7	0,5	0	0,7	0,5	0	-0,8	-0,8	0	-0,8	-0,6	0	0,2	0,4	0	1,2	1,1	
6 m	0	0,1	0	0	0,1	0	0	-0,3	-0,3	0	-0,2	-0,1	0	0,2	0,1	0	0,4	0,1	
7 o	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,3	0	0,5	0,6	0	0,1	0,2	0	0,3	0,3	
7 o	0	0,3	-0,2	0	0,3	0,2	0	-0,2	0,2	0	0,2	0,5	0	0	0,3	0	0,1	-0,1	
7 o	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	0,2	0,3	0	0,3	0,7	0	0	0,1	0	0	0,1	
7 o	0	0	-0,2	0	0	-0,2	0	-0,1	0,1	0	0,1	0,3	0	0	0,2	0	-0,1	-0,1	
7 o	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	0,1	0,1	0	0,4	0,5	0	0,1	0	0	-0,1	0	
7 m	0	-0,1	-0,2	0	-0,1	-0,2	0	-0,6	-0,6	0	0,3	-0,1	0	1,2	1,6	0	0,3	0,8	
7 m	0	0,3	-0,4	0	0,3	-0,4	0	-0,8	-1	0	-0,2	-0,7	0	0,3	1,5	0	0,7	0,8	
7 m	0	0	-0,5	0	0	-0,5	0	0	-0,9	0	0,2	-0,8	0	0	1	0	0,3	0,7	
7 m	0	-0,6	-0,8	0	-0,6	-0,8	0	-0,1	-0,8	0	0	-0,6	0	0,4	1,2	0	0	0,5	
7 m	0	0,3	0	0	0,3	0	0	-0,6	-0,8	0	-0,3	-0,3	0	0,2	0,8	0	0,7	1,1	
9 o	0	0	-0,3	0	0	-0,3	0	0,2	0,5	0	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	
9 o	0	0,1	-0,1	0	0,1	-0,1	0	0,2	0,2	0	0,3	0,3	0	0	0,1	0	0,3	0,1	
9 o	0	-0,2	-0,1	0	-0,2	-0,1	0	-0,1	0,1	0	0,2	0,3	0	0,3	0,2	0	0,2	0,3	
9 o	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0	0,4	0,3	0	0,2	0,1	0	0,1	0,2	
9 o	0	0,3	-0,2	0	0,3	-0,2	0	-0,2	0	0	-0,2	0,2	0	0	0,3	0	0,3	0,1	
9 o	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	0,4	0,5	0	0,3	0,3	0	0	-0,1	0	-0,1	0	
9 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	-0,8	-0,7	0	0,4	0,4	0	0,6	0,6	0	0,6	0,8	
9 m	0	0,5	0,2	0	0,5	0,2	0	-0,5	-0,4	0	0,1	0,2	0	-0,1	0,1	0	0,5	0,6	
9 m	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	-0,8	0	0,2	0	0	0,1	0,5	0	0,3	0,6	
9 m	0	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0	-1,1	-0,8	0	-0,1	0,1	0	0,7	0,8	0	0,7	0,9	
9 m	0	0,4	0,4	0	0,4	0,4	0	-0,4	-0,6	0	0	0,1	0	-0,2	0,1	0	0,5	1	
9 m	0	-0,5	0,1	0	-0,5	0,1	0	-0,8	-0,6	0	0,1	0,1	0	0,5	0,4	0	0,1	0,6	
9 m	0	0,5	0,2	0	0,5	0,2	0	-0,7	-0,6	0	0	0,1	0	-0,1	0,1	0	0,5	0,4	
9 m	0	0,2	-0,2	0	0,2	-0,2	0	-0,1	-0,4	0	0,2	0,3	0	0,1	0,2	0	0,3	0,2	
10 o	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0	0,3	0,4	0	-0,2	-0,1	0	0	0	
10 o	0	0,5	0,4	0	0,5	0,4	0	0	0,1	0	0,2	0,2	0	-0,4	-0,3	0	0,1	0,2	
10 o	0	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0	0	-0,1	0	0,6	0,4	0	-0,1	0	0	-0,3	-0,3	
10 o	0	0	0,3	0	0	0,3	0	0,2	0,2	0	0,7	0,6	0	0	0	0	-0,3	-0,1	
