

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
(Leiter: Prof. Dr. med. dent. R. Bürgers)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Axiographische Darstellung möglicher Unterschiede in der
Bewegungsbahn bei okklusions- und kalottenschienengeführter
Kondylenbewegung**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Amely Sofie Dorothea Neumeyer
aus
Darmstadt

Göttingen 2014

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H.K. Kroemer

1. Berichterstatter: PD Dr. med. dent. N. Gersdorff

2. Berichterstatter: PD Dr. med. dent. W. Hahn

3. Berichterstatter: Prof. Dr. hum. biol. M. Schön

Tag der mündlichen Prüfung: 24. September 2014

Für meinen Papa

1	Einleitung	1
1.1	Anatomie des Kauapparates	3
1.2	Funktion des Kauapparates	7
1.3	Pathophysiologie des Kauapparates bei kranio-mandibulärer Dysfunktion	10
1.3.1	Myogene Faktoren	13
1.3.2	Arthrogene Faktoren	14
1.4	Diagnostik	16
1.4.1	Anamneseerhebung	16
1.4.2	Klinische Funktionsanalyse	17
1.4.3	Instrumentelle Funktionsdiagnostik	18
1.4.3.1	Achsiographie (SAM)	19
1.4.3.2	Paraokklusale Registrierung (AXIODAPT)	21
1.4.4	Bildgebende Verfahren	22
1.5	Therapieprinzipien bei kranio-mandibulärer Dysfunktion	24
1.5.1	Therapieformen bei myogenen Ursachen	24
1.5.2	Therapieformen bei arthrogenen Ursachen	25
1.5.3	Funktionsprinzip der bimaxillären Kalottenschiene	27
1.6	Fragestellung und Zielsetzung	32
2	Material und Methoden	33
2.1	Patientenkollektiv	33
2.2	Untersuchung der Patienten	34
2.2.1	Schematische Darstellung des AXIOGRAPH III	34
2.2.2	Patientenvorbereitung	35
2.2.3	Vorbereitung des AXIODAPT (Paraokklusal-Registrier-Adapter)	37
2.2.4	Vorbereitung des Schienen-Adapters	39
2.2.5	Vorbereitung des AXIOMATIC-Bogens	40
2.2.6	Anbringung des AXIOMATIC-Bogens	41
2.2.7	Instrumentelle Funktionsanalyse/ Versuchsablauf	45

2.3	Erhebung der Daten.....	50
2.4	Auswertung der Daten	55
2.4.1	Auswertung des Bewegungsumfangs.....	55
2.4.2	Auswertung der Bewegungsspurenqualität	57
2.4.3	Auswertung der Steigung der Axiogramm-Segmente.....	59
3	Ergebnisse	61
3.1	Ergebnisse des Bewegungsumfangs.....	61
3.2	Ergebnisse der Bewegungsspurenqualität.....	63
3.3	Ergebnisse der Steigung in den Axiogramm-Segmenten	70
4	Diskussion	73
4.1	Diskussion der Methodik.....	73
4.1.1	Diskussion der Axiographie	73
4.1.2	Korrelation der Axiographie zur klinischen Funktionsanalyse.....	80
4.2	Diskussion der Ergebnisse.....	84
4.2.1	Diskussion des Bewegungsumfangs	84
4.2.2	Diskussion der Bewegungsspurenqualität	85
4.2.3	Diskussion der Steigung in den Axiogramm-Segmenten.....	87
4.3	Abschließende Diskussion	90
5	Zusammenfassung.....	92
6	Literaturverzeichnis	93
7	Abbildungsverzeichnis	105
8	Tabellenverzeichnis.....	107
9	Anhang.....	108
9.1	Tabelle Längen	108
9.2	Tabelle Harmonie.....	109
9.3	Tabelle Winkel	112

Abkürzungsverzeichnis

AAOP	American Academy of Orofacial Pain
Abb.	Abbildung
ADVmR	anteriore Diskusverlagerung mit Reposition
ADVoR	anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition
ANOVA	Varianzanalyse (<i>analysis of variance</i>)
BiMax	bimaxilläre Kalottenschiene
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CMD	kraniomandibuläre Dysfunktion(en)
CT	Computertomographie
DGFDT	Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Diff.	Differenz
DV	Diskusverlagerung
et al.	et alii
evtl.	eventuell
fkt.	funktionell
ggf.	gegebenenfalls
IKP	Interkuspitation
Idf.-Nr.	Identifikationsnummer
KG	Kiefergelenk
li	links
M.	Musculus
max.	maximal
mm	Millimeter
MÖ	Mundöffnung
MRT	Magnetresonanztomographie
mS	mit Schiene
MW	Mittelwert

N.	Nervus
OK	Oberkiefer
OPG	Orthopantomographie
oS	ohne Schiene
P	Prüfer
PDV	posteriore Diskusverlagerung
PMMA	Polymethylmethacrylat
Proc.	Processus
RDC/TMD	Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders
re	rechts
S.	Seite
SAP	Scharnierachsenpunkt
SKN	sagittaler Kondylenbahnneigungswinkel
sog.	sogenannt
Tab.	Tabelle
TMJ	<i>temporomandibular joint</i>
UK	Unterkiefer
UMG	Universitätsmedizin Göttingen
z.B.	zum Beispiel
ZMK	Zahn-Mund-Kiefer

1 Einleitung

In der heutigen Zahnmedizin geht das Diagnostik- und Therapiespektrum über eine isolierte Betrachtungsweise der Zähne weit hinaus. Diese Erweiterung führt uns zur Einbeziehung aller am okklusalen Geschehen beteiligter Gewebe und deren gegenseitiger Beeinflussung (Schwenzer 2000).

So kann man die Zahnheilkunde heute als umfassender, aber freier bezeichnen, da sie den Zahn nicht mehr in den alleinigen Mittelpunkt stellt, sondern als Komponente des kranio-mandibulären Systems ansieht. Dies erlaubt eine medizinische Integration und Interpretation von Erkrankungen des Kausystems in die Zahnmedizin, die noch vor 20 Jahren nicht mit einbezogen wurde (Boisserée und Schupp 2012, Freesmeyer 1993).

Da für die verschiedenen Symptome und Erkrankungen des stomatognathen Systems verschiedene Begriffe existieren, wird im Folgenden der von der DGZMK anerkannte Begriff der *kranio-mandibulären Dysfunktion (CMD)* verwendet, der synonym mit der englischen Bezeichnung *Temporomandibular Disorders (TMD)* benutzt werden kann (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Kranio-mandibuläre Dysfunktionen können nicht als ein isoliertes Phänomen betrachtet werden, sondern vielmehr als Bestandteil einer Konstitution vieler möglicher pathologischer Veränderungen des Kausystems und Kopf-Hals-Bereiches. Somit zählt die CMD mit ihren unterschiedlichen Symptomen und ihrer Ätiologie zu den häufigsten Erkrankungen des Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereiches. Die Manifestationsorte dieser Symptome sind nicht auf das Kiefergelenk beschränkt, sondern erfassen auch Bereiche der Zähne, der Parodontien, der Kaumuskulatur und der Kopf- und Halsmuskulatur (Reichart et al. 2002, John und Wefers 1999).

Eine Vielzahl von Symptomen des stomatognathen Systems können vom Krankheitsbild der kranio-mandibulären Dysfunktion abgeleitet werden. Leitsymptome der CMD sind unter anderem starke Schmerzen, die möglicherweise bis in die Kopfregeion ausstrahlen können, erhebliche Einschränkungen bzw. Limitationen der

Mundöffnung und Unterkieferbewegungen, Gelenkgeräusche, die sich durch ein Knacken charakterisieren lassen sowie Überempfindlichkeiten von Muskeln und Gelenken (American Academy of Orofacial Pain 1996, John und Wefers 1999).

Bei einer repräsentativen Befragung von 1.230 Personen (51,5% Frauen) im Alter von 15 bis 65 Jahren gaben 39,2% der Personen an, unter einem der Symptome einer CMD zu leiden. 25,6% der Befragten beschrieben dabei eine Schmerzsymptomatik im Zusammenhang mit einer CMD. Das Symptom Kiefergelenkknacken spielte bei Kiefergelenks- und Kaumuskelschmerzen die größte Rolle (Gonçalves et al. 2010).

Die Ätiopathogenese einer CMD ist multifaktoriell und funktionelle sowie strukturelle Störungen des Kiefergelenks gehören zu diesem Krankheitsbild. Zu den häufigsten Gründen für die Entstehung einer solchen Erkrankung des Kiefergelenks zählen ein entstandenes internes oder externes Trauma, chronische Traumaformen, Muskel-fehlfunktionen, die durchaus auch psychischen Ursprungs sein können sowie okklusale Parafunktionen von Zähnen bzw. Zahngruppen (Ash et al. 2006). Die Ursprünge der aufgezeigten pathologischen Erscheinungen liegen in den meisten Fällen an nicht kieferorthopädisch behandelten Dysgnathieformen des Kauapparats. Als weitere wichtige Faktoren sind die iatrogen bedingten Fehler zu nennen, welche durch konservierende, prothetische und kieferorthopädische Maßnahmen entstanden sind sowie psychische Einflussfaktoren auf das Kauorgan und generalisierte Bindegewebsschwächen unter Mitbeteiligung anderer Gelenke, wie z.B. der Wirbelsäule (Reissmann et al. 2007). Aufgrund der komplexen Zusammenhänge einer CMD sollten alle einzelnen Faktoren bei der Therapie berücksichtigt werden (Konstantinović und Lazić 2006).

Neben der Komplexität der CMD wird zudem deutlich, dass sie ein weitverbreitetes Krankheitsbild darstellt und auch in Zukunft zielgerichteter bzw. effektiver Therapieformen bedarf.

Der Stand des wissenschaftlichen Verständnisses ist bedauerlicherweise bis heute begrenzt, wodurch sich unter anderem kontroverse Diskussionen über Ätiologie und Therapie widerspiegeln (Leder 2008).

1.1 Anatomie des Kauapparates

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge einer CMD sollten alle einzelnen Faktoren bei der Therapie berücksichtigt werden (Konstantinović und Lazić 2006). Das Kiefergelenk (*Articulatio temporomandibularis*) bildet gemeinsam mit dem Kieferskelett, der Muskulatur, den Zähnen und dem Zahnhalteapparat das Kausystem (orofaziales System), das gekoppelt mit dem zentralen Nervensystem einen biokybernetischen Funktionskreis darstellt. Jedes Organ dieses Funktionskreises übernimmt spezifische Teilfunktionen und trägt so zum Erhalt der Funktionsfähigkeit des orofazialen Systems bei. Zu diesen Funktionen gehören im Rahmen des Verdauungs-, Atmungs- und Nervensystems die mastikatorische, sensitiv-sensorische, phonetische und respiratorische Funktion sowie ästhetisch-physiognomische Mimikfunktionen (Kohlbach 2007).

Die Kiefergelenke sind vor dem äußeren Gehörgang lokalisiert und werden aus knöchernen Anteilen des Unterkiefers (*Mandibula*) und des Schläfenbeins (*Os temporale*) sowie aus bindegewebigen Strukturen gebildet.

Es handelt sich um ein sog. „echtes“ Gelenk oder eine Diarthrose (Spaltgelenk, Synovialgelenk), die dadurch gekennzeichnet ist, dass die artikulierenden Gelenkflächen nicht direkt in Kontakt stehen, sondern durch einen Spalt voneinander getrennt sind. Eine Gelenkkapsel (*Capsula articularis*) schließt das Gelenk gegen die Umgebung luftdicht ab und bildet eine Gelenkhöhle, in der sich die „Gelenkschmiere“ (Synovialflüssigkeit) befindet, die neben der „Schmierfunktion“ auch Ernährungs- und Reinigungsaufgaben besitzt.

Die Gelenkkapsel wird seitlich durch zwei Bänder verstärkt. An der Außenseite verläuft das stärkere *Ligamentum laterale*, das am *Processus zygomaticus* und dem *Collum* der *Mandibula* ansetzt. Nach innen findet sich das schwächere *Ligamentum mediale*. Gemeinsam mit zwei weiteren Bändern (*Lig. stylomandibulare* und *Lig. sphenomandibulare*) begrenzen sie Extreimbewegungen des Unterkiefers und sichern den physiologischen Bewegungsspielraum des Gelenks durch ihre stabilisierende Wirkung (Strub et al. 2005).

Die Gelenkgrube (Fossa mandibularis) bildet den temporalen Gelenkanteil an der Schuppe des Schläfenbeins (Pars squamosa des Os temporale) und setzt sich nach ventral als walzenförmiges Gelenkhöckerchen (Tuberculum articulare, Eminentia articularis) fort. Sie besitzt eine Neigung zur Okklusionsebene von etwa 40° nach posterior- kranial (Rohen 1994), die jedoch alters- und funktionsabhängig ist (Bumann und Lotzmann 2000).

Der Gelenkkopf (Condylus mandibularis) ist der walzenförmige, mit Faserknorpel überzogene Gelenkanteil des Unterkiefergelenkfortsatzes (Processus condylaris).

Er ist der temporalen Gelenkfläche angepasst und besitzt, auf die Frontalebene bezogen, auch eine leichte Schräglage, sodass sich, bei dorsaler Verlängerung der beiden Kondylen-Querachsen, vor dem Hinterhauptsloch (Foramen magnum) ein stumpfer Winkel von 150-165° ergibt (Fanghänel et al. 2003).

Die von ihm gebildete Gelenkfläche (200 mm²) ist weniger als halb so groß wie die, von der Fossa mandibularis gebildete, temporale Gelenkfläche (420 mm²) (Lang 1977). Dadurch ergibt sich eine große Bewegungsfreiheit für den Unterkiefer (Schünke et al. 2006).

Der Kondylus befindet sich in Ruhe in der Fossa mandibularis, deren Knochenstruktur sehr zart und dünn ist und sich damit nicht zur Aufnahme von Druck eignet. Dagegen wird der vordere Teil der Gelenkgrube, der bis zum Tuberculum articulare reicht, aus einer massiven Knochenstruktur gebildet und stellt damit die eigentliche Gelenk- bzw. Artikulationsfläche für den Kondylus dar. Der hintere Teil der Fossa stellt keine Artikulationsfläche dar, sondern dient lediglich der Anheftung der umgebenden Weichgewebe (Dauber 1987).

Die Gelenkflächen sind mit hyalinem Knorpel überzogen, dem zusätzlich eine dicke Schicht aus avaskulärem, fibrösem Bindegewebe aufliegt (Hansson 1977, Strub et al. 2005). Dadurch wird ein reibungsfreies Gleiten ermöglicht und Kaudruck, der sich im Kiefergelenk als Kompression widerspiegelt, gleichmäßig auf die knöchernen Strukturen übertragen (Kuboki et al. 1997, Bumann und Lotzmann 2000).

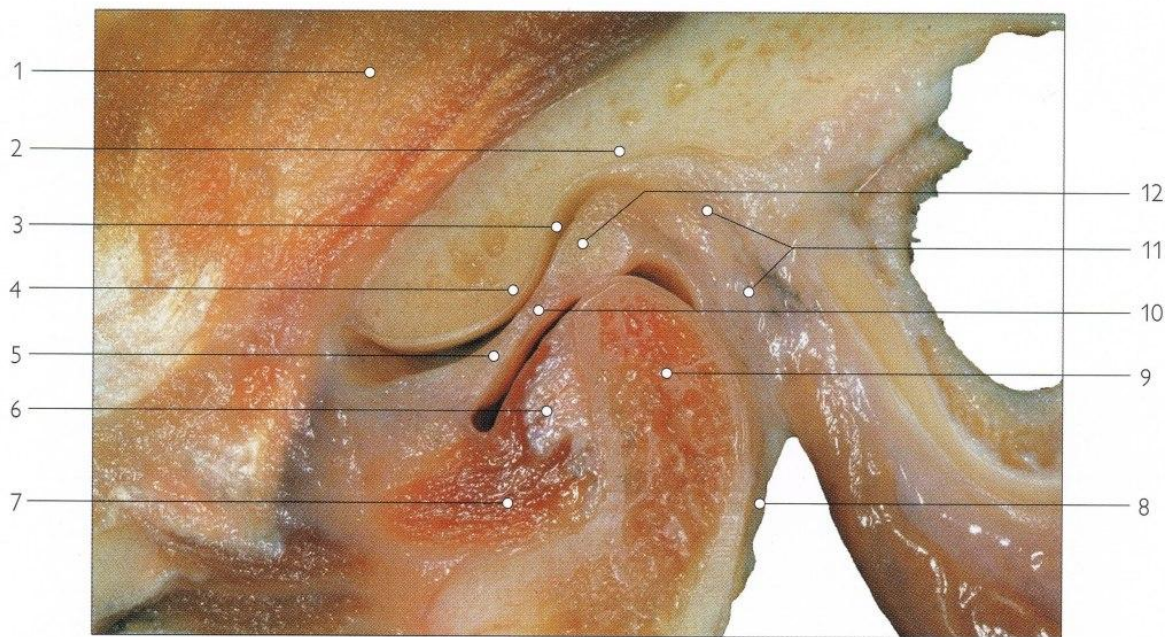


Abb. 1: Sagittalschnitt durch das Kiefergelenk bei geschlossener Mundposition (Abbildung und Beschriftung entnommen aus Kohlbach 2007, S.53).

- | | |
|--|--|
| 1) M. temporalis | 7) M. pterygoideus lateralis
Caput inferius |
| 2) Fossa mandibularis | 8) Capsula articularis |
| 3) Cartilago articularis | 9) Condylus/ Caput mandibulae |
| 4) Tuberculum articulare | 10) Discus articularis
Pars intermedia |
| 5) Discus articularis | 11) Bilaminäre Zone |
| 6) M. pterygoideus lateralis
Caput superius | 12) Discus articularis
Pars posterior |

Das Kiefergelenk besitzt einige Besonderheiten, die es unter den Gelenken des menschlichen Körpers einzigartig macht. Dazu zählt die Inkongruenz der Gelenkflächen in Form und Größe zueinander, die durch eine Gelenkzwischenscheibe (Discus articularis) kompensiert wird.

Dabei handelt es sich um einen bindegewebigen Faserknorpel, der die Form einer ovalen bikonkaven Scheibe hat (Zarb und Carlsson 1985).

Der Diskus kann nach seiner Funktion in drei Abschnitte unterteilt werden: Pars anterior und posterior, deren Fasern transversal verlaufen und sich in der Mitte mit den sagittal verlaufenden Fasern der Pars intermedia vernetzen. Der hintere Anteil teilt sich nach dorsal in zwei stark vaskularisierte und innervierte Lagen auf (bilaminäre Zone). Während sich in der oberen Lage (Stratum superior) hauptsächlich elastische Fasern finden, besteht die untere Lage (Stratum inferior) aus straffen Kollagenfasern, die den Diskus auf dem Kondylus stabilisieren (Strub et al. 2005).

Der Diskus hat zwei Hauptaufgaben: einerseits die Reduzierung von Reibungen, die bei Gleitbewegungen auftreten können, andererseits die Minderung und Verteilung von Belastungsspitzen, die durch die histologische Beschaffenheit des Faserknorpels abgefangen werden können.

Der Diskus teilt den Gelenkspalt in zwei vollständig voneinander getrennte Kammern, da er an allen Seiten mit der Gelenkkapsel verwachsen ist, sodass das Kiefergelenk als Doppelgelenk bezeichnet werden kann. Beide Gelenkkammern stehen hierbei jeweils für eine bestimmte Bewegung (Bumann und Lotzmann 2000).

Aufgrund dieser anatomischen Gegebenheiten wird das Kiefergelenk als das Gelenk mit den größten Freiheitsgraden bezeichnet und verfügt über einen umfassenden Bewegungsspielraum (Kohlbach 2007).

1.2 Funktion des Kauapparates

Der Kauapparat besteht aus drei Hauptkomponenten: den Zahnreihen, den Kiefergelenken und dem neuromuskulären System. Diese Komponenten beeinflussen und determinieren sich gegenseitig bei jeder Bewegung und bilden die Funktionskette des kranio-mandibulären Systems.

Bei der Funktion des Kauapparates muss man Grenzbewegungen von funktionellen Kaubewegungen unterscheiden.

Unter Grenzbewegungen versteht man die „maximalen Exkursionsbewegungen des Unterkiefers“ (Strub et al. 2005, S.142). Sie werden habituell selten durchgeführt, z.B. beim Gähnen oder als passives Ausweichen bei traumatischen Ereignissen. Die nach kranial gerichtete Grenzposition des Kondylus ist allerdings eine der häufigsten eingenommenen Positionen. Sie wird bei gewohnheitsmäßigem maximalem Zahnreihenschluss durch die okklusalen Zahnkontakte determiniert (maximale Interkuspiration) und sollte die ideale Position des Kondylus in der Gelenkpfanne in IKP darstellen (Schwenzer 2000, Boisserée und Schupp 2012).

Alle Grenzbewegungen lassen sich reproduzierbar durch verschiedene instrumentelle Analysen in allen drei Ebenen darstellen. Beispielsweise ist das Posselt-Diagramm für die Darstellung der Grenzbewegungen des Unterkiefer-Inzisalpunkts in der Sagittalebene und der sog. Gotische Bogen für die Darstellung der Horizontalebene geeignet (Posselt 1958). Auch die Bewegungen des Kondylus können in diesen Ebenen durch den sagittalen Gelenkbahnwinkel und den Bennett-Winkel in der Horizontalebene dargestellt werden (Strub et al. 2005).

Bei den funktionellen Bewegungen der Kiefer unterscheidet man drei Hauptbewegungsformen:

Die Scharnierbewegung bei der initialen Kieferöffnung (bis ca. 20 mm) ist vor allem eine Rotationsbewegung um eine transversale Achse (Scharnierachse), die durch die Mittelpunkte beider Kondylen verläuft und in der unteren, diskomandibulären Gelenkkammer stattfindet. Die Scharnierachse ist hierbei konstant und der Diskus fungiert als eigentliche Gelenkpfanne.