10 o	0	0,2	0,1	0	0,2	0,1	0	-0,1	0	0	0,4	0,4	0	-0,1	-0,2	0	-0,5	-0,6	
10 o	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0,2	0	0,5	0,5	0	0,1	0,2	0	0,1	-0,2	
10 m	0	0,2	-0,3	0	0,2	-0,3	0	-0,7	-0,4	0	0,2	0,5	0	0,4	0,6	0	-0,2	0	
10 m	0	0,3	-0,3	0	0,3	-0,3	0	-0,4	-0,3	0	0,3	0,5	0	0,1	0,5	0	0	0	
10 m	0	0,1	0	0	0,1	-0,1	0	-0,3	-0,3	0	1,1	1,1	0	0,3	0,4	0	-1,3	-0,9	
10 m	0	0	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,2	-0,3	0	0,7	0,6	0	0,3	0,2	0	-0,7	-0,5	
10 m	0	0,3	0,5	0	0,3	0,5	0	-0,3	-0,5	0	0,9	0,7	0	0,2	-0,1	0	-0,4	-0,2	
10 m	0	-0,4	0	0	-0,4	0	0	-0,2	-0,7	0	0,6	0,5	0	0,7	0,7	0	-0,4	0,1	
10 m	0	0,1	-0,1	0	0,1	-0,1	0	-0,4	-0,2	0	0,2	0,5	0	0	0,3	0	-0,6	-0,3	
11 o	0	0,2	0,3	0	0,2	0,3	0	0,1	0,2	0	0,2	0,2	0	0	-0,1	0	0	0	
11 o	0	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0	-0,1	-0,1	0	0,1	0	
11 o	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0,1	0	0	-0,1	-0,1	
11 o	0	0,2	-0,5	0	0,2	-0,5	0	-0,1	-0,3	0	-0,2	-0,3	0	-0,1	0	0	0	-0,4	
11 o	0	0,2	0,5	0	0,2	0,4	0	-0,1	-0,1	0	0,2	0,2	0	0	-0,3	0	0,1	0,3	
11 m	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	-0,3	-0,5	0	-0,2	-0,4	0	-0,2	-0,4	0	0,5	0,5	
11 m	0	0,2	0,5	0	0,2	0,4	0	-0,1	-0,1	0	0,2	0,2	0	0	-0,3	0	0,1	0,3	
11 m	0	0,6	1,1	0	0,6	1,1	0	-0,3	-0,3	0	-0,2	-0,3	0	-0,1	0	0	0,7	0,8	
11 m	0	0,7	0,7	0	0,7	0,7	0	-0,3	-0,4	0	-0,2	-0,4	0	-0,1	-0,2	0	0,6	0,6	
11 m	0	0,8	1,4	0	0,8	1,4	0	-0,5	-0,2	0	-0,6	-0,5	0	-0,2	-0,3	0	0,8	7,3	
11 m	0	1	0,6	0	1	0,6	0	-0,6	-0,7	0	-0,7	-0,6	0	-0,4	-0,2	0	0,9	0,7	
11 m	0	0,8	1	0	0,8	1	0	-0,5	-0,4	0	-0,4	-0,4	0	-0,2	-0,3	0	0,7	0,8	
11 m	0	0,6	0,8	0	0,6	0,8	0	-0,4	-0,4	0	-0,3	-0,3	0	-0,1	-0,3	0	0,6	0,6	
12 m	0	-0,3	-0,6	0	-0,3	-0,6	0	0,1	-0,2	0	0,1	0	0	0,2	0,5	0	-0,3	0,1	
12 m	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	-0,2	-0,6	0	-0,2	-0,3	0	0	0,3	0	0	0,2	
12 m	0	-0,1	-0,1	0	0,1	-0,1	0	-0,4	-0,9	0	-0,2	-0,3	0	0,2	0,7	0	0	0,5	
12 m	0	-0,5	-0,5	0	-0,6	-0,5	0	-0,2	-0,5	0	0	-0,2	0	0,6	0,8	0	-0,5	-0,1	
12 m	0	-0,4	-0,5	0	-0,4	-0,5	0	-0,1	-0,2	0	0,1	0,1	0	0,4	0,6	0	-0,3	-0,3	
12 m	0	-0,3	0	0	-0,3	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,3	0,8	0	-0,2	0,3	
12 m	0	0,1	0	0	0,1	0	0	-0,1	0	0	0,4	0,7	0	-0,1	0,2	0	0	0	
12 m	0	-0,1	-0,6	0	-0,1	-0,6	0	0,4	0,1	0	0,7	0,5	0	0	0,7	0	0,1	-0,1	
13 m	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,5	-0,1	0	0	0	0	0,4	0	
13 m	0	-0,1	-0,2	0	-0,1	-0,2	0	-0,4	0	0	-0,3	0	0	0,3	0,3	0	0	0,1	
13 m	0	-0,1	-0,5	0	-0,1	-0,5	0	0,1	0,1	0	0,3	0,3	0	0	0,3	0	0	0	
13 m	0	0	-0,4	0	0	-0,4	0	0,2	0,3	0	0,1	0,1	0	-0,1	0,8	0	0	0,5	
13 m	0	0,2	0	0	0,2	0	0	-0,5	-0,4	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	0	0	0	-0,1	
13 m	0	0,7	0,1	0	0,7	0,1	0	-0,5	-0,2	0	0,4	0,6	0	0,1	0,7	0	-0,2	-0,3	
13 m	0	0,4	0,5	0	0,4	0,5	0	0	0,6	0	0,5	0,9	0	0,3	0,8	0	-0,2	0	
13 m	0	-0,1	-0,4	0	-0,1	-0,4	0	-0,1	-0,1	0	0,2	0,2	0	0,4	0,6	0	0,1	-0,2	

14 m	0	-0,1	0,4	0	-0,1	0,4	0	0	0	0	-0,1	-0,4	0	0,3	0,1	0	0,2	0,5
14 m	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	-0,1	-0,1	0	-0,3	-0,3	0	0,3	0,3	0	0,3	0,3
14 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0	0,1	0	-0,2	-0,2	0	0,3	0,3	0	0,2	0,3
14 m	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0,2	0,5	0	0	0	0	0,1	0	0	0,2	0,2
14 m	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	0,2	0,3	0	0,3	-0,1	0	0,2	0,3	0	-0,1	0,2
14 m	0	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0	0	0	0	-0,4	-0,3	0	0,1	0,4	0	0,6	0,6
14 m	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	-0,3	-0,1	0	0,2	0,3	0	0,4	0,3
14 m	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0	-0,1	0	-0,2	-0,4	0	0,4	0,4	0	0,2	0,4
14 m	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0	0	-0,2	-0,5	0	0,2	0,3	0	0,3	0,5
14 m	0	0,2	0	0	0,2	0	0	-0,1	0,1	0	-0,1	-0,1	0	0	0,2	0	0,2	0,3
14 m	0	-0,1	0,5	0	-0,1	0,5	0	0	-0,3	0	-0,2	-0,5	0	0,3	0,2	0	0,2	0,6
14 m	0	0,2	0,4	0	0,2	0,4	0	-0,2	-0,3	0	-0,5	-0,6	0	0,3	0,3	0	0,2	0,2
14 m	0	0	0	0	0	0	0	-0,1	-0,3	0	-0,2	-0,5	0	0,2	0,6	0	0,4	0,3
14 m	0	0,2	0,1	0	0,2	0,1	0	0	-0,1	0	-0,2	-0,4	0	0,1	0,4	0	0,4	0,5
14 m	0	0,2	0,3	0	0,2	0,3	0	-0,1	-0,3	0	-0,3	-0,6	0	0	0,3	0	0,4	0,5
14 m	0	0,1	-0,1	0	0,1	-0,1	0	-0,1	0	0	-0,3	-0,3	0	0	0,1	0	0,2	0,2
14 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0	-0,2	0	-0,1	-0,5	0	0,2	0,2	0	0,2	0,4
15 m	0	0,2	0,6	0	0,2	0,6	0	0	-0,1	0	0,1	-0,2	0	0,1	0,2	0	0,3	0,5
15 m	0	0,2	0,4	0	0,2	0,4	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	-0,6	0	-0,3	-0,1	0	-0,1	-0,1
15 m	0	0,2	0,7	0	0,2	0,7	0	0,7	-0,1	0	0,5	-0,7	0	0,2	0	0	0,4	0,4
15 m	0	0,2	0,4	0	0,2	0,4	0	-0,1	0,6	0	-0,6	0	0	0	0,5	0	0,1	0,5
15 m	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	-0,1	0,6	0	-0,4	0	0	0	0,2	0	0,1	0,5