Die Bewegung wird durch leichten Zug des Musculus pterygoideus lateralis und der suprahyalen Muskulatur am Kondylus veranlasst (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Bei der weiteren Kieferöffnung ermöglicht die kraniale diskotemporale Kammer eine Gleitbewegung (Translation). Der Kondylus gleitet samt Diskus nach vorne-unten auf das Tuberkulum, sodass eine kombinierte Dreh-Gleitbewegung mit einer wandernden Scharnierachse resultiert und aus dem Diskus eine mobile Gelenkpfanne wird. Diese Translation resultiert auch aus der Vor- und Rückschubbewegung des Unterkiefers (Protrusion und Retrusion) (Rohen 1994).

Eine dritte Bewegungsform stellt die Kau- oder Mahlbewegung dar. Dabei kommt es zu einer kombinierten Öffnungs- und Seitschubbewegung, bei der beide Gelenke in unterschiedlicher Weise zusammenarbeiten. Es kann eine Arbeits- von einer Balanceseite unterschieden werden. Der Kondylus der Arbeitsseite führt eine Rotation durch und gleitet von der Medianebene weg nach lateral, während der Kondylus der Balanceseite mediotrusiv schwingt (Schünke et al. 2006).

Als Kaumuskeln wird eine Muskelgruppe aus vier Muskelpaaren (M. masseter, M. temporalis, M. pterygoideus medialis und M. pterygoideus lateralis) zusammengefasst, die von Ästen des Nervus mandibularis des Nervus trigeminus (5. Hirnnerv) innerviert werden. Ihre Funktion wird von anderen Muskeln, wie z.B. der Mundboden-, der Suprahyalen- und der Halsmuskulatur unterstützt, die allerdings nur indirekt auf die Kieferbewegungen Einfluss nehmen und deshalb hier nicht genauer beschrieben werden (Moll und Moll 2002).

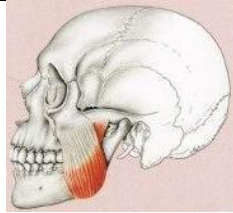
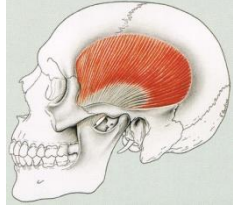
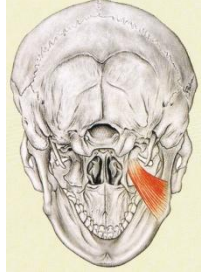
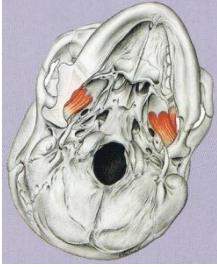
Die Funktion der Kaumuskeln ist die Bewegung des Unterkiefers gegen den Schädel. Sie werden auch als „Kieferschließer“ bezeichnet, da sie alle die Adduktion des Unterkiefers bewirken.

Für den Kieferschluss sind vor allem der M. masseter und der M. pterygoideus medialis verantwortlich, die am Unterkieferwinkel eine Muskelschlinge bilden und so einen kräftigen Zug am Unterkiefer nach kranial bewirken (Waldeyer und Mayet 1993).

Der M. temporalis besteht aus zwei Blättern. Die Muskelfasern des horizontalen Blatts ziehen den Unterkiefer nach dorsal und bewirken eine Retrusion, die vertikalen Fasern ziehen den Unterkiefer nach kranial und unterstützen so die Adduktion.

Der einzige Kaumuskel, der aus vorwiegend horizontal verlaufenden Fasern besteht, ist der M. pterygoideus lateralis. Der obere Kopf (Caput superius) dieses zweiköpfigen Muskels strahlt hauptsächlich in den Diskus ein und verhindert sein komplettes Zurückgleiten beim Kieferschluss. Der untere Kopf (Caput inferius) setzt am Proc. condylaris an und zieht es bei der Kieferöffnung nach vorne, sodass der Diskus passiv mitgleitet (Rohen 1994).

Die folgende Tabelle stellt den Ursprung und Ansatz sowie die Funktion der einzelnen Kaumuskeln als Übersicht dar.

Muskel		Ursprung am Schädel	Ansatz an der Mandibula	Funktion
M.masseter		Arcus zygomaticus	Angulus mandibulae	Adduktion
M.temporalis		Os temporale	Proc. coronoideus	Adduktion und Retrusion
M.pterygoideus medialis		Proc. Pterygoideus	Angulus mandibulae	Adduktion und Protrusion
M.pterygoideus lateralis a) Caput superius b) Caput inferius		a) Proc. Pterygoideus b) Ala major des os sphenoidale	Discus und Capsula articularis mandibulae sowie Proc. condylaris	Adduktion, Protrusion und Laterotrusion

Tab. 1: Die Kaumuskulatur mit Ursprung, Ansatz und Funktion (modifiziert entnommen aus Kohlbach 2007, S.34)

1.3 Pathophysiologie des Kauapparates bei kranio-mandibulärer Dysfunktion

Die kranio-mandibuläre Dysfunktion ist kein isoliertes, einheitliches Krankheitsbild, sondern kann vielmehr als ein Sammelbegriff vielseitiger Beschwerden im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich zusammengefasst werden.

Manifestationsorte dieser Beschwerden sind an Zähnen, Parodontien, Kiefergelenken und der gesamten Kopf- und Halsmuskulatur zu finden und treten selten isoliert auf (Reichart et al. 2002).

Erschwerend kommt hinzu, dass die einzelnen Symptome nicht einer bestimmten Erkrankung zuzuordnen sind und keine allgemein anerkannte Klassifikation der CMD existiert, sondern viele Symptome nebeneinander bestehen.

In Europa gehört der Helkimo-Index zu einem der älteren und weit verbreiteten Klassifikationen (Helkimo 1974). Er besteht aus zwei Teilen: Die erste Tabelle ermittelt mit Hilfe von Einzelkriterien den Schweregrad der anamnestisch erhobenen Symptome, die zweite Tabelle ordnet diese Kriterien vier verschiedenen Dysfunktionsklassen zu.

Tabelle 1: Anamnestische Dysfunktion nach dem Helkimo-Index (Helkimo 1974)

keine anamnestische Dysfunktionen (A0) <ul style="list-style-type: none"> • nicht A1 oder A2
milde anamnestische Dysfunktion (A1): <ul style="list-style-type: none"> • Kiefergelenkgeräusche (Knacken, Reiben) • Gefühl der Müdigkeit im Kieferbereich bzw. ein Gefühl der Steifheit beim Bewegen des Kiefers oder beim morgendlichen Erwachen • Nicht A2
schwere anamnestische Dysfunktion (A2) <ul style="list-style-type: none"> • Schwierigkeiten beim Schließen des Mundes • Blockaden des Unterkiefers oder Schwierigkeiten beim vollständigen Öffnen des Mundes • Schmerzen beim Bewegen des Unterkiefers • Schmerzen im Bereich des Kiefergelenkes und/oder der Kaumuskulatur • Schmerzen im Gesicht, dem Kiefer, den Schläfen, vor dem oder im Ohr • Auch A1

Tabelle 2: Klinische Dysfunktion nach dem Helkimo-Index (Helkimo 1974)

<p>a) Unterkieferbeweglichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • eingeschränkte Mundöffnung • eingeschränkte Lateralbewegung • eingeschränkte Protrusion
<p>b) Gelenkfunktion</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kiefergelenkgeräusche (Knacken, Reiben) • Deviation bei Öffnungsbewegung
<p>c) Palpation der Kaumuskulatur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anzahl von Stellen in der Kaumuskulatur mit Palpationsempfindlichkeit
<p>d) Palpation des Kiefergelenks</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schmerz bei Palpation von lateral • Schmerz bei Palpation von dorsal
<p>Klinischer Dysfunktionsindex</p> <ul style="list-style-type: none"> • D0: keine klinische Dysfunktion • D1: leichte klinische Dysfunktion • D2: moderate klinische Dysfunktion • D3: schwere klinische Dysfunktion

Tab. 2: Einteilung der Pathophysiologie des Kauapparates nach Helkimo (Helkimo 1974).

Dem Helkimo- Index liegen keine Kriterien zu einer standardisierten Vorgehensweise bei der Diagnostik zugrunde, wodurch die Ergebnisse schlecht reproduzierbar sind.

Dworkin und LeResche entwickelten 1992 die Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD), die genaue Vorgaben zum diagnostischen Vorgehen beinhaltet und sich dadurch von vielen Klassifikationssystemen unterscheidet und international am meisten verbreitet ist.

Außerdem werden hier neben den somatischen Kriterien auch psychosoziale Faktoren auf einer sogenannten zweiten Achse einbezogen, die eine wichtige Rolle bei der Auslösung und Aufrechterhaltung einer CMD zu sein scheinen (Hirsch 2003, Hirsch et al. 2012, Rugh und Solberg 1976). Anfänglich wurde die RDC/TMD für klinische Forschungszwecke entwickelt, hat aber mittlerweile einen Stellenwert

erreicht, sodass sie „zunehmend auch für den klinischen Alltag zum Zwecke der Diagnostik und Klassifikation [...] empfohlen und angewandt“ (Strub et al. 2005, S.306) wird.

Achse I: Klinisch-somatische Untersuchung

Gruppe I: Schmerzen im Bereich der Kaumuskulatur

- Ia: myofasziärer Schmerz
- Ib: myofasziärer Schmerz mit eingeschränkter Kieferöffnung

Gruppe II: Verlagerung des Discus articularis

- IIa: anteriore Diskusverlagerung mit Reposition
- IIb: anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition, mit eingeschränkter Kieferöffnung
- IIc: anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition, ohne eingeschränkte Kieferöffnung

Gruppe III:

- IIIa: Arthralgie
- IIIb: Arthritis
- IIIc: Arthrose des Kiefergelenks

Achse II: Psychosoziale Diagnostik (schmerzbezogen)

- Graduierung des chronischen Schmerzes
- Beeinträchtigung des Alltags-/ Berufsleben
- Depressionen und unspezifische körperliche Symptome

Tab. 3: Einteilung der Pathophysiologie des Kauapparates nach Dworkin und LeResche (1992).

Die Erkenntnisse für Diagnose und Therapie, die der behandelnde Arzt aus den Befundblättern zieht, gründen sich auf dessen persönliche Einschätzung und Erfahrung (Ahlers et al. 2005a).

1.3.1 Myogene Faktoren

Die Myopathie äußert sich als „eine reversible Störung der neuromuskulären Koordination des Unterkiefers, Hypertonizität, Schmerzen im Kiefer-Gesichtsbereich [...] sowie veränderte Bewegungsmuster des Unterkiefers“ (Bernhardt und Meyer 2009, S.33). Der Kauapparat kann als neuromuskulärer Regelkreis bzw. als biologisches System angesehen werden. Auf einwirkende Einflüsse, wie z.B. Para-funktionen, Malokklusion oder Trauma, reagiert ein solches System mit adaptiven Prozessen, wie bindegewebiger Anpassung und muskulären Kompensationsmechanismen (McNamara und Carlson 1979, Bumann und Lotzmann 2000). Hält die Wirkung der Einflüsse an oder schreitet sie fort, nimmt auch das Ausmaß der Bewältigungsmechanismen zu, um die Einflüsse auszugleichen und im Gleichgewicht zu bleiben. Sobald die Kompensationsmechanismen erschöpft sind, gerät das System aus dem Gleichgewicht, und man spricht von einer Dekompensation, die sich in Symptomen wie muskulärer Hyperaktivität äußert. Das Resultat können Funktionseinschränkungen und Schmerzen der betroffenen Muskelgruppen sein (Lotzmann 2006).

Da bei bis zu 75% der Patienten, die an einer CMD leiden, die Muskulatur beteiligt bzw. Hauptsymptom ist, kommt ihr eine bedeutende Rolle zu (Schliephake und Tschernitschek 2002).

Die Entstehung myogener Funktionsstörungen erfolgt multifaktoriell, da viele Faktoren wie Stress, psychosoziale Eigenschaften, Krankheiten oder Traumata die Gegebenheiten modulieren können (Clark 2008). Zum einen kann die Kompensationskapazität des neuromuskulären Regelkreises abgeschwächt und zum anderen die Entstehung, Aufrechterhaltung oder Zunahme der muskulären Hyperaktivität begünstigt werden.

Da die Kapazität, wie viel das System ausgleichen kann, individuell unterschiedlich, aber für das Individuum als annähernd konstant anzunehmen ist, kann eine therapeutische Wiederherstellung des Gleichgewichts nur in der Reduktion der Einflüsse bestehen (Bumann und Lotzmann 2000).

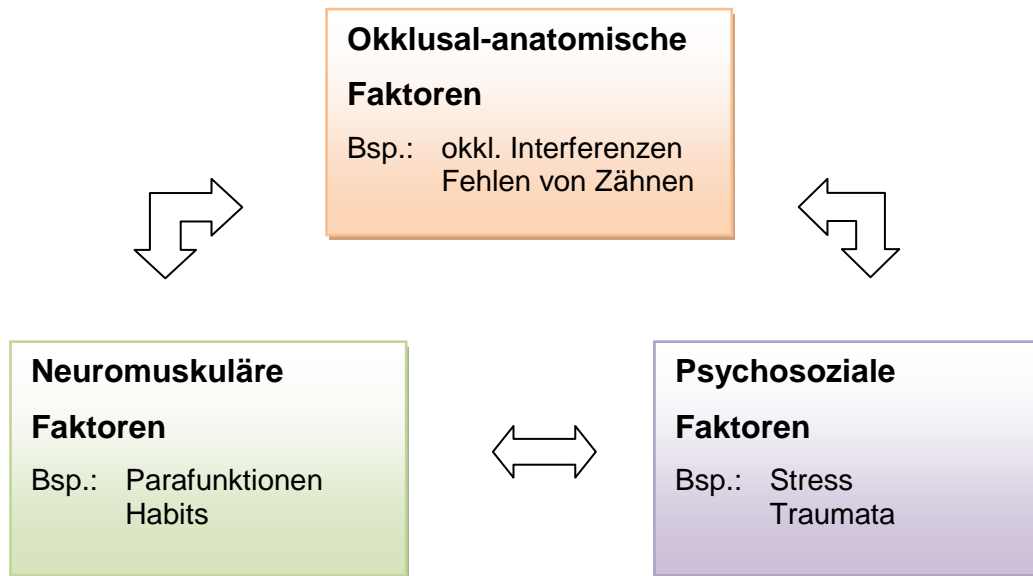


Abb. 2: Die drei Hauptgruppen von ätiologischen Ursachen nach dem biopsychosozialen Modell (erstellt nach Ververs et al. 2004)

1.3.2 Arthrogene Faktoren

Nach dem Klassifikationsschema von Dworkin und LeResche (1992) unterteilen sich die arthrogenen Erkrankungen in zwei Gruppen: Diskopathien (Gruppe II) und entzündliche und nicht-entzündliche Veränderungen der beteiligten Gewebe (Gruppe III).

Diskopathien äußern sich in den meisten Fällen in einer Verlagerung des Diskus aus seiner physiologischen Position, die sowohl sagittal (in anteriorer oder posteriorer Richtung) als auch transversal (nach lateral oder medial) erfolgen kann (Ash et al. 2006). Eine weitere Einteilung erfolgt durch die Eigenschaften der Verlagerung. Sie kann partiell oder total, mit oder ohne Reposition und sowohl in IKP als auch bei exkursiven Unterkieferbewegungen auftreten. Die häufigste Form der Diskopathie ist die anteriore Verlagerung des Diskus in IKP. Hier wird unterschieden, ob eine Reposition des Diskus bei Kieferöffnung erfolgt bzw. ob eine Einschränkung der Kieferöffnung auftritt, wenn bei der Kieferöffnung keine Reposition erfolgt (Strub et al. 2005, Dworkin und LeResche 1992).

Die anteriore Diskusverlagerung mit Reposition ist durch ein „reziprokes Knackphänomen“ gekennzeichnet. Das erste Knackgeräusch tritt bei der initialen Öffnungs-

bewegung auf, wenn der Diskus durch die Kieferöffnung reponiert wird und auf den Kondylus „aufspringt“. Das zweite, meist leisere Knacken beschreibt das „Wiederabspringen“ des Diskus nach anterior bei der terminalen Schließbewegung. Die Verlagerung kann von Muskel- und Gelenkschmerzen begleitet sein, die für dieses Krankheitsbild jedoch nicht charakteristisch sind.

Bei der anterioren Diskusverlagerung ohne Reposition, mit eingeschränkter Kieferöffnung, ist eine plötzlich auftretende Limitation der Kieferöffnung und Mediotrusion zur Gegenseite kennzeichnend. Es treten Muskel- und Gelenkschmerzen auf, die bei Kieferbewegung zunehmen. Bei Kieferöffnung und Protrusion ist eine zunehmende Deflexion zur betroffenen Seite zu beobachten.

In der chronischen Phase der anterioren Diskusverlagerung ohne Reposition, in der die Kieferöffnung nicht oder nur leicht eingeschränkt ist, hat der Patient im Vergleich zur akuten Phase reduzierte oder keine Schmerzen. Anamnestisch traten vorher Knackgeräusche und eine schmerzhaft Limitation der Kieferöffnung auf (Lotzmann 2006, Strub et al. 2005, Schliephake und Tschernitschek 2002).

Die Arthralgie beschreibt starke lokalisierte Schmerzen des Kiefergelenks, die bei aktiver und passiver Kieferöffnung zunehmen und eine eingeschränkte Unterkieferfunktion zur Folge haben. Als Ursache liegt eine Synovitis oder Capsulitis vor, die durch Verletzung oder Irritation des umliegenden Gewebes entstanden ist. Gelenkgeräusche treten nicht auf.

Eine Arthritis beschreibt eine entzündlich-degenerative Gelenkerkrankung, die die gleichen Symptome wie eine Arthralgie aufweist. Hinzu kommen Reibegeräusche, die durch strukturelle Veränderungen, wie Erosionen und Sklerosierung der knöchernen Gelenkanteile zustande kommen und den radiologischen Befund ausmachen (Leder 2008).

Degenerative Veränderungen des Kiefergelenks, die nicht auf einer Entzündung basieren, bezeichnet man als Arthrose. Die Schädigung betrifft vor allem den Gelenkknorpel und subchondralen Knochen und geht mit Reibegeräuschen und einer eingeschränkten Unterkieferbeweglichkeit einher. Schmerzen oder Druckdolenzen treten nicht auf, außer sie werden sekundär durch eine begleitende Entzündung ausgelöst (DeLeeuw et al. 1994, Strub et al. 2005).

1.4 Diagnostik

2004 verabschiedeten die Bundeszahnärztekammer (BZÄK) und die DGZMK die „Neubeschreibung einer präventionsorientierten Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde“, die eine Unterscheidung zwischen „Basisdiagnostik“, „Erweiterte Diagnostik“ und „Weiterführende Diagnostik“ vorsieht. Die bei den verschiedenen Stufen eingesetzten Untersuchungsverfahren werden dabei immer aufwändiger, woraus der Begriff der „Diagnostik-Kaskade“ abgeleitet wurde (Bundeszahnärztekammer 2004, S.4).

1.4.1 Anamneseerhebung

Zu Beginn einer Untersuchung sollte immer das Gespräch zwischen Patient und Behandler stehen. Der Erhebung der Krankengeschichte des Patienten wird eine Schlüsselrolle in der CMD-Diagnostik zugeschrieben. Es sollte genug Zeit eingeplant werden, um den Patienten ausführlich über Art, Beginn und Verlauf der aktuellen Beschwerden berichten zu lassen. Dabei ist ein systematisches Fragenkonzept für den Behandler unverzichtbar, um für sich ein strukturiertes Krankheitsbild zu gewinnen und den Patienten bei zu ausschweifenden Schilderungen wieder auf die Kernfragen lenken zu können (Köneke 2008). So multifaktoriell die Ätiologie einer CMD sein kann, so umfassend sollte auch die Befragung zu den verschiedenen Teilbereichen erfolgen. In Anlehnung an die RDC/TMD von Dworkin und LeResche sollte sich schon die Anamnese sowohl mit den somatischen Beschwerden als auch deren Auswirkung auf psychosozialer Ebene beschäftigen, um dem Behandler zu einer ersten Einschätzung von Schmerzsymptomatik und Psyche des Patienten zu verhelfen (Türp und Nilges 2000). Fragen nach Schmerzcharakter, tageszeitlichem Auftrittszeitpunkt und Lokalisation können einen ersten Hinweis liefern, ob eine arthrogene oder myogene Problematik zu Grunde liegt. Auch vorhergegangene Behandlungen, z.B. Kieferorthopädie oder Traumata sollten Teil der Anamnese sein (Schliephake und Tschernitschek 2002). Die Befunderhebung der Krankengeschichte kann durch einen Schmerzfragebogen ergänzt werden, der jedoch in keinem Fall ein persönliches Anamnesegespräch ersetzen sollte (Türp und Marinello

2002). Außerdem wurde von Ahlers und Jakstat ein „CMD-Kurzbefund“ entwickelt, der mit Hilfe von sechs schnell auszuführenden Basis-Diagnostik-Tests eine - im Sinne einer klinischen Funktionsanalyse - weiterführende Diagnostik begründen und ihre Notwendigkeit absichern kann (Ahlers und Jakstat 2007).

1.4.2 Klinische Funktionsanalyse

„Die klinische Funktionsanalyse dient der Überprüfung des funktionellen Zustandes und des Zusammenwirkens von Zähnen, Muskulatur und Kiefergelenken sowie der Erkennung von dysfunktionellen Symptomen und Erkrankungen“ (Ahlers et al. 2003a, S.1). Bei einem positiven Anamnese- bzw. CMD-Kurzbefund, der einen begründeten Verdacht auf eine CMD liefert, ist die klinische Funktionsanalyse die Grundlage für die weitere Vorgehensweise. Als einleitende Untersuchung und auf Grund der resultierenden Befunde ist sie der erste Schritt für die empfohlene stufenweise Diagnostik von Funktionsstörungen. Sie stellt eine unverzichtbare Voraussetzung für die Indikationsstellung weiterer diagnostischer Verfahren und den Behandlungserfolg dar.