15 m	0	0,4	0,8	0	0,4	0,8	0	0	0,7	0	-0,4	-0,1	0	-0,1	0,1	0	-0,1	0,5
15 m	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	-1	-1,1	0	-1,4	-1,7	0	-0,4	0	0	-0,3	-0,1
15 m	0	0,4	0,9	0	0,6	0,9	0	0,2	0,1	0	-0,3	-0,4	0	-0,2	-0,3	0	0	0,2
16 o	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0,1	0	0	0	0	-0,2	0
16 o	0	0,1	-0,2	0	0,1	-0,2	0	0	-0,4	0	0	0	0	-0,1	-0,1	0	0	-0,1
16 o	0	-0,3	-0,8	0	-0,3	-0,8	0	0	-0,6	0	0	-0,4	0	0,1	0,3	0	0	-0,3
16 o	0	-0,1	-0,2	0	-0,1	-0,2	0	0,3	0,3	0	0,3	0,6	0	0,2	0,2	0	-0,1	0,1
16 o	0	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	-0,2	-0,5	0	0,1	0	0	0	-0,1	0	0,2	0,4
16 o	0	0,1	0	0	0,1	0	0	-0,2	-0,1	0	-0,1	0,2	0	-0,1	0	0	0,1	0,1
16 o	0	-0,2	-0,1	0	-0,2	-0,1	0	0,2	0	0	0,3	0,3	0	0,2	0,2	0	0	0
16 o	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0,1	0	0	-0,1	-0,3	0	-0,3	-0,3	0	0,1	-0,1
16 m	0	0	0,1	0	0	0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,2	-0,2	0	-0,1	-0,2	0	0	0,2
16 m	0	0,2	-0,3	0	0,2	-0,3	0	0	0,1	0	0	0,3	0	-0,1	0,2	0	0,2	0,1
16 m	0	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	-0,1	0	0	0	0	0	-0,1	-0,1	0	0,1	0,2
16 m	0	0,1	-0,1	0	0,1	-0,1	0	-0,5	-0,4	0	-0,6	-0,8	0	0	0,3	0	0,2	0,2
16 m	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	-0,1	0,2	0	0	0,1
16 m	0	0,3	0,3	0	0,3	0,3	0	-0,1	-0,4	0	-0,1	-0,3	0	-0,1	0	0	0,3	0,6
16 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	-0,4	-0,4	0	-0,3	-0,3	0	0,5	0,6	0	0,2	0,4
16 m	0	-0,1	0,2	0	-0,1	0,2	0	-0,1	-0,7	0	-0,2	-0,5	0	0,2	0,4	0	0,2	0,6
17 o	0	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0	0,2	0,2	0	-0,1	-0,1	0	0,1	0,2
17 o	0	0,4	0,2	0	0,4	0,2	0	0,4	0,4	0	0,5	0,5	0	-0,1	0	0	0,4	0,3
17 o	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0,2	0,4	0	0,2	0,3	0	-0,1	0,1	0	-0,1	0,1
17 o	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,1	0	0,2	0,2	0	0	0,2	0	0,1	0
17 o	0	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0	0,1	0,1	0	0,2	0,3	0	-0,2	-0,2	0	0,2	0
17 o	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0,1	0,1	0	0,2	0,2	0	0,1	0	0	0	0
17 o	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0,2	0	0	-0,1	0	0,1	0,2
17 o	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,3	0	0	0,4	0	0	-0,2	0	-0,1	0
17 m	0	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0,1	0,3	0	0	0,5	0	-0,3	0,2	0	0,2	0,2