Folgende Parameter sollten als Bestandteil des Funktionsstatus untersucht werden:

- Druckdolenzen im Bereich des Kiefergelenks oder der Muskulatur
- Beweglichkeit des UKs in der Vertikalen (Kieferöffnung/ -schluss) und in der Horizontalen (Laterotrusion, Protrusion und Retrusion)
- Existenz von Gelenkgeräuschen (Reiben / Knacken)
- Okklusionsüberprüfung (Vorliegen von Hindernissen in Statik / Dynamik)
- Hinweise auf Parafunktionen an Hart- (Schlifffacetten) und Weichgeweben
- Provokationstest nach Krough-Poulsen
- Resilienztest nach Gerber

Durch die mittlerweile unbestrittene Existenz psychosozialer und orthopädischer Faktoren im Krankheitsbild CMD sollten sie auch Teil der Funktionsanalyse sein und stellen eine anerkannte Ergänzung dar.

Die Dokumentation der erhobenen Befunde erfolgt mit Hilfe von Befundbögen, die den positiven Nebeneffekt haben, die Untersuchung zu strukturieren und keine Parameter auszulassen. In Deutschland ist der Klinische Funktionsstatus der

Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und –therapie (DGFDT) in der DGZMK weit verbreitet (Ahlers et al. 2003a, Schliephake und Tschernitschek 2002). Der wachsende Stellenwert der RDC/TMD (s.o.) über klinische Forschungszwecke hinaus ist auf das standardisierte diagnostische Vorgehen und die daraus resultierende internationale Vergleichbarkeit der Klassifikation und Befunderhebung zurückzuführen, sodass die RDC/TMD mittlerweile als ein sinnvolles Instrument für den klinischen Alltag angesehen werden kann (Leder 2008, Strub et al. 2005).

1.4.3 Instrumentelle Funktionsdiagnostik

Die instrumentelle Funktionsdiagnostik oder „instrumentelle Bewegungsanalyse“ umfasst Verfahren, die eine dynamische Aufzeichnung der Unterkieferbewegungen ermöglichen, aus der diagnostische Schlussfolgerungen gezogen werden können. Die zwei Hauptindikationen sind die Artikulatorprogrammierung durch Ermittlung der individuellen Gelenkwerte des Patienten und die Kiefergelenkdiagnostik, die durch die Aufzeichnung der Bewegungsspuren des Kondylus bei aktiven Unterkieferbewegungen ermöglicht wird (Bumann und Lotzmann 2000). Somit erfolgt eine dreidimensionale Darstellung und Analyse des stomatognathen Funktionszustandes, der messtechnisch erfasst wird.

„Im gestörten Kauorgan kommt es durch diskoordinierte Muskeltätigkeit sowie durch strukturell provozierte Veränderungen der Diskus-Kondylus-Beziehung zu Veränderungen im Bewegungsmuster der Kondylen, was sich beim Aufzeichnen der Scharnierachsbewegungen mit einem Abweichen von den [beschriebenen] gleichmäßigen Bahnen bemerkbar machen kann“ (Schwahn et al. 1996, S.420).

Wird die Registriervorrichtung so angebracht, dass sie die Okklusion des Patienten nicht beeinträchtigt (z.B. mit Hilfe eines paraokklusalen Adapters), kann der dentale Einfluss auf die Bewegungsfunktion der Kiefergelenke dargestellt werden. Dem direkten Vergleich von zahngeführten und nichtzahngeführten Bewegungsspuren kommt dabei eine besondere diagnostische Bedeutung zu.

„Die Möglichkeiten der Gelenkdiagnostik sind damit um den Einblick in funktionelle und parafunktionelle Dynamik des Kauorgans bereichert“ (Slavicek 1981, S.303).

Instrumentelle Verfahren können die klinische Funktionsanalyse, die sich mit den klinischen Symptomen befasst und auch bildgebende Verfahren, die vor allem die morphologischen Strukturen darstellen, sinnvoll ergänzen. Durch die funktionelle Darstellung des stomatognathen Systems mittels objektiven, dokumentierbaren Messwerten wird hier die Bewegungsfunktion aufgezeichnet (Engelhardt et al. 2002). Dabei soll die scharnierachsenbezogene, dreidimensionale Aufzeichnung der Unterkieferbewegungen „zusätzlich zur klinischen Funktionsdiagnostik, Aufschlüsse über Art und Schwere der Gelenkschädigung geben“ (Schwahn et al. 1996, S.420). Die instrumentelle Funktionsanalyse sollte folglich als Teilanalyse der Diagnostik von Kiefergelenkserkrankungen angesehen werden und kann sich sinnvoll in die Diagnostik-Kaskade einreihen. Gemeinsam mit klinischen und bildgebenden Verfahren verhilft sie zu einer validen Diagnostik bei kranio-mandibulären Dysfunktionen (Engelhardt et al. 2002).

Die instrumentelle Funktionsanalyse setzt eine klinische Funktionsanalyse voraus, da ihr isolierter Aussagewert begrenzt ist (Ahlers et al. 2003b, Peschke 2005).

So beschrieb Freesmeyer 2003 in einem Kommentar der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und –Therapie (AFDT) den „Mehrwert“ bzw. die Bedeutung der instrumentellen Funktionsanalyse für die zahnärztliche Praxis als „diagnostisch verifizierend, therapeutisch planend bzw. gestaltend sowie Verlauf dokumentierend“ (Kordaß et al. 2004, S.47f.).

1.4.3.1 Achsiographie (SAM)

Die mechanisch-graphische Aufzeichnung der Unterkieferbewegung mit Hilfe eines Achsiographen wurde ursprünglich für die Programmierung des Artikulators entwickelt und bis in die 70er Jahre ausschließlich dafür verwendet.

Alfred Gysi entwarf 1910 den Gysi Condyle Register, der ein vereinfachtes Verfahren zur Aufzeichnung der Kondylarspuren darstellte und bis heute als Grundlage aller gelenknahen Registriersysteme gilt. Um 1920 begann die Gnathological Society um McCollum in Kalifornien die Simulation der Unterkieferbewegung mit Hilfe von Artikulatoren zu erforschen. 1955 wurde das Ergebnis in Form des Pantographen von McCollum und Stuart präsentiert. Lee veröffentlichte im Jahre 1969 das erste

kolineare Registriersystem, das die Aufzeichnung der Bahn eines Punktes der Scharnierachsenbewegung des Unterkiefers ermöglichte. Das Dentonamics Recording System, das ursprünglich der Herstellung von individuellen Artikulatorfossae dienen sollte, revolutionierte schließlich die Pantographie. 1969-1972 führten Wirth und Lundeen viele Untersuchungen mit diesem System durch und kamen zu dem Schluss, dass es die Kiefergelenkdiagnostik ermöglicht und einen Durchbruch für Forschungszwecke darstellt. Das System war allerdings in seiner Handhabung für den täglichen Gebrauch in der Praxis zu aufwändig und wurde deshalb von Mack in den 70er Jahren weiterentwickelt und in seiner Anwendung vereinfacht. Außerdem kombinierte er das kolineare Aufzeichnungssystem mit einer Messuhr, die die Aufzeichnung der Bennett-Bewegung und des Bennett-Winkels ermöglichte und entwickelte damit 1976 den Achsiographen (Wirth 1996). „Im Unterschied zur konventionellen Pantographie wird mit der Achsiographie gelenknah und axial gemessen, sodass direkte Interpretationen möglich sind“ (Mack et al. 1995, S.3).

In den 90er Jahren wurde der Achsiograph von Mack weiterentwickelt. Das Ergebnis ist der Axiograph III oder AXIOMATIC. Der für diese Studie verwendete und in der Praxis verbreitete Axiograph® der Firma SAM (SAM Präzisionstechnik GmbH, München, Deutschland) prägte die Begriffe Axiographie und Axiogramm. Da sich die weitere Beschreibung auf diesen Axiographen bezieht, wird die Schreibweise im Folgenden übernommen.

Dieser ist mit einem Flaggenbogen ausgestattet, der sich nach korrekter Anbringung automatisch nach den anatomischen Gegebenheiten ausrichtet und eine vorbestimmte Scharnierachse definiert. Der Flaggenbogen dient zudem als Übertragungsbogen für den unteren Registrierbogen, der sich ebenfalls automatisch koaxial zum oberen Bogen ausrichtet (Mack et al. 1995).

Die Scharnierachse des Unterkiefers wird als eine Transversalachse durch das geometrische Zentrum der Kondylen definiert. Jede Unterkieferbewegung kann als eine Rotation um diese Achse, bzw. eine Verschiebung der Achse an sich dargestellt werden. Die Axiographie ist die Aufzeichnung der Spur, die ein beliebiger Punkt auf der Transversalachse bei Unterkieferbewegungen schreibt. Damit „erlaubt die Axiographie die räumliche Vermessung der Unterkieferbewegung von der Scharnierachse aus“ (Bumann und Lotzmann 2000, S.250).

Das Instrument zur mechanischen oder elektronischen Registrierung der Scharnierachsenbewegung ist der Axiograph. Er kann für folgende Funktionen verwendet werden:

- für die Scharnierachsenbestimmung
- als Übertragungsbogen
- als Datenlieferant für die Artikulatoreinstellung
- für die funktionelle Analyse und Diagnose der Kondylenbewegung

Der mechanische Axiograph kann elektronisch nachgerüstet werden und heißt dann „Axiotron“. Die Vorteile der elektronischen Registrierung liegen, wie bereits oben erwähnt, in der digitalen Erfassung der Messwerte, der Datenverarbeitung und der Dokumentation der Scharnierachsenverlagerung. Außerdem können Aussagen über das Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhalten der Kondylenbewegung gemacht werden (Bumann und Lotzmann 2000). Durch Rückrechnung auf die Interkondylardistanz können weiterhin die tatsächlichen, verzerrungsfreien Bewegungsabläufe im Kiefergelenk dargestellt werden, die bei der Ermittlung des Bennett-Winkels eine wichtige Rolle spielt (Mack et al. 1995).

Da zur Beurteilung von Krümmung und Neigung der sagittalen Kondylenbahn die protrusiven Axiogramme ausreichen, bedeuten die erweiterten Funktionen der elektronischen Systeme für die vorliegende Studie keinen Mehrwert, sodass die Untersuchungen auf dem mechanisch-graphisch aufzeichnenden Axiographen III basieren (Bumann und Lotzmann 2000).

1.4.3.2 Paraokklusale Registrierung (AXIODAPT)

Der Paraokklusal-Registrier-Adapter AXIODAPT der Firma SAM (SAM Präzisionstechnik GmbH, München, Deutschland) dient der paraokklusalen Befestigung des Registriersystems an den Außenflächen der Unterkieferzähne, ohne dabei in Okklusionsbereiche einzugreifen. Der habituelle Zahnkontakt des Patienten wird nicht gestört, sodass der Patient seine statische und dynamische Okklusion

störungsfrei nutzen kann. Das Registriersystem kann so die Kondylenbewegung unter Einfluss der Schiene bzw. der Okklusion aufzeichnen.

Der paraokklusale Adapter hat vier Stellschrauben, womit seine Außenarme durch Spreizung und parallele Verschiebung an Kieferform und –breite angepasst werden können. Nach der Adaption werden die Außenarme fest mit der Grundplatte verschraubt und bilden damit einen stabilen Rahmen, der mit Kunststoff (LuxaTemp, DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland) unterfüttert, eine für jeden Patienten individuelle Befestigungsmöglichkeit darstellt. Der Halt an der Außenseite des Unterkieferzahnboogens kommt dann einerseits durch das Ausfließen des Kunststoffes im Unterschnittbereich der einzelnen Zahnkronen und im Zahnzwischenraum zustande, andererseits durch den Klebeeffekt des provisorischen Zinkoxid-Eugenol-Zements (TempBond, Kerr GmbH, Rastatt, Deutschland), der zu einem späteren Zeitpunkt aufgetragen wird und als Haftvermittler zwischen Kunststoff und Zahnoberflächen dient (Mack et al. 1995).

1.4.4 Bildgebende Verfahren

Bildgebende Verfahren stehen nie am Anfang der Diagnostik-Kaskade, sondern finden ihre Indikation durch die Befunde der vorangegangenen anamnestisch-klinischen und ggf. instrumentellen Untersuchungen. Vor allem bei Verdachtsdiagnosen, die auf eine mögliche strukturelle Veränderung der beteiligten Hart- und Weichgewebe abzielen, ist deren Darstellung indiziert (Kordaß und Hugger 2011). Aufgrund der „Vieldeutigkeit klinischer Symptome“ und dem Vorliegen differentialdiagnostisch schwieriger Krankheitsbilder sind in vielen Fällen „bildgebende Verfahren unverzichtbar“ (Schliephake und Tschernitschek 2002, S.345).

Es gibt eine Vielzahl an bildgebenden Untersuchungsmethoden, die radiologische Verfahren wie die transkraniale Röntgentechnik, die Panoramaschichtaufnahme, die Computertomographie (CT) und die Arthrographie beinhalten. Außerdem zählen Ultraschalluntersuchungen (Sonographie), Magnetresonanztomographie (MRT) sowie endoskopische Verfahren wie die Arthroskopie zu den bildgebenden Untersuchungen.

Auf die Untersuchung funktionsdiagnostischer Fragestellungen bezogen haben die Panoramaschichtaufnahme zur Übersichtsdarstellung, das CT zur Beurteilung der knöchernen Strukturen, die MRT zur Bildgebung von Knochen- und Weichgewebsstrukturen sowie die Arthroskopie besondere klinische Relevanz (Ahlers et al. 2003b).

1.5 Therapieprinzipien bei kranio-mandibulärer Dysfunktion

Die DGZMK formuliert die Indikation der Therapie in ihrer Stellungnahme von 2005 „Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen der kranio-mandibulären Systems“ als folgenden Grundsatz: „Eine Therapie ist bei Schmerzsymptomen oder Einschränkung der Funktion indiziert und erfolgt heute durch zahnmedizinische und medizinische Verfahren [...]. Das Grundprinzip besteht darin, die verschiedenen pathophysiologischen Zustände im Rahmen der Funktionsdiagnostik stufenweise zu erfassen, um auf dieser Grundlage geeignete Therapieverfahren auszuwählen.“ (Ahlers et al. 2005, S.1).

1.5.1 Therapieformen bei myogenen Ursachen

Aufgrund des periodisch auftretenden Charakters von myogen verursachten Schmerzen sollte der Patient vor invasiven Therapien bewahrt und auf konservative Therapieverfahren zurückgegriffen werden (Okeson 1996). Therapieziel ist die Unterbrechung der schmerzauslösenden neuromuskulären Reflexmuster, um eine Normalisierung des Muskeltonus wiederherzustellen und schmerzhafte Verspannungen zu beseitigen (Lotzmann 2006).

Um dieses Ziel zu erreichen und zu halten haben sich zwei Therapieverfahren bewährt:

Die kausale zahnärztliche Therapie in Form einer Okklusionsschiene ist indiziert, sobald der Verdacht auf einen pathogenen Einfluss der Okklusion als Primär- oder Kofaktor besteht. Die Wirkung basiert auf der Veränderung neuromuskulärer Mechanismen, wodurch okklusale Interferenzen und parafunktionelle Aktivitäten reduziert bzw. verhindert werden sollen. Daraus entsteht ein harmonisierender Einfluss auf die Zahn-, Mund- und Kiefergelenksfunktion. „Okklusionsschienen besitzen aufgrund ihrer Reversibilität ein weites Therapiespektrum und stellen die zahnärztliche Standardmaßnahme in der Primärtherapie dar“ (Ahlers et al. 2005, S.2).

Die Anwendungsgebiete reichen von Veränderungen okklusaler Beziehungen und Neuverteilung okklusaler Belastungen bis zu dem Schutz der Zähne vor Abrasionen und Lockerungen, da Bruxismus und Parafunktionen reduziert werden können. Weiterhin kann eine Entspannung der Kaumuskulatur erreicht werden, da sie durch die interokklusale Erhöhung der Schiene vertikal vorgedehnt wird und damit neuromuskuläre Reflexmuster und muskuläre Dysfunktionen unterbrochen werden. Außerdem können strukturelle Beziehungen im Kiefergelenk verändert und therapiert werden (Okeson 1996).

Die physikalische Therapie dient der Schmerzlinderung und Muskelentspannung und ist als effektive konservative Behandlungsmethode anerkannt (Okeson 1996). Damit kann sie sowohl zur akuten Initialtherapie als auch bei chronischen Muskelschmerzen eingesetzt werden und wirkt dabei symptomatisch und kausal. Das Therapiespektrum beinhaltet Wärmeanwendungen durch Wärmeträger, Ultraschall-, Infrarot- oder Elektrotherapie. Kryotherapien können einerseits zur Erzielung einer reaktiven Hyperämie im Muskel oder zur symptomatischen Behandlung bei entzündlich bedingten Muskelbeschwerden (z.B. Myositis) angewendet werden. Dazu kommen Massagen und physiotherapeutische Behandlungen, die durch ihre muskelentspannende Funktion den erhöhten Muskeltonus senken können und so zur akuten Schmerzlinderung beitragen (Schliephake und Tschernitschek 2002).

Isometrische Spannungsübungen zur Stärkung antagonistischer Muskelgruppen und isotonische Bewegungsübungen zur Erweiterung des Bewegungsumfangs können vom Patienten erlernt und über die Behandlungstermine hinaus durchgeführt werden.

1.5.2 Therapieformen bei arthrogenen Ursachen

Bei der Therapie arthrogen bedingter Kiefergelenksbeschwerden muss zwischen der Behandlung von Diskopathien und anderen Ursachen unterschieden werden.

Therapien von Diskopathien sind indiziert, wenn die Gelenkgeräusche mit Schmerzen gekoppelt sind. Die Therapie dient primär der Beschwerdefreiheit und erst sekundär der Wiederherstellung einer physiologischen Diskus-Kondylus-Position und damit zu einer Ausschaltung des Gelenkknackens.

Die DGZMK empfiehlt in ihrer Stellungnahme „Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems“ von 2005, die Verwendung von Repositionierungs- bzw. Distractionsschienen. Ihre Funktion besteht in der Wiederherstellung einer zentrischen Kondylenposition, also einer physiologischen Fossa-Diskus-Kondylus-Beziehung. Repositionierungsschienen werden bevorzugt bei anterioren Diskusverlagerungen mit Reposition eingesetzt. Sie bewirken eine Verlagerung des Kondylus nach anterior, um dort den Diskus wieder „einzufangen“ (Ahlers et al. 2005). Bei Diskusverlagerungen ohne Reposition kommen Distractionsschienen oder Zentrikschienen zum Einsatz. Hier werden neben der zentrischen Positionierung des Kondylus eine Dekompression im Kiefergelenk und eine Dehnung der Gelenkkapsel erreicht (Schwahn 1999). Eine begleitende Physiotherapie sollte vor allem in akut schmerzhaften Fällen gewählt werden, um eine schnelle Schmerzlinderung zu erreichen und das Gelenk zu mobilisieren (Schliephake und Tschernischek 2002).

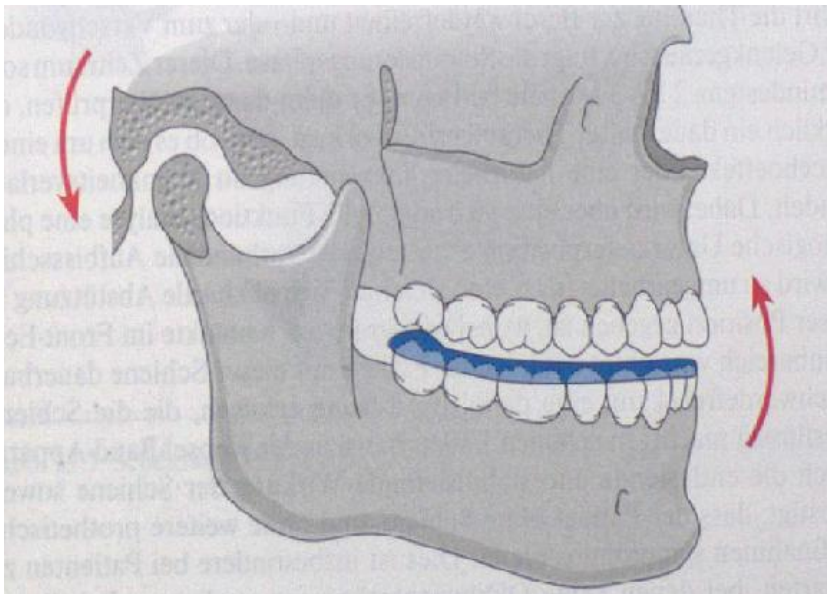


Abb. 3: Okklusale Distractionsschiene zur Kiefergelenkentlastung (modifiziert entnommen aus Schliephake und Tschernitschek 2002, S.357)

Die Therapie von entzündlichen Kiefergelenkerkrankungen wie Arthralgien besteht in der Gabe von Antiphlogistika und physikalischen Anwendungen (z.B. Kryotherapie), um eine schnellstmögliche Entzündungsfreiheit zu erzielen.

Bei degenerativen Veränderungen des Gelenks - wie Osteoarthritis und Osteoarthritis - steht die okklusale Abstützung und Stabilisierung in Form einer Äquilibrationsschiene im Vordergrund. Dadurch wird eine sog. Selbstzentrierung der Kondylen erreicht und das Kiefergelenk durch die geringfügige okklusale Erhöhung entlastet. Reicht die Entlastung nicht aus, können Distractionsschienen eingesetzt werden, die eine stärkere Dekompression eingengter Gelenkspalten erreichen und zusätzlich die Okklusion sichern (Lotzmann 2006).

1.5.3 Funktionsprinzip der bimaxillären Kalottenschiene

Die Arbeitsgruppe um Herrn Prof. Dr. Dr. W. Engelke entwickelte 2009 am Universitätsklinikum Göttingen eine bimaxilläre Schiene, die erstmals auf einer umfassenden Modellvorstellung des orofazialen Systems beruht (Engelke 2009).

Das Funktionsprinzip der bimaxillären Kalottenschiene begründet sich auf der biofunktionellen Theorie, die einen neuen Behandlungszugang orofazialer Dysfunktionen darstellt. Danach wird das orofaziale System in vier Funktionskompartimente unterteilt:

- 1) interokklusaler Raum
- 2) subpalatinaler Raum
- 3) mesopharyngeales Kompartiment
- 4) nasoepipharyngeales Kompartiment

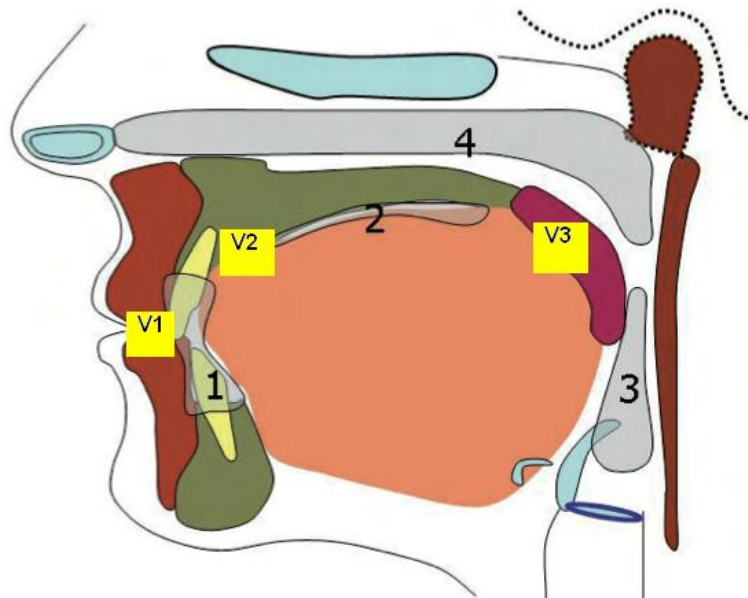


Abb. 4: Funktionskompartimente (1-4) und funktionelle Verschlüsse (V 1-3) des orofazialen Systems (modifiziert entnommen aus Engelke 2009, S.3).

Die Funktionsräume 1 und 2 in der Abbildung unterstützen dabei einen vollständigen Verschluss der Mundhöhle in Ruhe, also in einer Phase, in der weder kaufunktionelle noch kommunikative Funktionen ausgeführt werden. Durch diesen äußeren und inneren oder „dreifachen“ Mundschluss, der sich im Lippenbereich (V1, außen), im Zungen-Hartgaumen (V2)- und im Velum-Zungen-Bereich (V3, innen) befindet, entsteht eine geschlossene Ruhelage. Diese Ruhelage wird als physiologischer Ruhezustand des orofazialen Systems bezeichnet, in dem ein Kräftegleichgewicht durch das resultierende Vakuum in der Mundhöhle entsteht.

Bei der Behandlung kranio-mandibulärer Dysfunktionen sollte demnach der Zungenposition und dem Zustand des orofazialen Systems mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Befindet sich die Zunge in einer gaumennahen Position mit Kompartimentschluss, resultiert eine geschlossene Ruhelage und damit eine Veränderung der Kräfte, die auf den Unterkiefer wirken, sodass der Kompartimentschluss einen Teil der Haltefunktion der Kaumuskulatur ersetzt. Somit kann das orofaziale System durch die Anwendung einer Aufbissschiene stabilisiert werden.

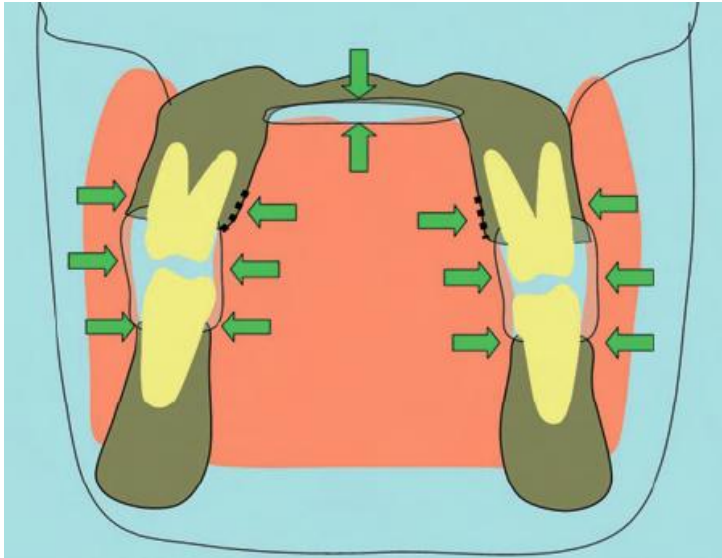


Abb. 5: Zentrierung des orofazialen Systems durch die geschlossene Ruhelage (Modifiziert entnommen aus Engelke 2009, S.7).

In der CMD-Sprechstunde der Universitätsklinik Göttingen wird das biofunktionelle Behandlungsprinzip „Entkoppeln, Entlasten, Entspannen“ angewandt. Danach werden „bignathe Schienen ausschließlich zur intermaxillären Kraftübertragung und vollständigen Entlastung der Kiefergelenke eingesetzt“ (Engelke 2009, S.7).

Die okklusale Gestaltung der bimaxillären Kalottenschiene beruht auf dem Prinzip der Monson'schen Kalotte. Die Kugeloberfläche der Schiene ermöglicht eine sphärische Führung, wodurch das Prinzip „bewegen ohne zu belasten“ im KG ermöglicht wird. Dadurch wird eine transversale und sagittale Gleitbewegung zwischen OK und UK erlaubt, die eine lastfreie Bewegung der Kiefergelenke gewährleistet. Diese Bewegungen verlaufen durch die Art der okklusalen Gestaltung auf einer Kreisbahn, deren Zentrum in der Orbita liegt.

Die bignathe Schiene wird vor der eigentlichen zahntechnischen Herstellung als Tiefziehschiene am Patienten eingesetzt und der protrusive Biss des Patienten individuell verschlüsselt. Die Kalotten werden anschließend mit der Tendenz einer protrusiven Führung als Kunststoffwälle zahntechnisch hergestellt, wodurch eine lastfreie Kiefergelenksbewegung resultiert (Lotzmann 1983, Slavicek 1980). Die plane Gestaltung der okklusalen Oberfläche verhindert jedoch, dass der Patient in eine Protrusionslage des UKs gezwungen werden kann.

Durch die okklusale Gestaltung ohne jegliche Impressionen oder Kontaktpunkte wie bei anderen Aufbisschienen, die eine therapeutische „Idealposition“ der Okklusion verschlüsseln, erzwingt die Kalottenschiene keine Position, sondern entkoppelt die Zahnreihen und bietet eine freie Beweglichkeit zwischen OK und UK. Die Schiene

verschafft dem Patienten die Möglichkeit, eine das orofaziale System entspannende und damit therapierende UK-Position selbstständig zu finden und jederzeit einzunehmen. Außerdem kann das okklusale Relief die UK-Bewegungen nur um 2-3 mm stützen. Das Ausmaß parafunktioneller Aktivitäten kann jedoch über 1 cm betragen, wodurch die okklusale Abstützung weit überschritten und zugleich die Forderung an die Kalottenschiene formuliert wird.

Ein weiteres Konstruktionsprinzip der bignathen Schiene liegt in der bilateral balancierten Okklusion, die bei allen Bewegungen über die Schiene erreicht wird. Dadurch wird eine maximale Abstützung des Systems auch bei exzentrischen Bewegungsabläufen, wie sie oft bei Parafunktionen zu finden sind, erreicht. Herkömmliche Aufbissschienen verschlüsseln durch ihre okklusale Gestaltung eine therapeutische „Idealposition“ der Zahnreihen. Da bei Parafunktionen jedoch oftmals exzentrische Bewegungen ausgeführt werden, die keinen Okklusionsprinzipien „gehörchen“, ist die Abstützung über die Schienen während dieser Bewegungen begrenzt.

Exzentrische parafunktionelle Bewegungen und die dabei auftretenden, das orofaziale System unphysiologisch belastenden, Kaukräfte können abgefangen werden. Außerdem wird eine rein dentoalveoläre Führung erreicht, sodass die Kiefergelenke geringstmöglich belastet werden.

Des Weiteren führt die durch bignathe Kunststoffwälle erzeugte Kalotte zu einer vertikalen Erhöhung der Okklusionsebene, wodurch der Effekt der klassischen Distractionsschienen, also eine leichte Distraction im KG erzielt wird. Hierbei sollte allerdings die Ruheschwebelage des Patienten (3-4 mm) vertikal nicht überschritten werden, da sonst das muskuläre System negativ beeinflusst werden könnte (Engelke 2009).

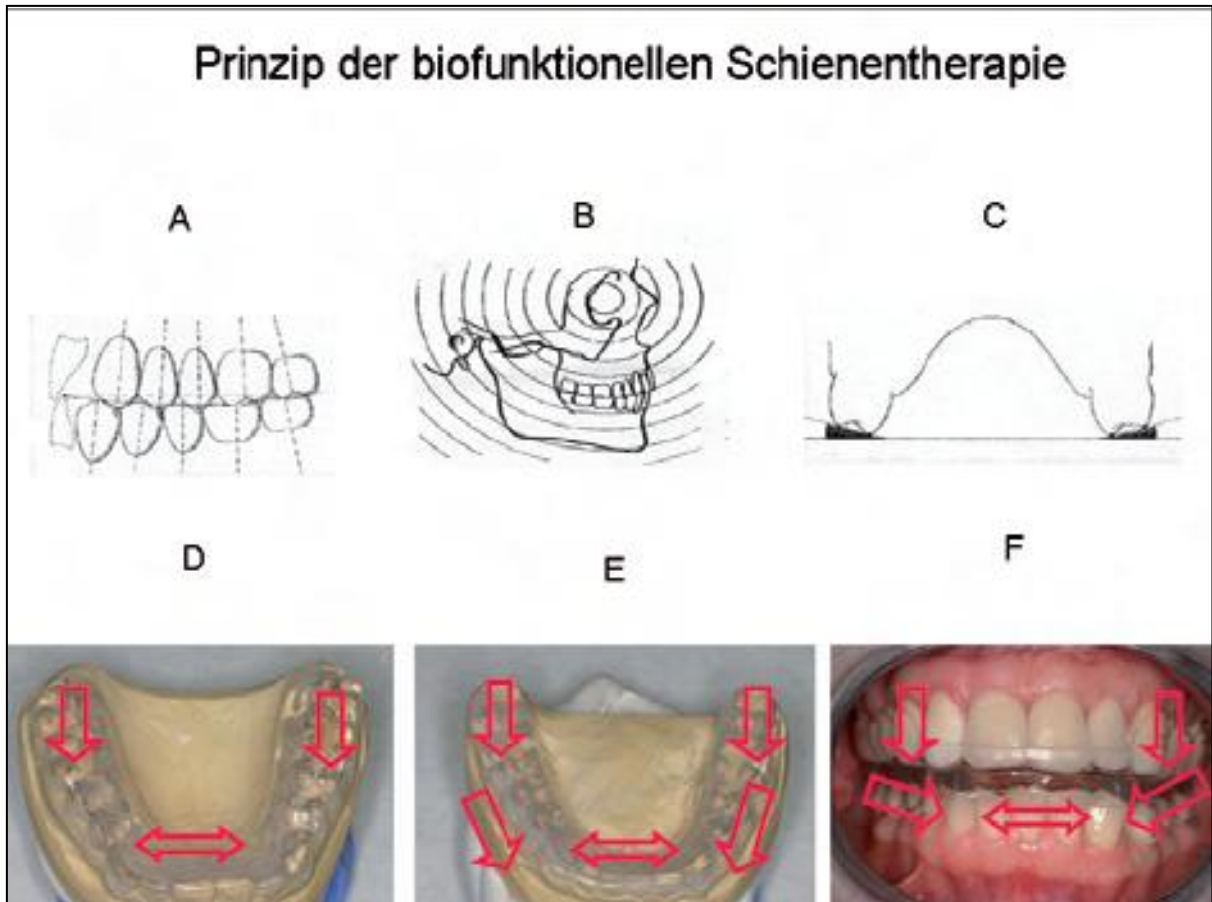


Abb. 6: Prinzip der Kalottenschiene zur Entkopplung der Okklusion und Entlastung der Gelenke durch ausschließlich dentoalveoläre Führung (Modifiziert entnommen aus Engelke 2009, S.7).

- A) entkoppelte Zahnreihen in sagittaler Richtung
- B) Verlauf der Kreisbahnen am Schädel und Mittelpunkt in der Orbita
- C) entkoppelte Zahnreihen in transversaler Richtung
- D-F) störungsfreie und dentoalveoläre Führung der bimaxillären Schiene

1.6 Fragestellung und Zielsetzung

Mit Hilfe der vorliegenden Studie soll die Wirkungsweise der bimaxillären Kalottenschiene anhand verschiedener Fragestellungen erfasst werden.

Die Untersuchung wurde an Patienten durchgeführt, bei denen das Krankheitsbild CMD diagnostiziert und mit der bimaxillären Kalottenschiene erfolgreich therapiert wurde, also die Behandlung eine subjektive Beschwerdeverbesserung ergab. Diese Besserung soll mittels mechanisch-graphischer Axiographie objektiviert werden.

Die ermittelten Werte sollen mögliche Unterschiede bei der okklusions- und schienengeführten UK-Bewegung aufzeigen und neue Informationen über die Wirkungsweise der Kalottenschiene im Vergleich zu okklusionsgeführten Bewegungen liefern.

Folgende Fragestellungen werden axiographisch dargestellt und anschließend analysiert:

- 1) Kann die Länge der Bewegungsspur, im Sinne einer Erweiterung des Bewegungsspielraumes im KG, mit eingesetzter Schiene positiv beeinflusst werden?
- 2) Wird die Qualität der Bewegungsspur durch die Schiene harmonischer (Reduktion der Radien bei polyzyklischen Spurenverläufen)?
- 3) Führt die Schiene zu einer erkennbaren Entlastung des Kiefergelenks bzw. zu einer flacheren Steigung der sagittalen Kondylenbahn im initialen, medialen und terminalen Drittel, gemessen an der maximalen Protrusionsspur?

2 Material und Methoden

Die vorliegende Studie wurde durch die Abteilung Prothetik der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen (Leiter Prof. Dr. med. dent. R. Bürgers) ermöglicht.

2.1 Patientenkollektiv

Alle Patienten wurden vor der Untersuchung über den Ablauf und die Risiken des Verfahrens aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis zu dessen Durchführung.

Außerdem lag ein positives Votum der Ethikkommission der Universitätsmedizin Göttingen vor (Antragsnummer: 13/10/11).

Alle erhobenen Daten wurden pseudonymisiert und ohne personengebundene Informationen gespeichert und weiterverarbeitet.

Circa 80% aller Patienten gaben vor der Untersuchung eine subjektive Verbesserung der individuellen Beschwerden an. Davon wurden 30 Patienten zufällig ausgewählt, von denen 24 weiblich und 6 männlich waren.

Eine Auswahl durch das zugrundeliegende Krankheitsbild erfolgte nicht, sodass als Ursache für die Therapie mit der Kalottenschiene sowohl myogene als auch arthrogene Gründe vorlagen.

2.2 Untersuchung der Patienten

2.2.1 Schematische Darstellung des AXIOGRAPH III

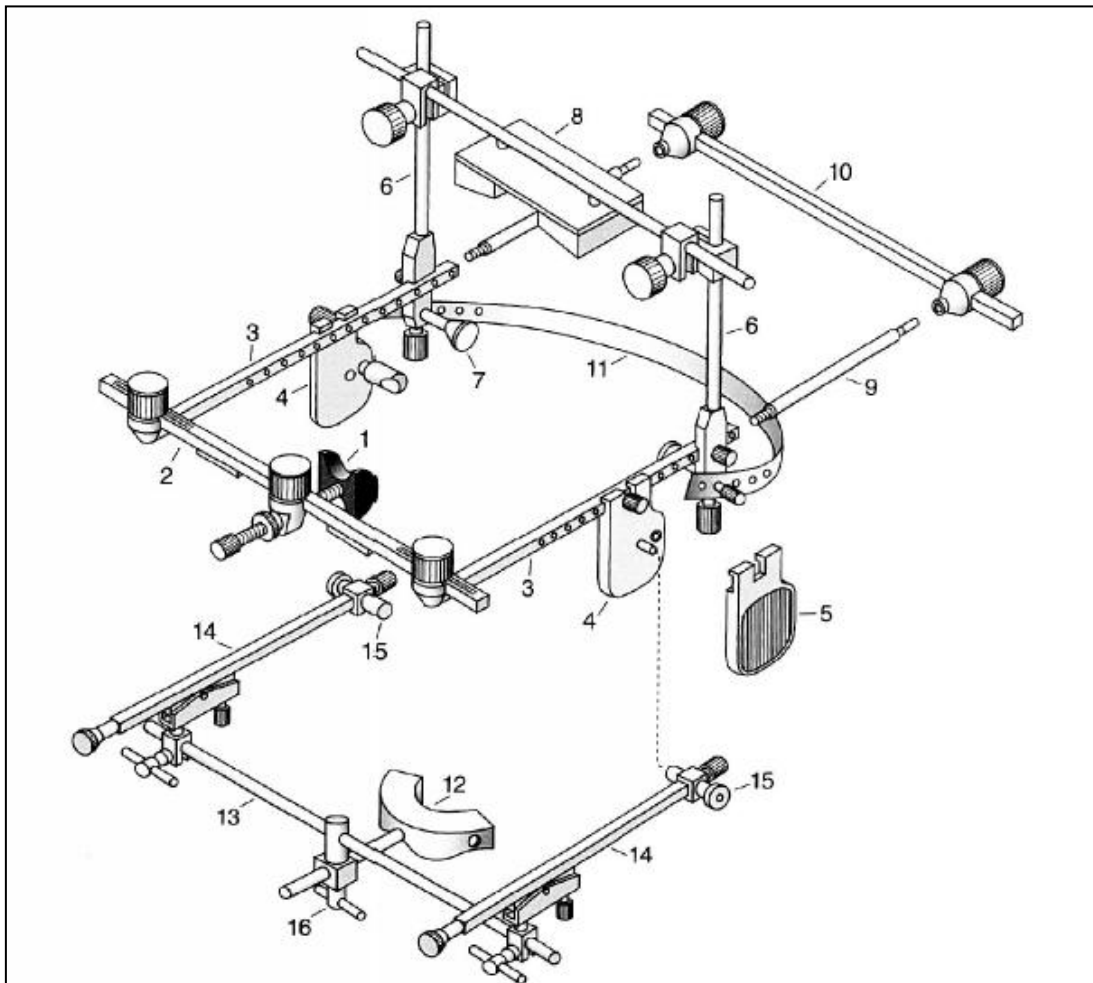


Abb. 7: Schematische Darstellung des SAM-AXIOGRAPH III (modifiziert entnommen aus Bumann und Lotzmann 2000, S.250)

Flaggenbogen (oberer Teil):

- 1) Nasionstütze
- 2) vordere Querstange und Positionierungsstift
- 3) obere Seitenarme
- 4) Positionierungsflagge mit Ohrolive und Positionierungsstift

- 5) Registrierflagge
- 6) Mastoid- und Vertikalabstütz-Vorrichtung
- 7) Mastoidstütze
- 8) Vertikalabstützelement
- 9) Verlängerungsstange des Seitenarms
- 10) hintere Querstange
- 11) Nackengummiband

Registrierbogen (unterer Teil):

- 12) Fixierungsöffel (wird ersetzt durch den paraokklusalen Adapter AXIODAPT)
- 13) vordere Querstange
- 14) Seitenarme des Registrierbogens
- 15) Positionierungsröhrchen
- 16) Kreuzklemme der Querstange

Alle Schritte zur Vorbereitung und Anbringung des AXIOMATIC Bogens erfolgten genau nach Anleitung des im Lieferumfang des AXO 500 AXIOGRAPHS III der Firma SAM (SAM Präzisionstechnik GmbH, Fussbergstraße 1, 82131 Gauting bei München) enthaltenen Benutzerhandbuchs (Mack et al. 1995).

2.2.2 Patientenvorbereitung

Die Anamneseerhebung und klinische Funktionsanalyse wurden bereits im Rahmen der regulären Patientenbehandlung als Voruntersuchung zur Anfertigung der bimaxillären Kalottenschiene durchgeführt und lagen in schriftlicher Form in den Patientenakten vor. Eine erneute Durchführung oder Einbeziehung dieser Untersuchungen geschah im Rahmen dieser Studie nicht.

Die Untersuchung erfolgte nachdem die Schienentherapie erfolgreich durchgeführt wurde, also eine Besserung der individuellen Beschwerden eingetreten war. Diese Besserung soll nun mittels der Axiographie objektiviert werden.

Zuerst wurde die Schiene mittels einer Okklusionsfolie kontrolliert um sicherzustellen, dass ein hindernisfreies Gleiten des Unterkiefers in die maximal protrudierte Position möglich war, ohne dass dabei ein Kontaktverlust der Schienenoberflächen auftrat.

Vor der Anbringung des Axiographen und den Messungen wurden die Bewegungen mit den Patienten geübt. Dazu war es erforderlich, dass sie in aufrecht sitzender Position und parallel nebeneinander liegenden Beinen die Protrusions- und Öffnungsbewegung des UKs auf Ansage ausführten und darauf achteten, ohne viel Kraft, aber mit sicherem maximalem, ununterbrochenem Kontakt der Schienenoberflächen bzw. der Zahnreihen in die protrusive UK-Stellung zu gleiten.

Als erste Bewegung wurde eine initiale „Klapperbewegung“ des UK geübt, wobei die Kieferöffnung nicht mehr als 10 mm betragen durfte, um eine reine Rotationsbewegung im Kiefergelenk zu erzielen und so die individuelle Gelenkdrehachse achsiographisch bestimmen zu können.