17 m	0	-0,4	-0,4	0	-0,4	-0,4	0	0	0,2	0	0	0,4	0	0,3	0,4	0	-0,1	-0,1
17 m	0	0,2	0	0	0,2	0	0	-0,1	0	0	0	4	0	-0,2	0,1	0	0,2	0,2
17 m	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	-0,1	0,2	0	-0,1	0,5	0	0,1	0,1	0	0,3	0,5
17 m	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	0	0	-0,2	0,2	0	0,4	0,4	0	0,1	0,2
17 m	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,2	-0,1	0	0,1	0,5	0	0,2	0,1	0	0,5	0,5
17 m	0	-0,1	-0,3	0	-0,1	-0,3	0	0	0,3	0	0,4	0,7	0	0,3	0,1	0	0	-0,1
17 m	0	-0,4	-0,4	0	-0,4	-0,4	0	0,2	0,2	0	0	-0,2	0	0,1	0,2	0	0,3	0,3
17 m	0	-0,4	-0,1	0	-0,4	-0,1	0	0	0,2	0	0,1	0,4	0	0,2	0	0	0,2	0,4
17 m	0	-0,5	-0,5	0	-0,5	-0,5	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0,3	0,2	0	0,1	0,2
17 m	0	0,2	-0,2	0	0,2	-0,2	0	-0,1	0	0	0,1	0,2	0	0	0,1	0	0,2	0,3
17 m	0	0	0	0	0	0	0	-0,2	0	0	-0,3	0,1	0	0,1	0,1	0	0,4	0,4
17 m	0	-0,3	-0,2	0	-0,3	-0,2	0	0,2	0,3	0	-0,1	0	0	0,2	0	0	0,2	0,3
18 o	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,2	0,2	0	0	-0,1	0	0,1	0
18 o	0	-0,4	0	0	-0,4	0	0	-0,1	0,1	0	0,1	0,2	0	0,3	0	0	-0,2	0
18 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0	0,1	0	0,3	0,3	0	0,1	0	0	-0,1	-0,1
18 o	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0,1	0,1
18 o	0	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	-0,3	-0,1	0	0,2	0,1
18 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	0,1	0	0	0,2	0	0	0,1	0	-0,1	-0,2
18 m	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0,3	0,4	0	0,4	0,4	0	-0,1	0	0	0,2	0,1
18 m	0	-0,3	-0,5	0	-0,3	0,5	0	-0,1	0,1	0	0,2	0	0	0,3	0,5	0	-0,1	-0,1
18 m	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0,5	0,9	0	0,3	0,5	0	0,1	0,4	0	0	0,2
18 m	0	0,2	-0,1	0	0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0	0	0,1	0	0,2	0,5	0	0,4	0,4
18 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0,3	0	0,1	0,3	0	0,6	0,6	0	0,2	0,5
18 m	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	0,4	0	-0,2	0,2	0	0	0,2	0	0,2	0,3

18 m	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	0,4	0,7	0	0,1	0,3	0	0,6	0,6	0	0,4	0,9
18 m	0	-0,2	0	0	-0,2	0	0	0,1	0,1	0	-0,4	-0,3	0	-0,1	-0,4	0	0	0
18 m	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	-0,1	-0,2	0	-0,3	-0,1	0	0,4	0,3
18 m	0	-0,1	0,3	0	-0,1	0,3	0	0	-0,2	0	-0,1	-0,1	0	0	-0,4	0	-0,2	-0,3