Für die Aufzeichnung der Kiefergelenksbahnen sollten die Patienten aus der Schlussbisslage (in zentrischer Kiefergelenksposition) maximale Vor- und Rückschubbewegungen mit dem UK ausführen. Dazu sollte der UK drei Mal maximal nach vorne geschoben werden, ohne dabei den Kontakt zwischen den Schienen- bzw. der Zahnoberflächen zu verlieren. Aus der letzten der drei Protrusionsbewegungen wurde dann der Unterkiefer maximal geöffnet und wieder gewohnheitsmäßig geschlossen.



Abb. 8a:

Habituelle Schlussbisslage mit
eingesetzter Kalottenschiene

Abb. 8b:

Maximale Protrusion

Abb. 8c:

Maximale Kieferöffnung

Die Ausführung der Bewegungen, ohne Kontaktverlust der Schienen- bzw. Zahnoberflächen, wurde optisch überprüft und ggf. einige Male wiederholt, bis sichergestellt werden konnte, dass die Patienten den Bewegungsablauf verinnerlicht hatten und reproduzierbar auf Ansage durchführen konnten.

Die Übungen wurden sowie im Anschluss die Messungen, zuerst mit eingesetzter Schiene, dann ohne durchgeführt.

2.2.3 Vorbereitung des AXIODAPT (Paraokklusal-Registrier-Adapter)

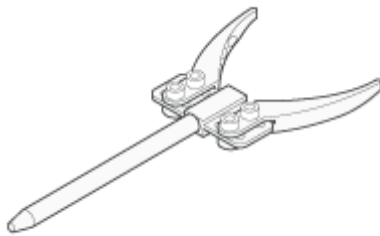


Abb. 9: Schematische Darstellung des AXIODAPT (übernommen von der Homepage der Firma SAM, www.sam-dental.de)

Die vier Stellschrauben des paraokklusalen Adapters AXIODAPT (Axo 333, SAM Präzisionstechnik GmbH, München, Deutschland) wurden zunächst gelöst, um eine ungestörte Adaption durch Spreizung und Verschiebung der Außenarme an die Außenfläche des Unterkieferzahnbogens zu ermöglichen (Mack et al. 1995). Die Patienten wurden aufgefordert die Zahnreihen zu schließen und eine habituell geschlossene Okklusion einzunehmen. Stark unter sich gehende Bereiche und Zahnlücken wurden mit Periphery Wachs (Sigma Dental Systems, Emasdi GmbH, Handewitt, Deutschland) ausgeblockt. Der Adapter wurde an die Stützzone, also im Bereich der UK-Inzisivi, angesetzt und dem Zahnbogen wie oben beschrieben angepasst. Die Schrauben wurden erst leicht angezogen, um sie dann extraoral fest mit der Grundplatte zu verschrauben. Daraufhin erfolgte eine intraorale Kontrolle um sicherzustellen, dass durch den Anzug der Schrauben keine Veränderung der Außenarm-Einstellung resultierte.

Der Adapter wurde entnommen und an der Innen- und Unterseite der Stützzone und der Außenarme plastischer Kunststoff aufgebracht (Luxatemp, DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland). Dabei durfte kein Kunststoff an die Oberseite des Adapters gelangen. Zudem mussten die Kunststoffbereiche an einem der beiden Gelenke, an dem Grundplatte und Außenarme durch die Schrauben miteinander verbunden sind, getrennt bleiben, damit ein Außenarm zur Eingliederung und Entnahme des Adapters beweglich blieb.

Der Adapter wurde an den Unterkieferzahnbogen bei geschlossenen Zahnreihen auf Höhe des Unterschnittbereichs der Zahnkronen bzw. am Übergang zwischen Zahnkronen und Gingiva angesetzt. Dabei musste ein ausreichender Abstand zwischen der Oberseite des Adapters und den bukkalen Höckern der Oberkieferzähne gewährleistet sein, sodass die Funktionsbewegungen aus der habituellen Interkuspitation keinesfalls vom Adapter beeinflusst oder gestört werden konnten. Durch leichtes Andrücken des Adapters konnte der Kunststoff in die Zahnzwischenräume und Unterschnittbereiche ausfließen, worauf der mechanische Halt basiert.

Nach Erhärten des Kunststoffs mussten die Schrauben des beweglichen Außenarms gelöst werden, damit der Adapter entnommen werden konnte. Extraoral erfolgte die Entfernung von überschüssigem Kunststoff. Der Adapter für die Messung der okklusionsgeführten Kondylenbewegung ohne Schiene war nun mit den Impressionen der bukkalen Zahnflächen individualisiert und wurde für die zweite Messung aufbewahrt.



Abb. 10: Paraokklusaler Adapter AXIODAPT der Firma SAM, der mit den Unterkieferzahnimpressionen des Patienten individualisiert wurde

2.2.4 Vorbereitung des Schienen-Adapters



Abb. 11: Schematische Darstellung des Schienen-Adapters (übernommen von der Homepage der Firma SAM, www.sam-dental.de)

Zur Adaptierung des Unterkiefer-Schreibbogens an die bimaxilläre Schiene wurde der paraokklusale Adapter-Bausatz der Firma SAM (AXO 222, SAM Präzisionstechnik GmbH, München, Deutschland) modifiziert. Das zahntechnische Hauslabor der Universitätsklinik Göttingen verlängerte die Ausleger des T-förmigen Adapters um das Zweifache, indem dünne Edelstahlplatten angeschweißt wurden. Es wurde darauf geachtet, dass alle Materialien zur Sterilisation im Autoklav geeignet sind.

Extraoral erfolgte eine Anpassung des modifizierten Adapters durch manuelles Anbiegen an die labiale Kontur der Unterkieferschiene, um dem später aufgebrauchten Verbundmaterial zwischen Schiene und Adapter eine möglichst gute Adaptionfläche zu bieten.

Als Material wurde hier Luxatemp (DMG Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland) verwendet, da dieses allein bereits einen optimalen Verbund zwischen Schiene und Adapter herstellen konnte.

Die Befestigung des Adapters an der Schiene mit Luxatemp geschah erst zu einem späteren Zeitpunkt.

2.2.5 Vorbereitung des AXIOMATIC-Bogens

Zunächst wurde die Nasionstütze mit Knetsilikon (Silaplast Futur, DETAX GmbH & Co. KG, Ettlingen, Deutschland) individualisiert, um dem Patienten zu einem möglichst angenehmen Sitz der Apparatur am Hauptlastpunkt Nasion zu verhelfen und einen guten Sitz der Apparatur zu gewährleisten.

Dazu wurde die Nasionstütze von der vorderen Querstange des Flaggenbogens gelöst und die Rändelschraube so eingestellt, dass vor und nach der Klemme gleichlange Gewindeanteile vorhanden waren. Eine kleine Menge Knetsilikon wurde angemischt und aufgebracht, ohne dass dabei seitlich Material überstand, aber ober- und unterhalb das Silikon das Gewinde umschloss. Die Nasionstütze wurde am Nasion positioniert und leicht angedrückt, wobei die Gewindestange zur Achs-Orbital-Ebene auszurichten war. Nach dem Erhärten des Silikons konnte die Nasionstütze wieder an der vorderen Querstange montiert werden.

Bevor die Registrierplatten mit dem grünen Registrieretikett beklebt werden konnten, mussten sie mit einer dünnen Schicht der mitgelieferten Isolierflüssigkeit beschichtet werden, um ein rückstandsloses Abziehen der Etiketten nach der Messung sicherzustellen.

Außerdem wurden die Bleistiftminen der gelben Schreibstifte circa 2 mm herausgedreht und mit einer diamantierten Feile angespitzt.

Zur Festlegung der Flaggenposition war es notwendig, die Distanz zwischen Gehörgang und Nasion zu messen. Dazu wurden die Ohroliven der Positionierungsflaggen mit Hygienekappen versehen, die Klemmen der hinteren Querstange gelöst und nach außen geschoben. Eine der Klemmen wurde fixiert und der Positionierungsstift der rechten Positionierungsflagge eingesteckt, während die Verlängerungsstange eines Flaggenarmes in die Bohrung der verschiebbaren Klemme gesteckt wurde. Die Positionierungsflagge wurde mit der Ohrolive in den äußeren Gehörgang eingesetzt, die Verlängerungsstange mit der verschiebbaren Klemme bis auf Kontakt zum Nasion geschoben und anschließend fixiert. Durch die Übertragung der gemessenen Distanz auf den Seitenarm des Flaggenbogens ergab die Position der Ohrolive die Anschraubposition der Positionierungsflagge am Seitenarm (Mack et al 1995).

2.2.6 Anbringung des AXIOMATIC-Bogens

Die Klemmen beider Seitenarme des Flaggenbogens mussten zunächst gelöst und die Nasionstütze am Nasion positioniert werden. Mit Hilfe des Patienten, der die Positionierungsflaggen mit Daumen und Zeigefinger führen sollte, wurden beide Seitenarme symmetrisch nach medial geschoben, bis die Ohroliven im äußeren Gehörgang positioniert waren. Anschließend wurden die Klemmen fixiert. Während der Patient die Positionierungsflaggen nach kranial hielt, musste die Rändelschraube angezogen werden, bis der Flaggenbogen am Schädel selbständig und stabil hielt. Dabei sollte der vordere Gewindeanteil maximal 1 cm betragen, wodurch in einigen Fällen eine erneute Veränderung der Flaggenposition bedingt wurde. Eine arbiträre Scharnierachse war nun durch die Position der Ohroliven und die 10 mm weiter anterior und 5 mm weiter kaudal festgelegten Positionierstifte definiert.



Abb. 12: Referenzposition des SAP. Vorgegeben durch Positionierungsflagge, Ohrolive und Positionierstift

Dem Eindrehen der Verlängerungen der Seitenarme folgte die Anbringung der Vertikalstangen, die mindestens drei Gewindelöcher zum Flaggengewinde freilassen sollten. Die hintere Querstange stellte sicher, dass die Seitenarme exakt parallel zueinander verlaufen, ohne dabei nach distal zu konvergieren. Dazu wurden die Klemmen der hinteren Querstange auf die Distanz der vorderen Klemmen fixiert und spannungsfrei auf die Seitenarmverlängerung gesteckt. War dies nicht möglich, lag eine Konvergenz vor, die durch Verstellen der vorderen Distanz korrigiert werden konnte um Parallelitätsfehler zu verhindern. Der Patient wurde wieder aufgefordert,

die Positionierflaggen im äußeren Gehörgang nach anterior-kränial zu halten, damit die Vertikalstütze abgesenkt und die Rändelschrauben unter leichtem Druck fixiert werden konnten. Wenn der Patient die Flaggen losließ und sich im Ohr der Druck der Ohrlöcher etwas verringert hatte, war die Vertikalstütze richtig platziert. Die Mastoidstützen mussten nach mesial geschoben werden, bis sie eine flächige Auflage am Mastoid hatten und in dieser Position fixiert werden. Nun konnte auch das Nackengummiband unter leichter Spannung in die Mastoidstützen eingehängt werden und zusätzlich den Halt des Flaggenbogens am Schädel sichern. Nach der Vergewisserung, dass alle Querstangen parallel zueinander und alle Klemmen gut festgedreht waren, konnten die hintere Querstange und die Verlängerungen entfernt werden, da eine ausreichende transversale Abstützung des Flaggenbogens durch Vertikal- und Mastoidstütze hergestellt war.

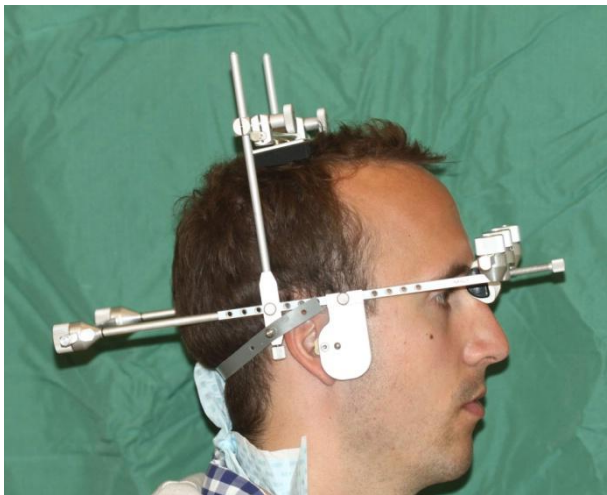


Abb. 13: Flaggenbogen mit Verlängerungsarmen und hinteren Querstangen zur Vermeidung von Parallelitätsfehlern

Zur Anbringung des Registrierbogens am Unterkiefer wurden zunächst die Seitenarme sagittal auf die Nullmarkierung und die Wippen in Mittelstellung gestellt. Außerdem war es notwendig, sie durch planes Auflegen auf die Arbeitsfläche zu parallelisieren und die Distanzbuchsen auf Anschlag zu fixieren. Mit Hilfe der hinteren Querstange wurde die individuelle Distanz der Positionierflaggen auf den Registrierbogen übertragen und mit den zwei äußeren Knebelklemmen fixiert. Auf erneute Aufforderung nahmen die Patienten ihre aufrechte Sitzposition mit parallel nebeneinander liegenden Beinen ein und behielten sie bis zum Ende der Untersuchung bei.

Der Patient setzte nun seine bimaxilläre Kalottenschiene ein und der paraokklusale Schienen-Adapter wurde mit Luxatemp an der vestibulären Fläche der Schiene befestigt. Dabei wurde gewissenhaft darauf geachtet, dass kein Kunststoff auf die okklusalen Bereiche der Schiene gerät, damit die Funktionsbewegungen über die charakteristische Oberfläche der Schiene keinesfalls durch Kunststoffreste beeinflusst werden. Nach der Aushärtung des Kunststoffes (5 Minuten laut Herstellerangabe) konnte die mittlere Knebelklemme des Registrierbogens auf die Stange des Schienen-Adapters geschoben werden. Eine der beiden Distanzbuchsen musste gelöst werden um genug Spielraum zu schaffen, damit die andere festgestellte Buchse auf den Positionierungsstift der Positionierflagge gesteckt werden konnte. Anschließend wurde auch die gelöste Buchse auf den Stift geschoben und wieder festgestellt, sodass der Registrierbogen nun durch die Seitenarme und Distanzbuchsen am Flaggenbogen fixiert war.

Die beiden Distanzbuchsen konnten nun zurückgezogen werden, wobei keine Spannung zwischen Stift und Buchse spürbar sein durfte.

Durch die symmetrische Ausrichtung der Ohroliven im Porion zur Schädelbasis orientierte sich der Flaggenbogen selbstständig an den anatomischen Gegebenheiten. Damit waren die „Flaggenarme automatisch parallel zur Mediansagittalebene und die Frontstange parallel zur Bipupillarlinie ausgerichtet. Gleichzeitig wird durch diese Anordnung des Flaggenbogens die Scharnierachse vorbestimmt, wobei sich gezeigt hat, dass diese vorbestimmte Scharnierachse innerhalb eines Millimeters zur individuell bestimmten Scharnierachse liegt.“ (Wirth 1996, S.474). Die Parallelität und Kolinearität der Querstangen und Seitenarme der beiden Bögen zueinander bewirkt eine exakte Ausrichtung des Registrierbogens zum Flaggenbogen. Diesem selbsttätigen Ausrichten des oberen Flaggenbogens nach den anatomischen Gegebenheiten und dem „automatischen“ koachsialen Ausrichten des unteren zum oberen Bogen verdankt der AXIOGRAPH III sein Synonym AXIOMATIC-Bogen (Mack et al. 1995).

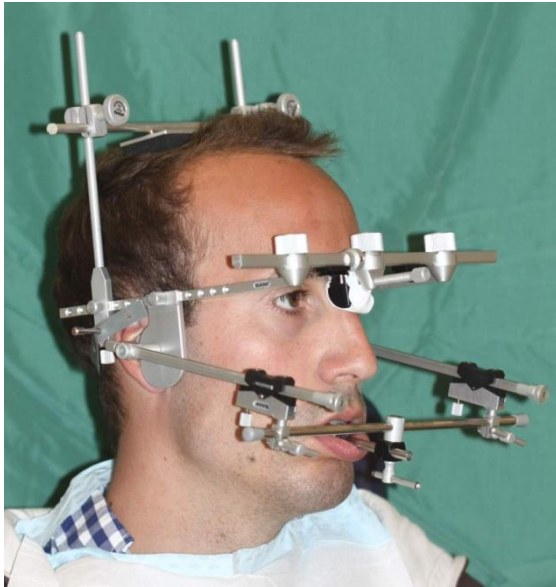


Abb. 14: Fertige Anbringung und Ausrichtung des Flaggen- und Registrierbogens am Patienten

Die Positionierungsflaggen wurden gegen die Schreibplatten ausgetauscht. Durch die anatomische Montage der Positionierungsflaggen ergab sich eine vorgegebene Referenzposition der Scharnierachse der Kiefergelenke. Diese konnte übernommen werden oder vorzugsweise durch eine direkt vor der Messung bestimmte, individuelle Gelenkdrehachse ersetzt werden. Dazu mussten die Distanzbuchsen gegen die Achsenlokalisierungsstifte ausgetauscht und auf Kontakt fixiert werden. Der Patient schloss den Unterkiefer habituell. Zur Bestimmung der Scharnierachse öffnete der Patient den Kiefer mehrmals in kurzen Abständen um circa 10 mm unter vorsichtiger manueller Führung. So konnten Translationsbewegungen des Kondylus minimiert werden, um eine vorwiegende Rotationsbewegung des Kondylus zu erzielen. Rotierte die Spitze des Stiftes nicht auf der Stelle, lag keine hauptsächliche Rotation im Kiefergelenk vor und die Position des Stiftes musste korrigiert werden. Je nach Bewegungsumfang und –ausmaß des Stiftes wurden die Seitenarme des Registrierbogens vertikal durch Verstellen der Rändelschraube der Wippe oder sagittal durch Drehen der Rändelschraube am vorderen Ende der Seitenarme, eingestellt. Die Pendelbewegungen der Stiftspitzen mussten erneut kontrolliert und ggf. wieder eingestellt werden, bis keine sichtbaren Bewegungen der Spitzen mehr sichtbar waren. Sobald die vorbestimmte Scharnierachse nicht übernommen und an den Seitenarmeinstellungen manipuliert wurde, musste der Registrierbogen abgenommen und die Kolinearität der Seitenarme durch Aufsetzen auf eine plane Unterlage wiederhergestellt werden. Die Achsenlokalisierungsstifte konnten nun gegen die gelben Schreibstifte auf beiden Seiten ausgetauscht werden. Die

Schreibbuchse wurde mit zurückgezogener Bleistiftmine bündig auf das Etikett der Registrierflagge aufgesetzt, festgeschraubt und die Minen nacheinander behutsam auf die Etikettoberfläche abgesenkt. Durch die erzeugte leichte Spannung zwischen Mine und Etikett konnte ein deutliches Aufzeichnen der Bewegungsspuren gesichert werden.

2.2.7 Instrumentelle Funktionsanalyse/ Versuchsablauf

Der Patient sollte die Rotationsbewegung des Kiefergelenks erneut durchführen, damit sichergestellt werden konnte, dass der Scharnierachsenpunkt reproduzierbar ermittelt worden war und gleichzeitig markiert werden konnte. Zeichnete der Stift keine punktförmige Rotationsbewegung des Kondylus auf, sondern eine Pendelbewegung, erfolgte zunächst die Überprüfung der Unterkiefer-Ausgangsposition und ggf. deren Korrektur. Führt das nicht zum gewünschten Ergebnis, musste der Scharnierachsenpunkt, wie oben beschrieben, erneut ermittelt werden. Bestand die Problematik weiterhin, wurde der SAP ein drittes Mal bestimmt. Bei fortbestehender Pendelbewegung wurden die Exkursionen und ein resultierendes Auffächern der dreimaligen Protrusionsbewegung toleriert. Die durch die anatomische Montage der Positionierungsflaggen vorgegebene Referenzposition wurde wieder eingestellt und als SAP übernommen, da es schwierig und oft unmöglich ist, die wahre Scharnierachse bei Patienten mit myogenen oder artikulären Symptomen zu bestimmen (Lotzmann 2006, Wirth 1996). Konnte die individuelle Scharnierachse ermittelt werden, folgte die kolineare Ausrichtung der Seitenarme zueinander (s.o.).

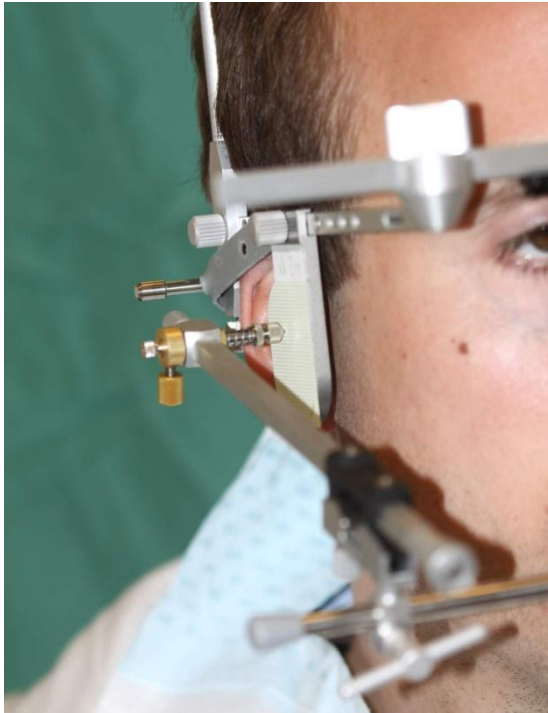


Abb. 15: Eingesetzte gelbe Schreibbuchse zur Überprüfung und Markierung des individuellen SAP vor Aufzeichnung der maximalen Kondylenbewegungen

Der Patient führte nun die vorher trainierten Unterkieferbewegungen, nämlich die dreifache Protrusion mit einer kombinierten Öffnungsbewegung, durch. Auf Ansage schob der Patient den Unterkiefer drei Mal maximal nach vorne und zwei Mal wieder zurück in die Ausgangslage des Unterkiefers. Aus der dritten maximalen Protrusionsstellung öffnete der Patient den Unterkiefer so weit wie möglich und schloss von hier direkt den Unterkiefer in Ausgangslage. Währenddessen wurde optisch überprüft, ob die aufgezeichnete protrusive Scharnierachsenbahn deutlich und kontinuierlich abgebildet wurde. Damit war die erste Aufzeichnung der Kondylenbewegung mit eingegliedertter Kalottenschiene abgeschlossen.

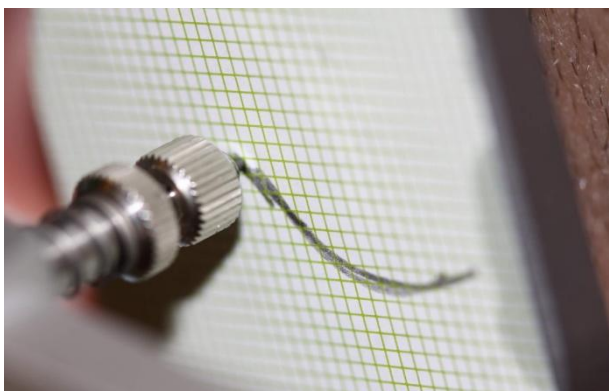


Abb. 16: Dreimalige Aufzeichnung der maximalen Protrusion

Die Minen der Schreibbuchsen wurden eingefahren und die Schreibbuchsen gegen die Distanzbuchsen ausgetauscht. Die mittlere Knebelklemme wurde gelöst, der

Registrierbogen von der Stange des Adapters geschoben und entfernt. Danach erfolgte der Austausch der Registrierflaggen gegen die Positionierflaggen und der Etiketten für die Aufzeichnung der Kondylenbahn ohne Schiene.

Die Schiene konnte nun samt des Schienen-Adapters aus dem Mund des Patienten entnommen werden. Durch leichtes manuelles Aufbiegen einer der Seitenarme des Adapters konnte der Kunststoffverbund von der Schiene gelöst werden. Zurückbleibende Kunststoffreste wurden ggf. mit Hilfe eines Universal-Scalers (Hu-Friedy Mfg. B.V., Rotterdam, Niederlande) vorsichtig entfernt.

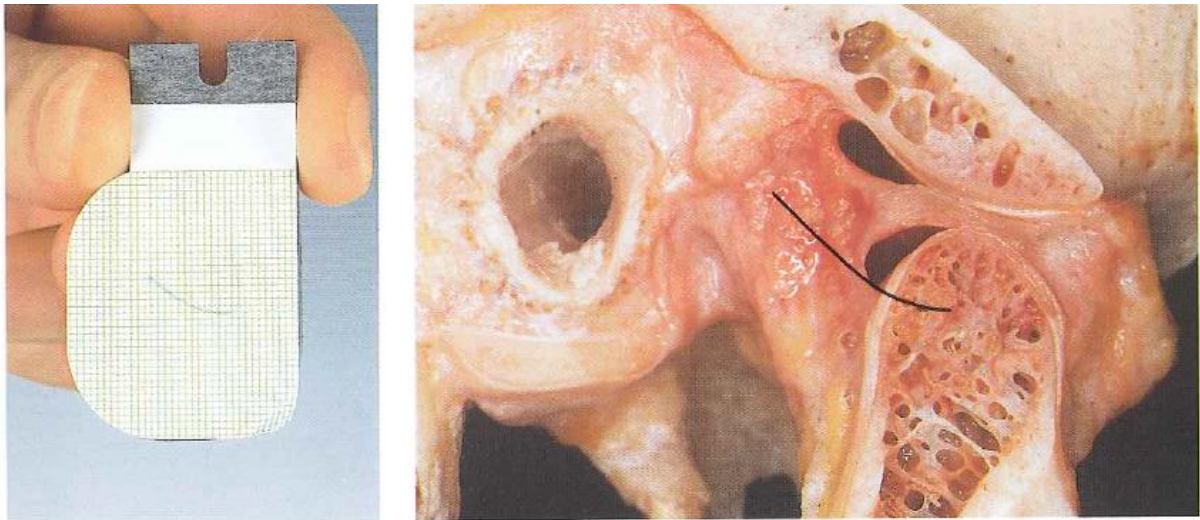


Abb. 17: Links: Bewegungsspur der maximalen Protrusionsbewegung eines rechten KGs. Der normal ausgeformte Verlauf der Spur in Länge und Krümmung lässt auf eine ungestörte Gelenkfunktion schließen.

Rechts: Projizierung der sagittalen Kondylenbahn auf ein anatomisches Präparat des menschlichen KGs in protrusiver Stellung im Sagittalschnitt (entnommen aus Bumann und Lotzmann 2000, S.257).

Für die Messung der okklusionsgeführten Kondylenbewegung mussten die Unterkieferzähne mit Hilfe eines Speichelsaugers und Watterollen trocken gelegt werden. Der paraokklusale AXIODAPT-Adapter wurde auf der Innenseite, an den Impressionenflächen der Unterkieferzähne, mit einem provisorischen Befestigungszement auf Zinkoxidbasis (TempBond NE, Kerr GmbH, Rastatt, Deutschland) dünn bestrichen. Die Außenflächen der Unterkieferzähne mussten mit dem Luftpüster getrocknet und der Adapter leicht an seine vorher festgelegte, individuelle Position angedrückt werden. Der bewegliche Außenarm wurde dort fixiert und der Adapter über die gesamte Aushärtungszeit von ca. 5 Minuten bei geschlossener Okklusion

angedrückt. Anschließend erfolgte die Entfernung der Watterollen und überschüssigen Zementreste.

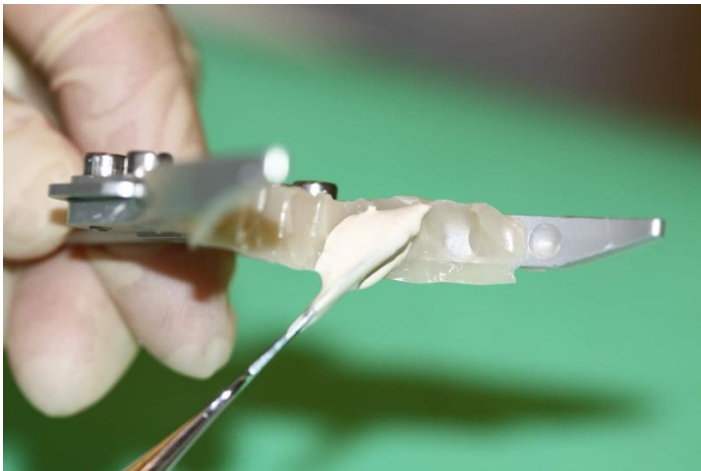


Abb. 18: Beschichtung der individualisierten Innenseite des AXIODAPT mit Tempbond

Die erneute Anbringung des Registrierbogens am AXIODAPT und die Messung der okklusionsgeführten Kondylenbewegung wurden genauso wie oben beschrieben durchgeführt. In wenigen Fällen führte der Klebeffekt durch den provisorischen Zement nicht zum gewünschten Halt und der Adapter musste zusätzlich manuell gestützt werden. Hierbei wurde darauf geachtet, die Funktionsbewegungen des Patienten nicht zu beeinflussen.

Nach Beendigung der zweiten Messung konnte der bewegliche Außenarm des AXIODAPT aufgeschraubt, die Minen der Schreibbuchsen eingefahren und der Registrierbogen mit dem Adapter entfernt werden.

Die Markierung der Referenzebene erfolgte mit Hilfe des Orbitalzeigers, der am linken Geschiebe der vorderen Querstange zu befestigen war. Die Spitze des Orbitalzeigers wurde auf den tiefsten Punkt der knöchernen Orbita gerichtet und fixiert.

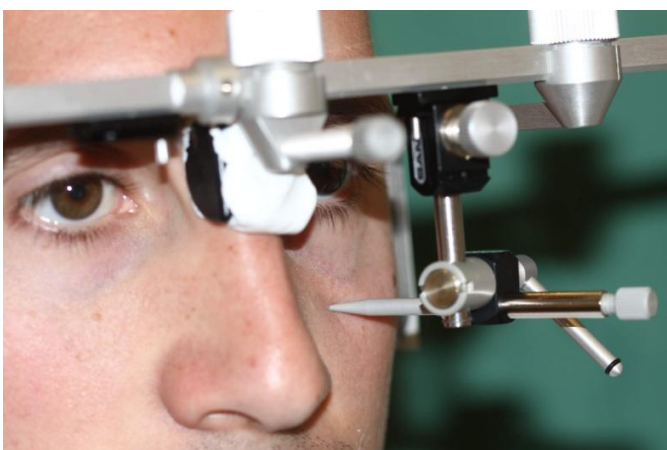


Abb. 19: Ausrichtung der Orbitalzeigerspitze auf den unteren Rand der knöchernen Orbita

Anschließend konnte auch der obere Flaggenbogen abgebaut werden, wobei sich die Position der Registrierplatten und des Orbitalzeigers nicht verändern durften. Das Referenzlineal wurde an die Innenseite des rechten Seitenarms geschraubt und die Kante des Lineals so ausgerichtet, dass sie mit der Spitze des Orbitalzeigers übereinstimmte. Die Achsorbitalebene ist durch zwei Punkte definiert: Verlängerung des Infraorbitalpunktes und SAP. Somit konnte die Achsorbitalebene als Referenzebene durch Anlegen des Metalllineals an diese beiden Punkte eingezeichnet werden. Bei ca. der Hälfte der Aufzeichnungen, bei denen der SAP nicht exakt bestimmbar war, wurde der SAP bzw. der Startpunkt der ersten Protrusionsbahn benutzt, um die Achsorbitalebene zu konstruieren. Durch Parallelverschiebung der Ebene in die SAPs der zweiten und dritten Protrusionsbahn wurde die Referenzebene für diese Bahnen festgelegt.

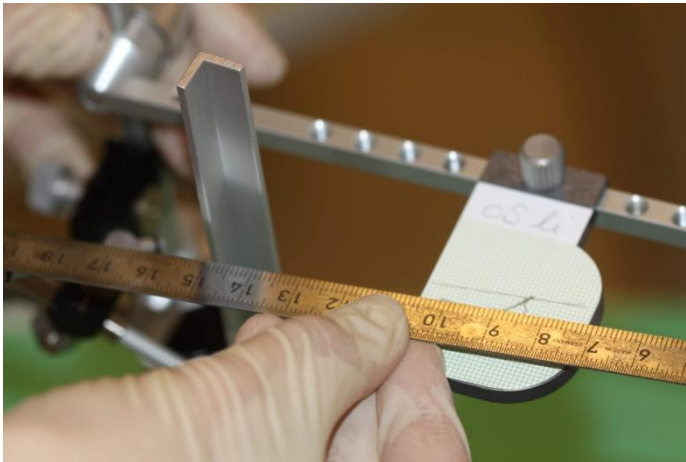


Abb. 20: Einzeichnung der Referenzlinie mit Hilfe des Referenz- und Metalllineals

Die vier Etiketten jedes Patienten (zwei mit Schiene, zwei ohne Schiene) wurden auf das AXO110-Befundblatt für instrumentelle Funktionsdiagnostik der Firma SAM aufgeklebt und beschriftet.

2.3 Erhebung der Daten

Um reproduzierbare Daten aus den mechanisch-graphisch aufgezeichneten Bewegungsspuren des Kondylus zu gewinnen und elektronisch weiterverarbeiten zu können, wurden diese mit Hilfe von Programmbausteinen der Adobe® Creative Suite CS 5 (Adobe Systems Inc., San Jose, Kalifornien, USA) digital aufbereitet.

Die Befundblätter wurden eingescannt (mit einer Auflösung von 600dpi, Brother International GmbH, Bad Vilbel, Deutschland) und pseudonymisiert abgespeichert.

Die horizontale Ausrichtung der Referenzebenen wurde mit Adobe® Photoshop CS 5 (Adobe Systems Inc., San Jose, Kalifornien, USA) vorgenommen. Das erforderte die Anfertigung eines horizontal verschiebbaren Maßstabes, der an die Scharnierachsenpunkte der Bewegungsspuren gelegt werden musste, sodass diese einen gemeinsamen Punkt mit der Referenzebene hatten. Die Etiketten mit den Bewegungsspuren auf dem Befundblatt konnten digital ausgestanzt und durch Drehen und horizontales Verschieben deckungsgleich auf das horizontale Lineal gelegt werden. Damit waren alle Bewegungsspuren horizontal ausgerichtet und konnten in Relation zu einer gemeinsamen Bezugsebene vermessen werden.

Das Nachzeichnen der Bewegungsspuren erfolgte vektorbasiert mit Hilfe von Adobe® Illustrator CS 5 (ai, Adobe Systems Inc., San Jose, Kalifornien, USA). Die Erstellung der Formen als Vektorgraphik ermöglichte eine unbegrenzte Skalierung der Graphik ohne einen Verlust an Bildinformation. Mittels des Werkzeugs „Free Form Pen“ konnten die Bewegungsspuren, die im Scan pixelbasiert dargestellt werden, in Bézierkurven überführt werden. Damit konnten die Kurvenverläufe sehr genau modelliert und alle Sprünge im Spurenverlauf wiedergegeben werden. Zusätzlich gelegte Kontrollpunkte in die Umschlagsbereiche der Zyklen erzielten bei solchen polyzyklischen Kurvenverläufen eine bestmögliche Annäherung an den wahren Verlauf der Spur. Die Kontrollpunkte der Bewegungsspuren wurden in den SAP und den Endpunkt der maximalen Protrusion gelegt.

Nach der Festlegung von Länge und grobem Verlauf der Spuren mit Hilfe der Kontrollpunkte wurde die Vektorgraphik, wie oben beschrieben, dem Kurvenverlauf durch Manipulation an den Kontrollpunkten exakt angepasst.

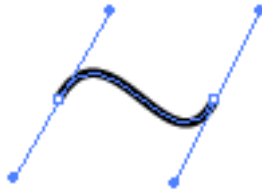


Abb. 21: Bézier-Kurve in Adobe Illustrator
(übernommen von Wikipedia 2013)

Um die Steigung im initialen, medialen und terminalen Drittel der Spuren bestimmen zu können, musste die Mitte der jeweiligen Drittel ermittelt werden.

Zur Bestimmung der Drittelmitten wurde ein Raster mit Adobe Illustrator erstellt, das durch Streckung und Stauchung den verschiedenen Längen der Spuren angepasst werden konnte. Dabei markierten vier Linien die Begrenzungen der Drittel, während die hellblauen Linien die Mitte der Drittel angaben. Das Raster konnte auf jede Graphik kopiert und durch Verschieben der groben Verlaufsrichtung der Spuren angepasst werden. Die äußeren Linien wurden auf den SAP und den Endpunkt der Spuren durch Strecken bzw. Stauchen angepasst, sodass sich eine Drittelung der Spuren ergab und die Messungsorte als hellblaue Drittelmitten markiert waren.

Die linke Hälfte von Abbildung 22 zeigt die gescannte Ausgangssituation der mechanisch-graphisch aufgezeichneten kondylären Bewegungsspuren, deren Referenzebene noch nicht horizontal ausgerichtet war. Auf der rechten Hälfte der Abbildung 22 sind die Protrusionsspuren mit Hilfe des „Free Form Pen“ digital nachgezeichnet und die Drittelmitten bzw. die Messungsorte durch das Raster ermittelt. Zudem wurden die Graphiken bereits horizontal ausgerichtet.

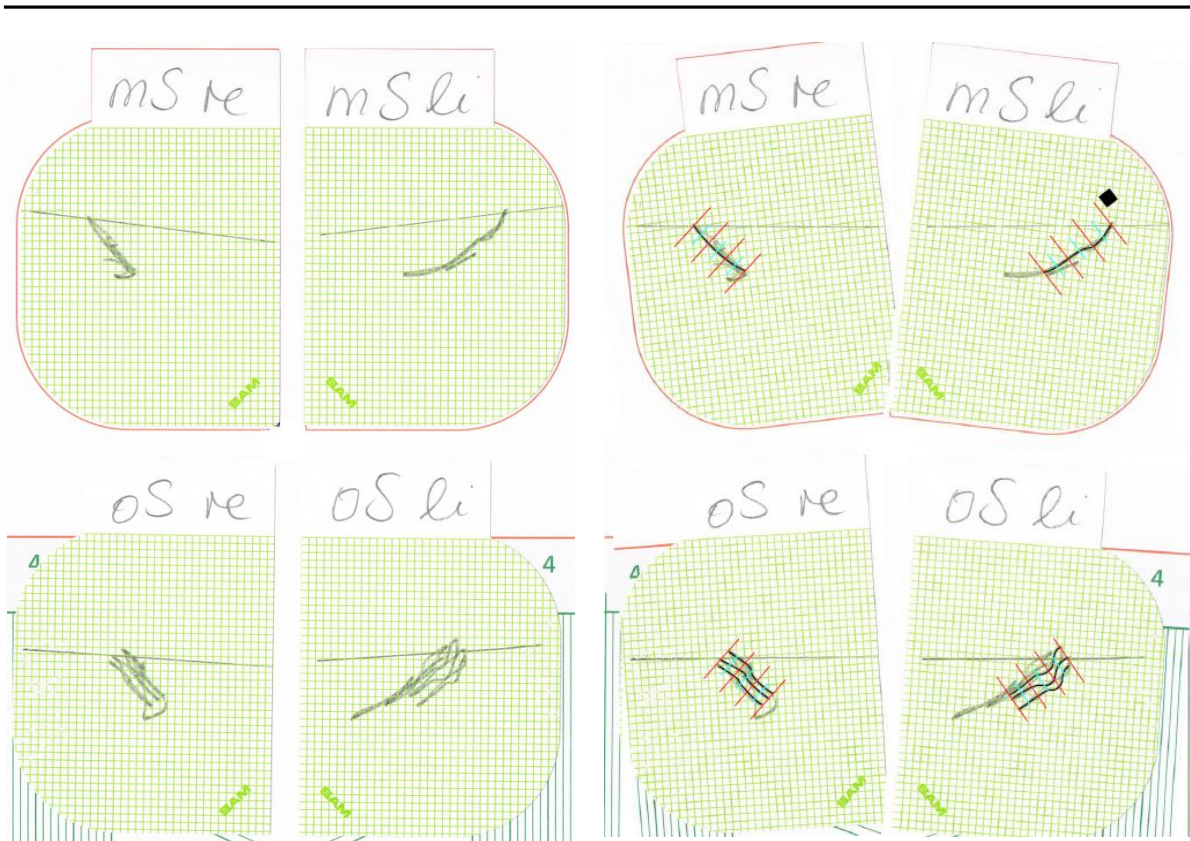


Abb. 22: Links: Ausgangssituation der axiographischen Darstellung der kondylären Bewegungsspuren (mS= mit Schiene re/li; oS= ohne Schiene re/li).

Rechts: Darstellung der digital nachgezeichneten Protrusionsspuren und der Drittelmitten bzw. der Messungsorte, die durch das Raster ermittelt wurden.

Um die Länge der Spuren in Millimetern angeben zu können, mussten die digitalisierten Grafiken in das Programm ‚Photoshop‘ konvertiert werden.

Dazu war es erforderlich den Maßstab zu kalibrieren. Für das Werkzeug „Messlineal“ wurde eine Skala mit einem Skalierungsfaktor 23,6 Pixel = 1 mm festgelegt. Das Werkzeug Messlineal gab die Länge von einem definierten Startpunkt zu einem definierten Endpunkt an und übertrug diese Werte und den Winkel zur horizontalen Referenzlinie am Endpunkt automatisch in eine Tabelle.

Jede Bewegungsspur wurde mit dem Messlineal in dieser Reihenfolge vermessen:

- a) SAP zum Endpunkt der maximalen Protrusionsbewegung
- b) SAP zur Mitte des initialen Drittels
- c) SAP zur Mitte des medialen Drittels
- d) SAP zur Mitte des terminalen Drittels

An jedem Punkt wurden automatisch die Länge und der Winkel zum Start- bzw. Scharnierachsenpunkt, der auf der Referenzebene lag, ermittelt und die Daten als tabulatorgetrennte Tabelle exportiert. Anschließend mussten die Daten in Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) importiert und zur Auswertung der Daten gespeichert werden.

Da der SAP in circa 50% der Fälle (61 von 120) nicht exakt bestimmt werden konnte und sich durch die Auffächerung zwei oder drei Protrusionsspuren ergaben, wurden in diesen Fällen alle Spuren digitalisiert und vermessen und der Mittelwert der gemessenen Längen und Winkel ermittelt und übernommen.

Wie oben bereits beschrieben, ist bei Patienten mit myogenen oder artikulären Symptomen die Bestimmung der exakten Scharnierachse schwierig und oft unmöglich (Wirth 1996). Die Gefahr einer paraxialen Verzerrung der tatsächlichen Bewegungspur betrifft nur den Rotationsanteil der Kondylusbewegung. Da die Protrusion aber eine rotationsfreie Translationsbewegung darstellt, kommt es lediglich zu einer parallelen Verschiebung der registrierten Spuren. „Werden protrusive und retrusive Unterkieferbewegungen [...] ausgeführt, dann kommt der Präzision der Scharnierachsenlokalisierung keine klinische Bedeutung für die Qualität der Axiogramme zu. Die Aufzeichnungen sind in Krümmung und Länge unverändert“ (Bumann und Lotzmann 2000, S.263).

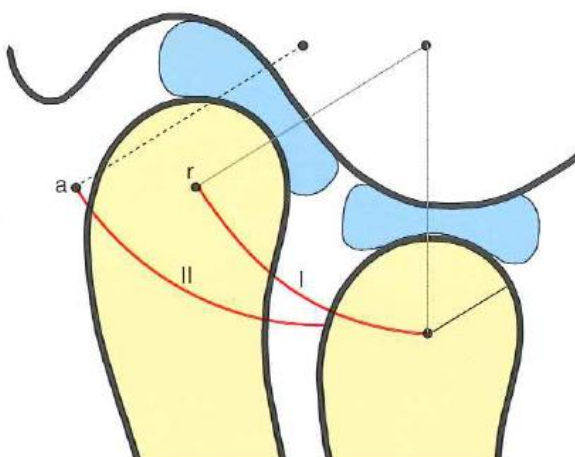



Abb. 23: Die verschobene Protrusionsspur (II) des fehllokalisierten SAP (a) ist mit der Spur (I) der wahren Scharnierachse identisch (modifiziert entnommen aus Bumann und Lotzmann 2000, S.263).