18 m	0	-0,1	-0,4	0	-0,1	-0,4	0	-0,1	-0,5	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	-0,1	0	-0,3	-0,5
18 m	0	0,1	0,5	0	0,1	0,5	0	0	0	0	-0,1	-0,1	0	-0,4	-0,7	0	-0,1	-0,1
19 o	0	0,4	0,3	0	0,4	0,3	0	-0,1	-0,1	0	0,2	0,3	0	-0,4	0,3	0	0,2	0,3
19 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,4	-0,3	0	-0,2	-0,1	0	-0,2	-0,2	0	-0,2	-0,2
19 o	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	0,2	0,2	0	0,4	0,6	0	0	0	0	0,2	0,3
19 o	0	0,4	0,4	0	0,4	0,4	0	-0,1	-0,2	0	0,2	0,2	0	-0,3	-0,2	0	0,3	0,3
19 o	0	-0,2	-0,2	0	-0,2	-0,2	0	0,3	0,3	0	0,4	0,6	0	0,1	0	0	-0,1	0
19 o	0	-0,5	-0,3	0	-0,5	-0,3	0	0,4	0,4	0	0,4	0,3	0	0,3	0,1	0	-0,1	-0,2
19 o	0	-0,3	-0,1	0	-0,3	-0,1	0	0,1	-0,1	0	0,1	0	0	0	-0,1	0	-0,2	-0,1
19 o	0	-0,3	0,1	0	-0,3	-0,1	0	0,2	0,1	0	-0,1	-0,3	0	0,1	0,2	0	-0,4	-0,2
19 m	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	-0,3	-0,2	0	-0,1	0	0	0,1	0,6	0	0,2	0,5
19 m	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0,2	0,3	0	-0,2	0	0	0,1	0,7	0	0,2	0,7
19 m	0	-0,2	-0,1	0	-0,2	-0,1	0	0	0	0	-0,1	0,2	0	0,3	0,6	0	0,1	0,5
19 m	0	0,2	-0,4	0	0,2	-0,4	0	-0,9	-0,8	0	-0,4	-0,3	0	-0,6	0,3	0	-0,1	0,2
19 m	0	0	-0,3	0	0	-0,3	0	-0,2	0	0	-0,1	0	0	0	0,6	0	0,2	0,3
19 m	0	-0,1	0,1	0	-0,1	0,1	0	-0,4	-0,1	0	-0,2	0,2	0	-0,1	0,3	0	0,1	0,7
19 m	0	0,4	0,2	0	0,4	0,2	0	-0,1	0,5	0	0,1	0,5	0	-0,4	0,3	0	0,3	0,7
19 m	0	-0,1	0,7	0	-0,1	0,7	0	0,4	0,3	0	0,2	0,5	0	0,4	0,2	0	0,4	1,1
20 o	0	-0,3	-0,2	0	-0,3	-0,2	0	0	0	0	0,2	0,3	0	-0,1	0	0	-0,2	-0,2
20 o	0	0,1	0	0	0,1	0	0	-0,1	0	0	0,1	0,3	0	-0,4	-0,3	0	0	0
20 o	0	0	0,1	0	0	0,1	0	-0,1	0	0	0	0,2	0	-0,3	-0,3	0	-0,1	0
20 o	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	-0,2	-0,2	0	0,1	0,2	0	-0,3	-0,2	0	-0,1	-0,1
20 o	0	0,4	0,2	0	0,4	0,2	0	0,1	0,3	0	0,3	0,4	0	-0,4	-0,2	0	0,2	0,1
20 m	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	0	0,7	0,8	0	-1,2	-0,9	0	-0,1	-0,1	0	0,3	0,8
20 m	0	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0,5	0,6	0	-1,1	-1	0	-0,1	0	0	0,3	0,4
20 m	0	-0,3	-0,2	0	-0,3	-0,2	0	0,5	0,7	0	-1,1	-0,8	0	-0,1	-0,1	0	-0,1	0,4
20 m	0	-0,3	-0,5	0	-0,3	-0,5	0	0,8	1,2	0	-0,9	-0,5	0	-0,2	0	0	0	0,1
20 m	0	0,1	0,3	0	0,1	0,3	0	0,6	1	0	-1	-0,9	0	-0,4	-0,6	0	0,5	0,5
20 m	0	0,2	0	0	0,1	0	0	0,3	0,9	0	-0,9	-0,7	0	-0,2	0,1	0	0,1	0,2
20 m	0	-0,3	-0,5	0	-0,3	-0,5	0	0,4	0,7	0	-1,1	-1,1	0	0	0,2	0	0	-0,1
20 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0,4	0,4	0	-0,9	-1,1	0	-0,1	-0,3	0	-0,2	0
20 m	0	-0,3	-0,5	0	-0,3	-0,5	0	0,2	0,3	0	-0,8	-1	0	0,1	0,4	0	-0,1	-0,1
20 m	0	-0,1	0	0	-0,1	0	0	0,4	0,8	0	-0,6	-0,5	0	0,1	0,2	0	-0,3	-0,1
20 m	0	-0,2	-0,3	0	-0,2	-0,3	0	0,4	0,5	0	-0,8	-1	0	0	0,1	0	0	-0,1
20 m	0	-0,4	-0,4	0	-0,4	-0,4	0	0,6	0,5	0	-0,8	-1	0	0,5	0,5	0	-0,3	-0,3
21 o	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	-0,2	-0,4	0	-0,2	-0,4	0	-0,4	-0,6	0	-0,2	-0,4
21 o	0	0,3	-0,2	0	0,3	-0,2	0	0,1	0,5	0	-0,2	-0,2	0	-0,1	0,3	0	0	-0,2
21 o	0	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0	0	0,5	0	-0,1	-0,1	0	-0,2	0,3	0	-0,1	0
21 o	0	0,5	0,6	0	0,5	0,6	0	-0,1	0,1	0	-0,3	-0,3	0	-0,6	-0,6	0	0	0
21 o	0	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0	0,1	0,1	0	0	-0,1	0	-0,5	-0,6	0	0,1	-0,2
21 o	0	-0,1	0,4	0	-0,1	0,4	0	0,4	0,3	0	0,2	-0,4	0	0,4	-0,2	0	-0,2	-0,2
21 m	0	0,5	0,9	0	0,5	0,9	0	-0,3	-0,3	0	0,3	0,1	0	-0,5	-0,6	0	0,3	0,7
21 m	0	0	0,2	0	0	0,2	0	-0,2	0	0	0,3	0,3	0	-0,4	-0,2	0	0,1	0,4
21 m	0	0,5	0,7	0	0,5	0,7	0	-0,3	-0,2	0	0,1	-0,2	0	-0,6	-0,5	0	0,2	0,4
21 m	0	0,4	0,6	0	0,4	0,6	0	0	0,5	0	-0,1	-0,1	0	-0,3	-0,5	0	0,1	0,4
21 m	0	0,4	0,9	0	0,4	0,9	0	0	0,1	0	0	0,2	0	-0,5	-1	0	0,3	0,5
21 m	0	0,6	0,7	0	0,5	0,7	0	0,1	0,5	0	-0,1	-0,2	0	-0,6	-0,7	0	0,3	0,6
21 m	0	0,1	1	0	0,1	1	0	0,7	1,3	0	0,3	0	0	-0,6	-0,7	0	0,3	0,8

Danksagung

Meinen Dank möchte ich allen Lehrenden der Universitätsmedizin Mainz aussprechen, die mich mit exzellenter Lehre in meinem Werdegang fachlich begleitet und gefördert haben. Hervorheben möchte ich besonders Herrn Professor [Name entfernt], Herrn Professor [Name entfernt] und Herrn Dr. [Name entfernt], ohne deren umfangreiche Unterstützung diese Dissertation nicht hätte geschrieben werden können.

Ich danke den Kollegen des Instituts für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik für Ihre Hilfe.

Für den umfangreichen Rückhalt und die Unterstützung durch Familie und Freunde bin ich sehr dankbar und möchte mich hiermit bei allen Beteiligten herzlich bedanken. Hervorheben möchte ich Frau [Name entfernt], die mir in beispiellosem Maße zur Seite stand.

Zuletzt danke ich auch besonders meinen Eltern, deren langjährige Förderung mir erst das Studium und damit das Verfassen dieser Dissertation ermöglicht hat.

Tabellarischer Lebenslauf

[Lebenslauf entfernt]