Die Qualität der kondylären Bewegungsspuren wurde mit Hilfe eines Bewertungsbogens erfasst. Die Beurteilung der Qualität erfolgte nach der Regelmäßigkeit bzw. der Harmonie der Spurenverläufe. Den Bewertungsbogen füllten drei erfahrene CMD-Spezialisten der Abteilung Prothetik aus. Vor der Bewertung erfolgte die Einweisung der Prüfer in die genaue Thematik und die Erläuterung der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der Harmonie des Spurenverlaufs.


Die eingescannten Originaletiketten der axiographisch aufgezeichneten Bewegungsspuren wurden tabellarisch untereinander in einer zufälligen Reihenfolge aufgelistet, sodass rechtes und linkes KG zusammen beurteilt werden konnten, aber keine Zuordnung zu einem Patienten möglich war. Auch die Zuordnung, ob die Aufzeichnung mit oder ohne die Schiene erfolgt war, war verblendet und daher nicht ersichtlich.

Für jedes Kiefergelenkspaar (rechte und linke Seite) wurde ein eigener Bewertungsscore von 1 = harmonisch bis 5 = disharmonisch hinzugefügt, den die Prüfer ausfüllen sollten. Die Betrachtung der Bewegungsspuren der Kiefergelenke geschah für die rechte und die linke Seite zusammen, die Beurteilung musste jedoch durch die Abkürzungen R (rechtes KG) und L (linkes KG) gesondert angegeben werden, da in einigen Fällen Unterschiede in der Harmonie zwischen rechtem und linkem KG bestanden. Anschließend wurden alle Werte in eine ‚Excel‘-Tabelle übertragen und die Werte aller Prüfer, mit und ohne Schiene, jedem Patienten zugeordnet.

rechtes KG



linkes KG



Bewertung / Score

(bitte mit R für das rechte und L für das linke KG ausfüllen)

Harmonisch....Disharmonisch				
1	2	3	4	5

Abb. 24: Exemplarischer Auszug aus dem Harmonie-Bewertungsbogen

2.4 Auswertung der Daten

Die gewonnenen Daten mussten zur Filterung der jeweils benötigten Werte und Auswertung in verschiedene Excel-Tabellen (Microsoft Office Excel 2007, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) transferiert werden. Auf die einzelnen Tabellen wird in den jeweiligen Abschnitten verwiesen und sie können im Anhang eingesehen werden.

2.4.1 Auswertung des Bewegungsumfangs

Zur Auswertung des Bewegungsumfangs des Patienten mit und ohne eingesetzte Schiene, wurden die Längenwerte [mm] der ersten Messung des Photoshop-Messlineals (vom SAP zum Endpunkt der maximalen Protrusionsbewegung) in eine neue Excel-Tabelle exportiert.

Die Daten konnten mit Hilfe des arithmetischen Mittels auf zwei Werte pro Patient reduziert werden, sodass folgende Werte resultierten:

- Bewegungsumfang als Länge [mm] der maximalen Protrusion **mit** Schiene
- Bewegungsumfang als Länge [mm] der maximalen Protrusion **ohne** Schiene

Das arithmetische Mittel, der Mittelwert oder Mean, gibt die Summe aller Messwerte dividiert durch die Anzahl der Werte an. Dadurch erfolgte die Zusammenfassung der Werte des rechten und linken KGs und ein Mittelwert der Bewegungsspurlänge pro Patient.

Zur Beurteilung, ob sich der Bewegungsumfang bzw. die Länge der Bewegungsspur zwischen mit und ohne eingesetzte Schiene unterscheidet, wurden für jeden Patienten die Werte ohne Schiene von den Werten mit Schiene subtrahiert. Mit der Differenz aus den beiden Werten konnte die Hypothese aufgestellt werden, dass kein Längenunterschied zwischen mit und ohne Schiene, also keine Differenz von Null vorliegt.

Der statistische Einstichproben-t-Test ermittelte die Signifikanz der aufgestellten Nullhypothese. Dieser Signifikanztest aus der mathematischen Statistik überprüfte anhand des Mittelwertes einer Stichprobe, ob der Mittelwert der betrachteten Werte (hier: Differenz zwischen mit und ohne Schiene) mit einem vorgegebenem Wert (in diesem Fall = 0) übereinstimmte bzw. ob dieser kleiner oder größer war.

Der Einstichproben-t-Test prüfte in diesem Fall die Nullhypothese, die besagte, dass der Mittelwert der betrachteten Werte gleich dem vorgegebenen Wert (=0) war. Lag nun der vorgegebene Wert (= 0) nahe dem Mittelwert der Stichprobe, dann lag der vorgegebene Wert auch nahe dem Mittelwert der betrachteten Werte. Die Nullhypothese konnte somit nicht abgelehnt werden.

Wie signifikant diese Differenz von Null war, gab der Test mit dem Signifikanzwert p an. Der p -Wert dient der Auswertung statistischer Tests und nimmt Zahlen zwischen 0 und 1 an, weil er eine Wahrscheinlichkeit, nämlich die Irrtumswahrscheinlichkeit angibt. Er wird durch die gezogene Stichprobe bestimmt und gibt an, wie wahrscheinlich es ist, ein solches Stichprobenergebnis zu erhalten, wenn die Nullhypothese wahr ist. Mit dem p -Wert wird demnach angegeben, wie extrem das Ergebnis ist, denn je kleiner der p -Wert (bis 5%), desto mehr spricht das Ergebnis gegen die Nullhypothese, also dass hier die Differenz verschieden von Null ist. Resultiert ein großer p -Wert (>5%), wird die Nullhypothese bestätigt und es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen dem Mittelwert der Stichprobe und der Nullhypothese (= 0).

Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert)	Bedeutung
$p > 0,05$ (5%)	kein signifikanter Unterschied von Null
$p \leq 0,05$	signifikanter Unterschied
$p \leq 0,01$ (1%)	hochsignifikanter Unterschied

Tab. 4: Bedeutung des p -Wertes

2.4.2 Auswertung der Bewegungsspurenqualität

Die Beurteilung der Harmonie der Axiogrammverläufe erfolgte mit Hilfe eines Scores. Drei Prüfer bewerteten unabhängig voneinander die Bewegungsspuren mit einer Skala von 1 = harmonisch bis 5 = disharmonisch. Beide Kiefergelenkseiten wurden einzeln und jeweils mit und ohne eingesetzte Schiene bewertet, sodass sich für jeden Patienten zwölf Werte ergaben (3 Prüfer x 2 Seiten (rechts/links) x 2 Schienen (mit/ohne)).

Zunächst musste der Median für jeden Prüfer einzeln über beide Seiten (re/li) erhoben werden, um eine Reduktion auf zwei Werte je Patient und Prüfer (mit und ohne Schiene) zu erhalten.

Der Median ist ein Mittelwert für Verteilungen in der Statistik. Sortiert man eine Anzahl von Werten nach Größe, ist der Median die Zahl, die an mittlerer Stelle steht. Der Vorteil im Vergleich zum arithmetischen Mittel (Mittelwert) ist, dass er sich robuster gegenüber extrem abweichenden Werten (Ausreißern) verhält. Wenn eine gerade Anzahl von Werten vorliegt, wie in diesem Fall, wird der Median als Mittelwert der beiden mittleren Zahlen bestimmt.

Zur Beurteilung, ob die Prüferbewertungen zusammengefasst werden können oder ob eine zu starke Streuung zwischen den Beurteilungen der einzelnen Prüfer besteht, wurde die Maßzahl Cohens Kappa (κ) angewendet. Dieses statistische Maß wurde 1960 von Cohen für die Übereinstimmung der Bewertung von zwei Prüfern vorgeschlagen. Die mathematische Gleichung für Cohens Kappa lautet:

$$\kappa = (p_0 - p_c) / (1 - p_c)$$

Dabei ist p_0 der gemessene Übereinstimmungswert der beiden Prüfer und p_c die zufällig erwartete Übereinstimmung. Wenn die Prüfer in allen Urteilen übereinstimmen ist $\kappa = 1$. Lassen sich hingegen nur Übereinstimmungen zwischen den Prüfern feststellen, die mathematisch dem Ausmaß des Zufalls entsprechen, ist $\kappa = 0$.

Es gibt verschiedene Interpretationsansätze für den κ -Wert (in diesem Fall als Simple Kappa bezeichnet). Landis und Koch (1977) schlagen dabei folgende Werte für die Beurteilung der Reliabilität vor:

$\kappa = 0,00 - 0,20$	geringe Reliabilität
$\kappa = 0,21 - 0,40$	ausreichende Reliabilität
$\kappa = 0,41 - 0,60$	mittelmäßige Reliabilität
$\kappa = 0,61 - 0,80$	beachtliche Reliabilität
$\kappa = 0,81 - 1,00$	(fast) perfekte Reliabilität

Der Simple-Kappa-Wert sollte also nahe 1 liegen, um eine große Übereinstimmung zwischen den beiden Prüfern annehmen zu können.

Anschließend wurde aus den zwei Median-Werten pro Patient (mit/ohne Schiene) der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben durchgeführt, der feststellt, ob Unterschiede in beiden Gruppen bestehen und ob diese Differenzen signifikant waren. Dafür musste eine Hypothese aufgestellt werden, z.B.: „Die Werte der ersten Stichprobe (mit Schiene) sind kleiner als die Werte der zweiten Stichprobe (ohne Schiene)“.

Der Wilcoxon-Test ist ein nichtparametrischer statistischer Test, der anhand von zwei verbundenen (gepaarten) Stichproben die Übereinstimmung der zentralen Tendenz der betrachteten gepaarten Werte ermittelt. Er kommt zur Anwendung, wenn nicht nur die Richtung der Differenzen (in Form des Vorzeichens), sondern auch die Größe der Differenz zwischen den gemessenen verbundenen Werten berücksichtigt werden sollen. Der Wilcoxon-Test ermittelt einen p-Wert, der angibt, wie signifikant die Differenz zwischen den beiden verbundenen Stichproben ist bzw. wie signifikant die Aussage der aufgestellten Hypothese ist. Ist der p-Wert $\leq 0,05$ wird die Hypothese bestätigt, liegt er darüber ($p > 0,05$) ist die Aussage der Hypothese nicht signifikant und damit nicht reproduzierbar.

2.4.3 Auswertung der Steigung der Axiogramm-Segmente

Zur Ermittlung der Steigung in den drei Segmenten initial, medial und terminal der Bewegungsspuren wurden zunächst die Werte der Winkel beider KG-Seiten des Patienten (re/li) als Mittelwert mit Hilfe von Excel zusammengefasst. Dadurch resultierten für jeden Patienten sechs Werte: mit und ohne Schiene in den drei Segmenten (initial, medial, terminal).

Die Darstellung möglicher Unterschiede zwischen den Winkel-Mittelwerten mit und ohne Schiene in den Segmenten initial, medial, terminal erfolgte mit Hilfe einer Graphik, die die Mittelwerte der Winkel in den einzelnen Segmenten als 95%iges Konfidenzintervall veranschaulicht.

Ein Konfidenzintervall macht eine Aussage über die Präzision der Lageabschätzung eines Parameters, wie in diesem Fall dem Mittelwert. Fände eine beliebig häufige Wiederholung desselben Versuchs statt, ist das 95%ige Konfidenzintervall der Bereich, der zu 95% die wahre Lage des Parameters einschließt.

Die Graphik der Konfidenzintervalle der einzelnen Segmente zeigt, dass der Einfluss mit oder ohne Schiene zwar insgesamt vorhanden, aber nicht in jedem Segment das gleiche Ausmaß erzielt.

Die Werte wurden zunächst in einer Varianzanalyse für verbundene Daten in Abhängigkeit gesetzt, sodass ermittelt werden konnte, ob die Wechselwirkung zwischen mit und ohne eingesetzte Schiene insgesamt als signifikant bewertet werden konnte.

Die Varianzanalyse (ANOVA) ist ein statistisches Verfahren, mit dem untersucht werden kann, ob und wie sich die Erwartungswerte der abhängigen Zielvariablen (Größe des Winkels) in verschiedenen Gruppen (Schiene und Segment) unterscheiden. Das Verfahren testet also, ob das Streuungsmaß (Varianz) zwischen den Gruppen größer ist als innerhalb einer Gruppe. Dadurch kann beurteilt werden, ob die Gruppeneinteilung sinnvoll ist bzw. ob sich die Gruppen signifikant unterscheiden. Die zweifaktorielle ANOVA, die in diesem Fall zur Anwendung kam, berücksichtigt zur Ermittlung der Zielvariablen zwei Faktoren (Schiene und Segment) und deren Unterteilung, die sog. Faktorstufen (Schiene: mit/ohne, Segment:

initial/medial/terminal). Entsprechend der Kombination bzw. Wechselwirkung der Faktorstufen der beiden Faktoren, wird die Anzahl der Gruppen (hier: 2 Schienen (mit/ohne) x 3 Segmente = 6 Gruppen) ermittelt, in denen jeder der 30 Patienten statistisch untersucht wird. Der p-Wert der Analyse gibt an, ob der ermittelte Unterschied signifikant ist (Bedeutung s.o.).

Da durch die Graphik der Konfidenzintervalle der einzelnen Segmente zu sehen war, dass der Einfluss mit oder ohne Schiene nicht in jedem Segment den gleichen Effekt bzw. signifikanten Unterschied erzielte, wurde zusätzlich eine Subgruppenanalyse mit Hilfe der zweifaktoriellen ANOVA durchgeführt. Damit konnte erfasst werden, ob in jedem einzelnen Segment ein signifikanter Unterschied zwischen mit und ohne Schiene bestand.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse des Bewegungsumfangs

Die Beurteilung, ob sich die Länge der maximalen Protrusionsspur und damit der Bewegungsspielraum im KG durch die Schiene erweitert, ermittelt der Einstichproben-t-Test.

Dafür erfolgt für jeden Patienten die Subtraktion der Längenwerte ohne eingesetzte Schiene von den Werten mit Schiene. Mit der Differenz aus den beiden Werten wurde die Hypothese aufgestellt, dass kein Längenunterschied zwischen mit und ohne Schiene besteht, also keine Differenz von Null vorliegt.

- Differenz aus: mit Schiene – ohne Schiene
- Hypothese: Differenz ist nicht verschieden von 0, also kein Längenunterschied (Nullhypothese)
- Daraus folgt: wenn Diff. > 0 (positiv), existiert mit Schiene eine Längenzunahme

Die Differenz zwischen den Längenwerten mit und ohne Schiene wird zunächst als Histogramm mit einem Konfidenzintervall von 95% dargestellt.

Ein Histogramm ist eine graphische Darstellung der vorliegenden Häufigkeiten und deren Verteilung. Die Daten, die auf der x-Achse aufgetragen werden, müssen in angrenzende Intervalle, sogenannte Klassen eingeteilt werden. In diesem Fall wurden Ein-Millimeter-Schritte zwischen -4 und $+4$ gewählt, da die am stärksten von Null abweichenden Werte $-3,89$, bzw. $+3,53$ betragen.

Die Flächeninhalte der einzelnen Balken (Rechtecke) sind proportional zur jeweiligen Klassenhäufigkeit. Da hier für die einzelnen Klassen eine konstante Breite gewählt wurde, entspricht die Höhe der Rechtecke der Häufigkeitsdichte.

Der Verlauf der Häufigkeitsverteilung und dessen Streuung um Null kann so graphisch dargestellt werden.

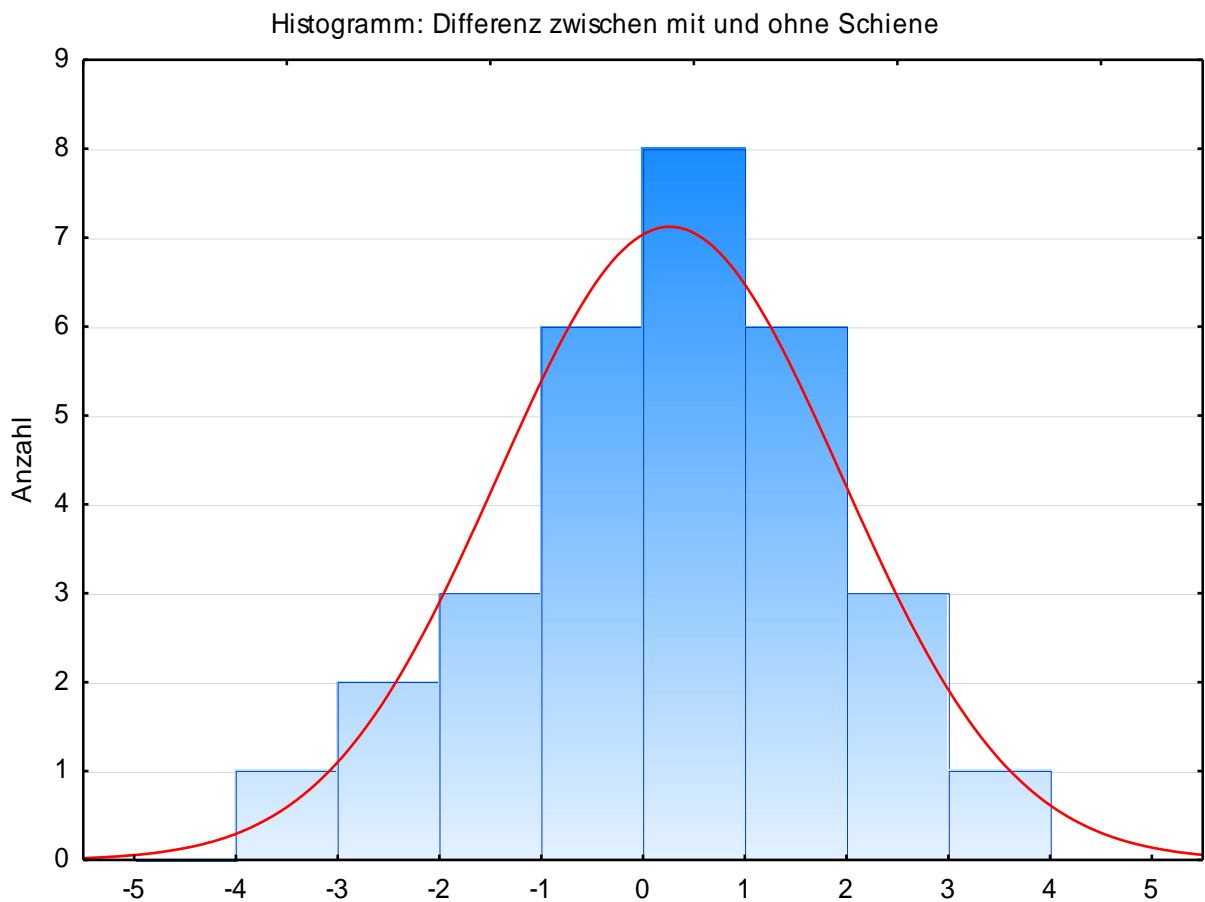


Abb. 25: Histogramm der gemittelten Differenzen zwischen mit und ohne Schiene

Das Histogramm zeigt eine leichte Verschiebung der Werte in den positiven Bereich und damit eine Tendenz zu höheren Werten bzw. einer Längenzunahme mit eingesetzter Schiene.

Der Einstichproben-t-Test ergab allerdings, dass der Unterschied zwischen mit und ohne Schiene im Mittel nur bei 0,235 mm (bei einem 95%-Konfidenzintervall von $[-0,392; 0,893]$) liegt. Dazu ergab sich ein p-Wert von 0,449 (44,9%) und somit kein signifikanter Unterschied in der Länge der Bewegungsspuren zwischen mit und ohne Schiene.

Eine Tendenz zur Längenzunahme mit eingesetzter Schiene ist sowohl am Histogramm als auch am positiven Mittelwert erkennbar, jedoch ist dieser Unterschied nicht signifikant.

3.2 Ergebnisse der Bewegungsspurenqualität

Für die Bewertung der Bewegungsspurenqualität musste zunächst erörtert werden, ob die Prüfer eine gute Konsistenz haben, also in ihren Bewertungen zusammengefasst werden können oder ob eine zu große Streuung zwischen den Scores der einzelnen Prüfer besteht.

Mit dem statistischen Maß Cohens Kappa konnte die Reliabilität zwischen den einzelnen Prüfern kontrolliert werden. Die Werte lagen zwischen 0 und 1, wobei die Werte nahe 1 liegen müssen, um eine gute Übereinstimmung zu haben.

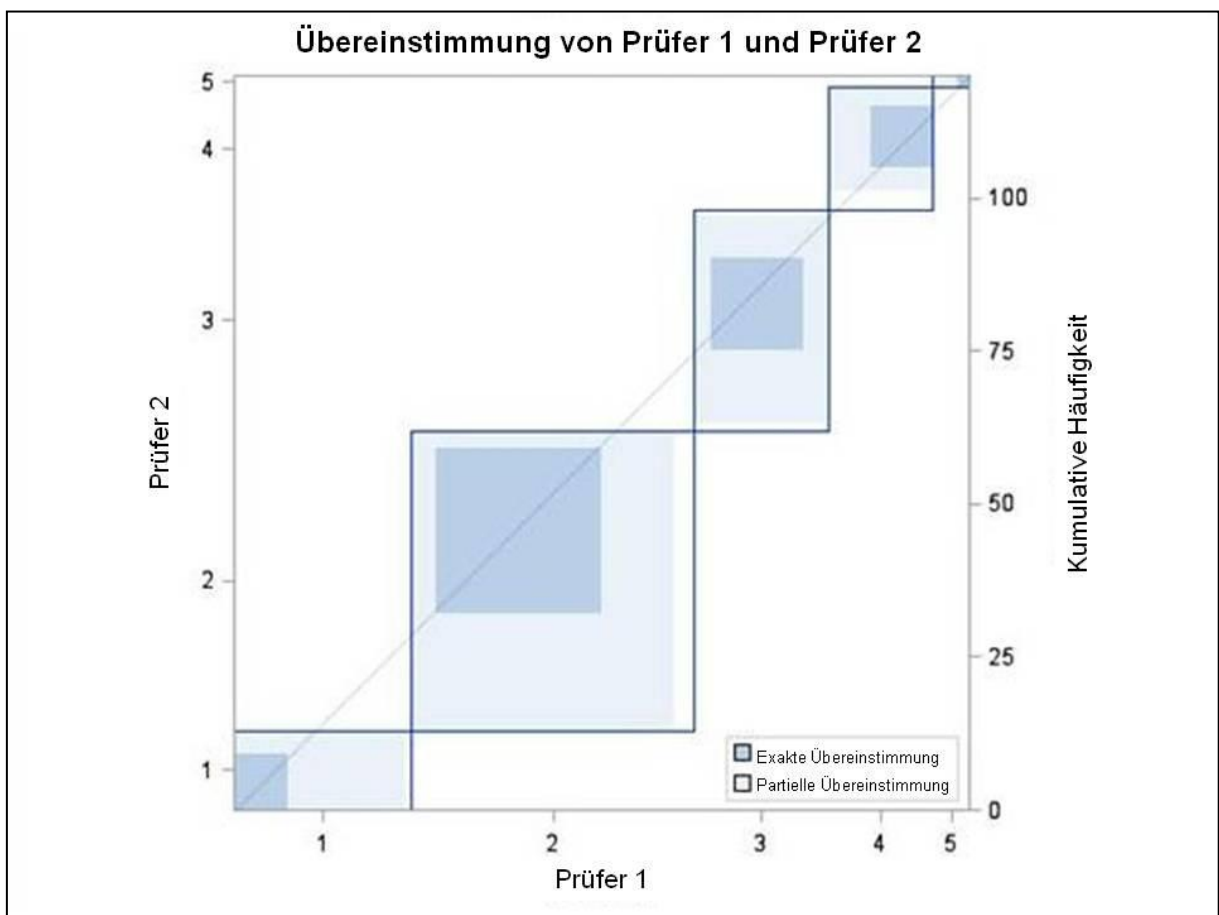


Abb. 26: Darstellung der Reliabilität zwischen Prüfer 1 und Prüfer 2

Für die Übereinstimmung von Prüfer 1 und Prüfer 2 ergibt sich ein Simple-Kappa-Wert von 0,356, also eine ausreichende Übereinstimmung.

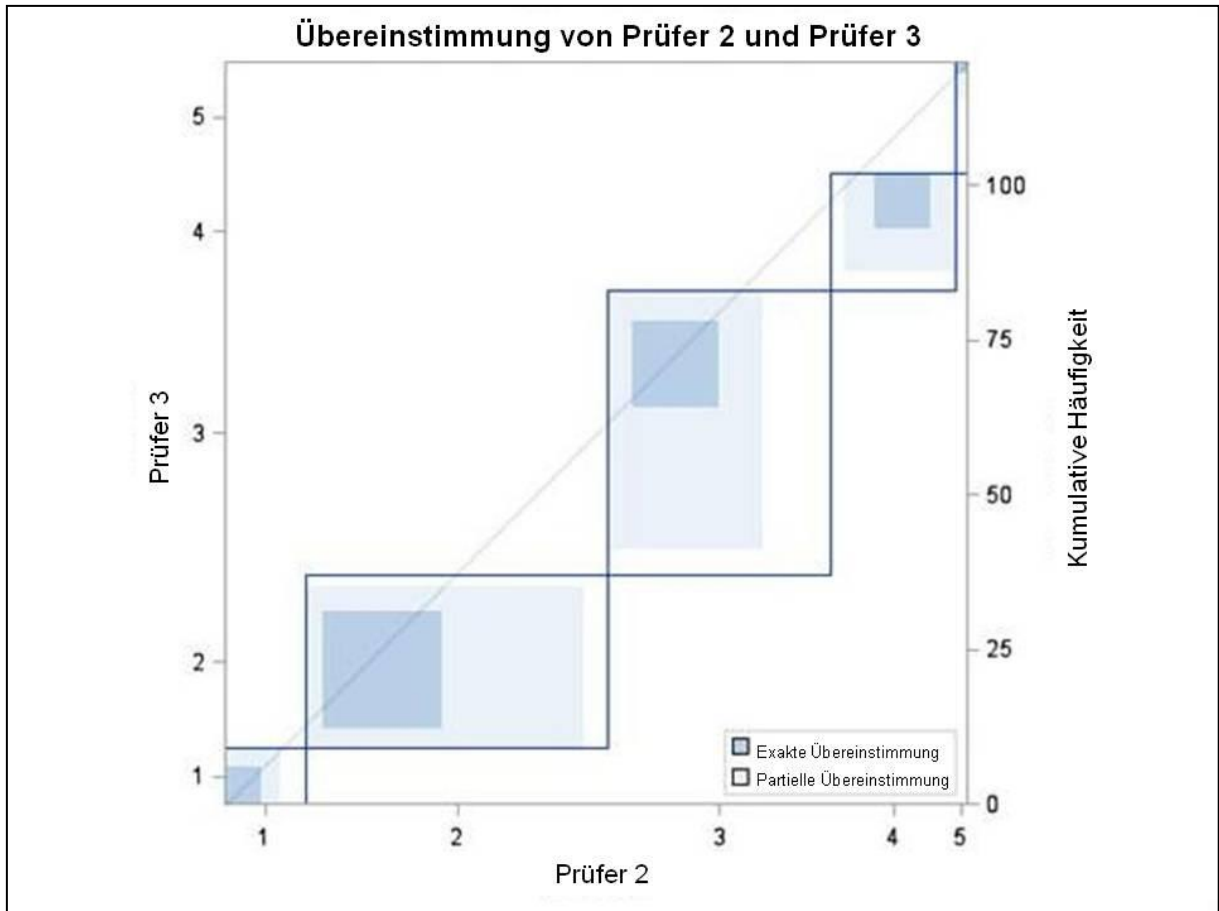


Abb. 27: Darstellung der Reliabilität zwischen Prüfer 2 und Prüfer 3

Die Übereinstimmung zwischen Prüfer 2 und Prüfer 3 kann mit einem Simple-Kappa-Wert von 0,225 zwar auch noch als ausreichend bezeichnet werden, tendierte aber schon zu einer geringen Reliabilität.

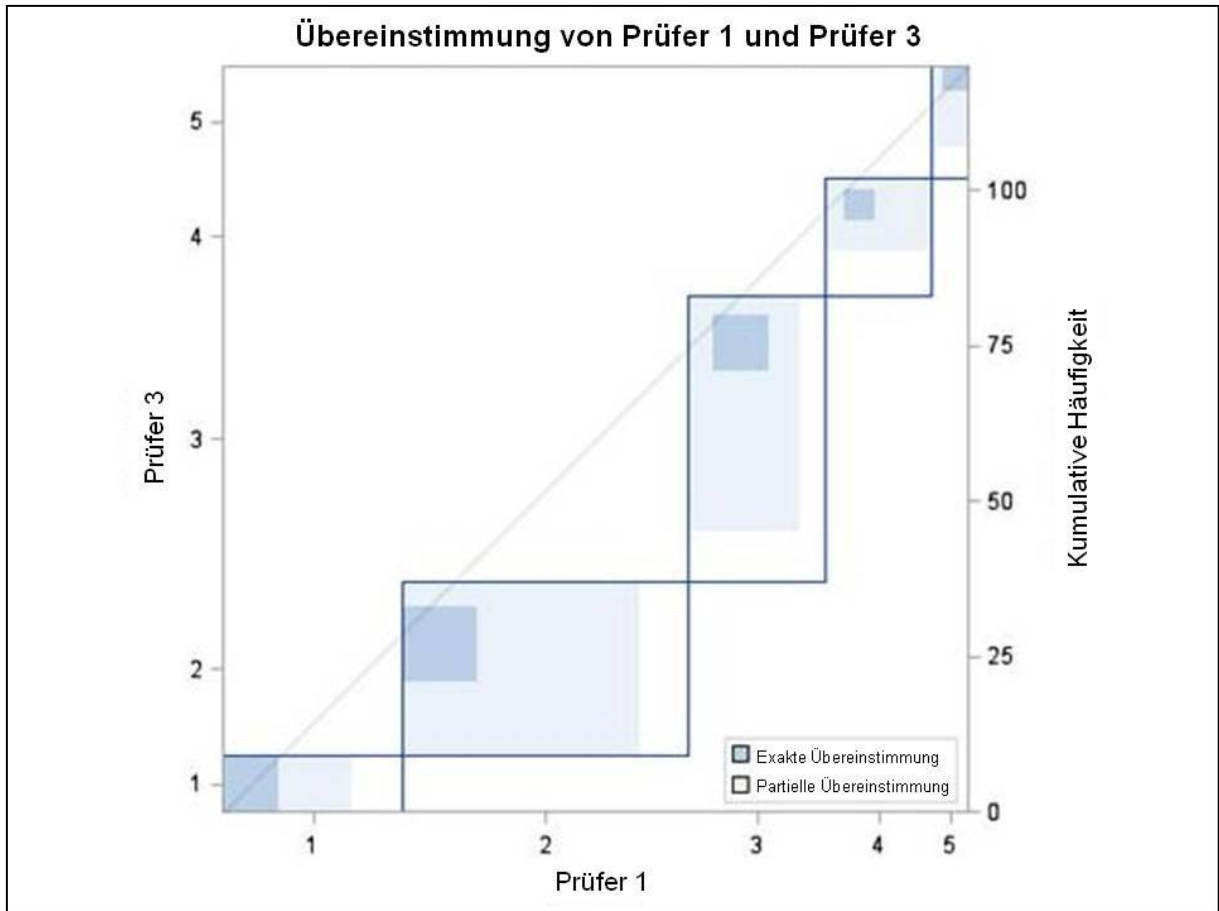


Abb. 28: Darstellung der Reliabilität zwischen Prüfer 1 und Prüfer 3

Die Übereinstimmung zwischen Prüfer 1 und Prüfer 3 kann mit einem Simple-Kappa-Wert von 0,148 nur noch als gering bewertet werden.

Insgesamt ergeben sich kleine Kappa-Werte ($<0,41$), die für eine schlechte Konsistenz zwischen den Prüfern sprechen. Die Prüfer können somit nicht zusammengefasst werden.

Für jeden Prüfer wird zusätzlich der Median über das rechte und linke KG bestimmt, um zu ermitteln, ob für die einzelnen Prüfer ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen mit und ohne Schiene besteht.

Zur Auswertung der Daten wird der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben angewandt. Der resultierende p-Wert beurteilt die Fragestellung, ob die Werte für jeden einzelnen Prüfer mit Schiene signifikant kleiner, also harmonischer, sind als ohne Schiene. Die Bewertungsskala der Prüfer reicht von 1 (harmonisch) bis 5 (disharmonisch). Damit sind kleine Werte als harmonischer zu bezeichnen.

Der Wilcoxon-Test für Prüfer 1 ergibt unterschiedliche Werte bei 26 von 30 Patienten (valid = 26) und einen p-Wert von 0,069 (6,9%). Somit besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Bewegungsspurenqualität mit und ohne Schiene in der Bewertung des 1. Prüfers.

Um die Häufigkeitsverteilung der Daten graphisch darzustellen und zu vergleichen, werden die Daten in einem Boxplot-Diagramm ausgegeben.

Das Boxplot-Diagramm gibt mit seiner Spannweite den gesamten Wertebereich der Daten wieder. Seine Begrenzung bilden der minimale und der maximale Wert.

Innerhalb der Spannweite sind die mittleren 50% aller Werte als Box dargestellt. Die untere Begrenzung der Box bildet das untere 25%-Quartil. Für diesen Wert gilt, dass 25% aller Werte kleiner sind als dieser Wert. Die obere Begrenzung ist das obere 75%-Quartil, über dem weitere 25% der Werte liegen.

Subtrahiert man das 25%-Quartil vom 75%-Quartil, erhält man den Interquartilsabstand, der als Box dargestellt wird. Der Interquartilsabstand ist ein Streuungsmaß in dem die mittleren 50%, also der Großteil aller Werte liegen.

Das Boxplot-Diagramm ermöglicht einen schnellen Vergleich von Häufigkeitsverteilungen in verschiedenen Gruppen (mit Schiene/ohne Schiene) und die Darstellung, zu welchem Wertebereich der Großteil der Werte tendiert.

Der Median über jeden Prüfer in den Gruppen mit Schiene und ohne Schiene ist als kleines, zwischen den Gruppen verbundenes Kästchen in bzw. am Rande der Box abgebildet.

In den ersten beiden Diagrammen wird deutlich, dass die Häufigkeitsverteilung des Großteils der Werte zu kleineren bzw. größeren Werten tendieren kann als der Mittelwert Werteverteilung (Median) anzeigt.

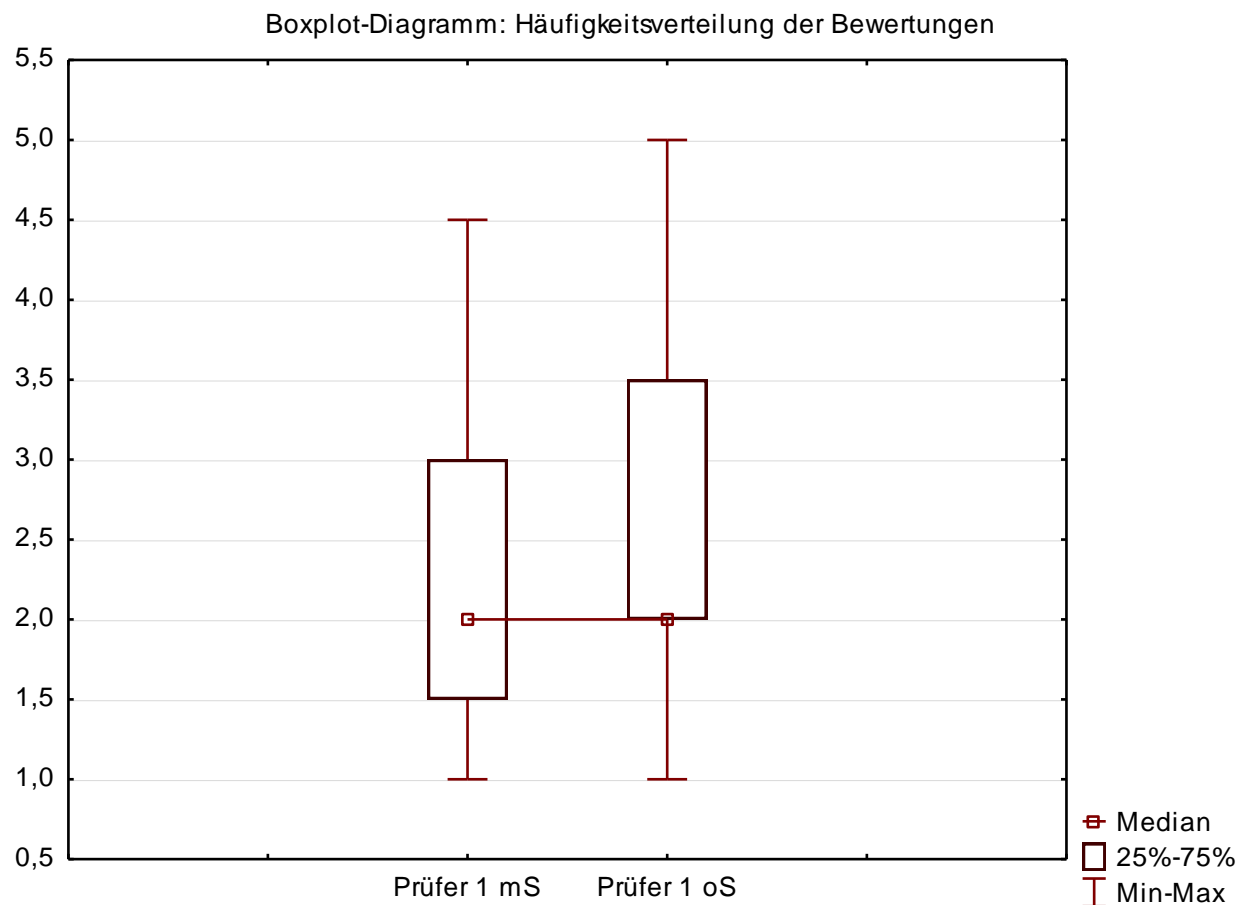


Abb. 29: Boxplot-Diagramm der Mediane über Prüfer 1 für die Gruppen: mit und ohne Schiene

Das Boxplot-Diagramm zeigt, dass mit Schiene (Prüfer 1 mS) die mittleren 50% der Werte im Bereich der niedrigeren, also harmonischeren Werte liegen und somit bei der Verteilung der Werte mit Schiene eine harmonische Tendenz besteht. Zudem existieren nur wenige Werte, die als stark disharmonisch (4 - 5) eingeordnet werden. Die Werte ohne Schiene tendieren hingegen zur Disharmonie. Die Mittelwerte mit und ohne Schiene sind im Diagramm auf gleicher Höhe und entsprechen somit dem Ergebnis des Wilcoxon-Tests.

Aus der Graphik lässt sich also eine Tendenz zu harmonischeren Werten mit Schiene ablesen, die jedoch nicht als signifikant zu bewerten ist.

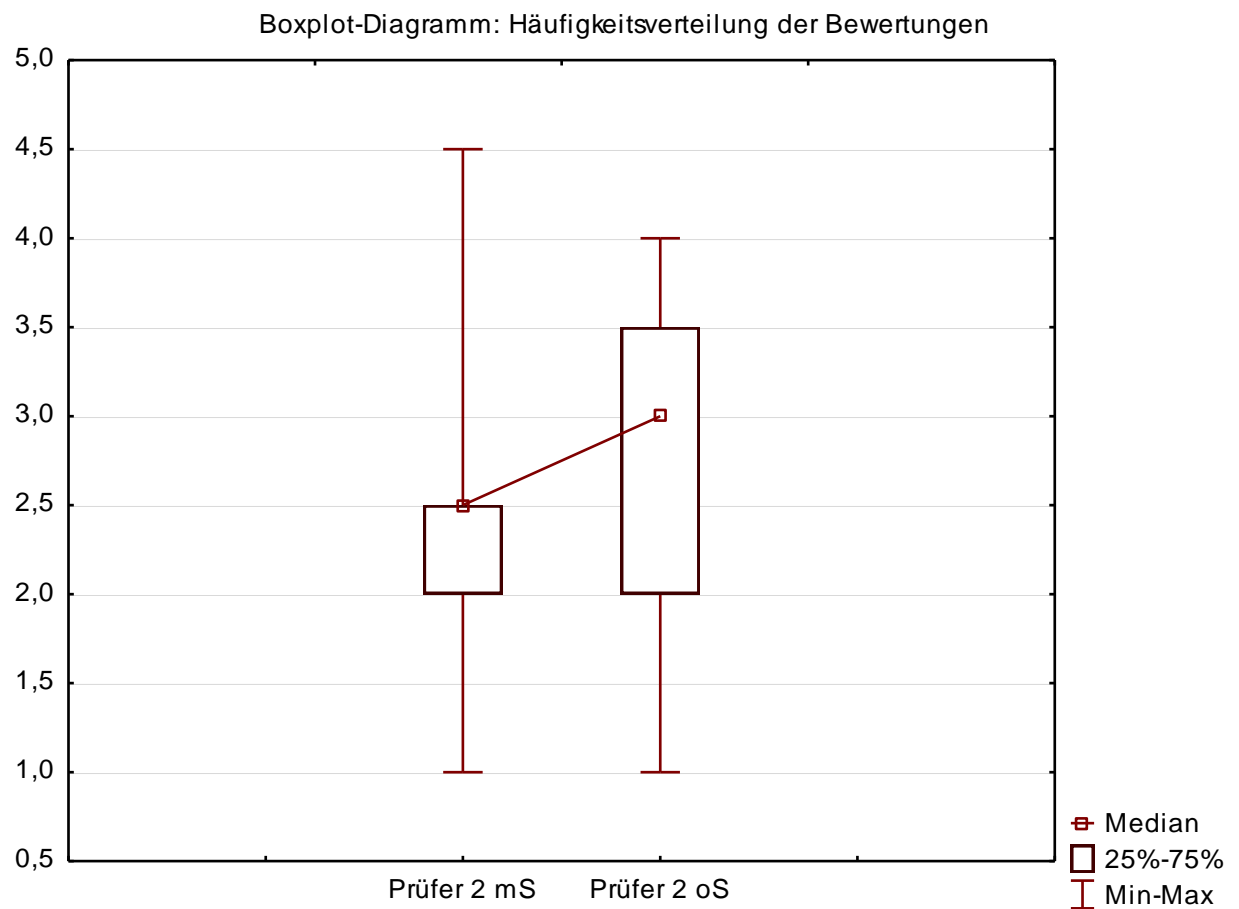


Abb. 30: Boxplot-Diagramm der Mediane über Prüfer 2 für die Gruppen: mit und ohne Schiene

Für den 2. Prüfer resultieren unterschiedliche Werte in beiden Gruppen bei 24 von 30 Patienten (valid = 24) und ein p-Wert von 0,149 (14,9%). Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist damit ebenfalls nicht signifikant.

Das Boxplot-Diagramm lässt jedoch eine eindeutige Tendenz zu kleineren und damit harmonischeren Werten mit eingesetzter Schiene erkennen. Die mittleren 50% der Werte mit Schiene liegen deutlich niedriger als ohne Schiene und auch der Mittelwert der beiden Gruppen liegt mit Schiene niedriger als ohne Schiene. Eine leichte Tendenz zu harmonischeren Werten mit Schiene ist auch in diesem Diagramm ersichtlich.

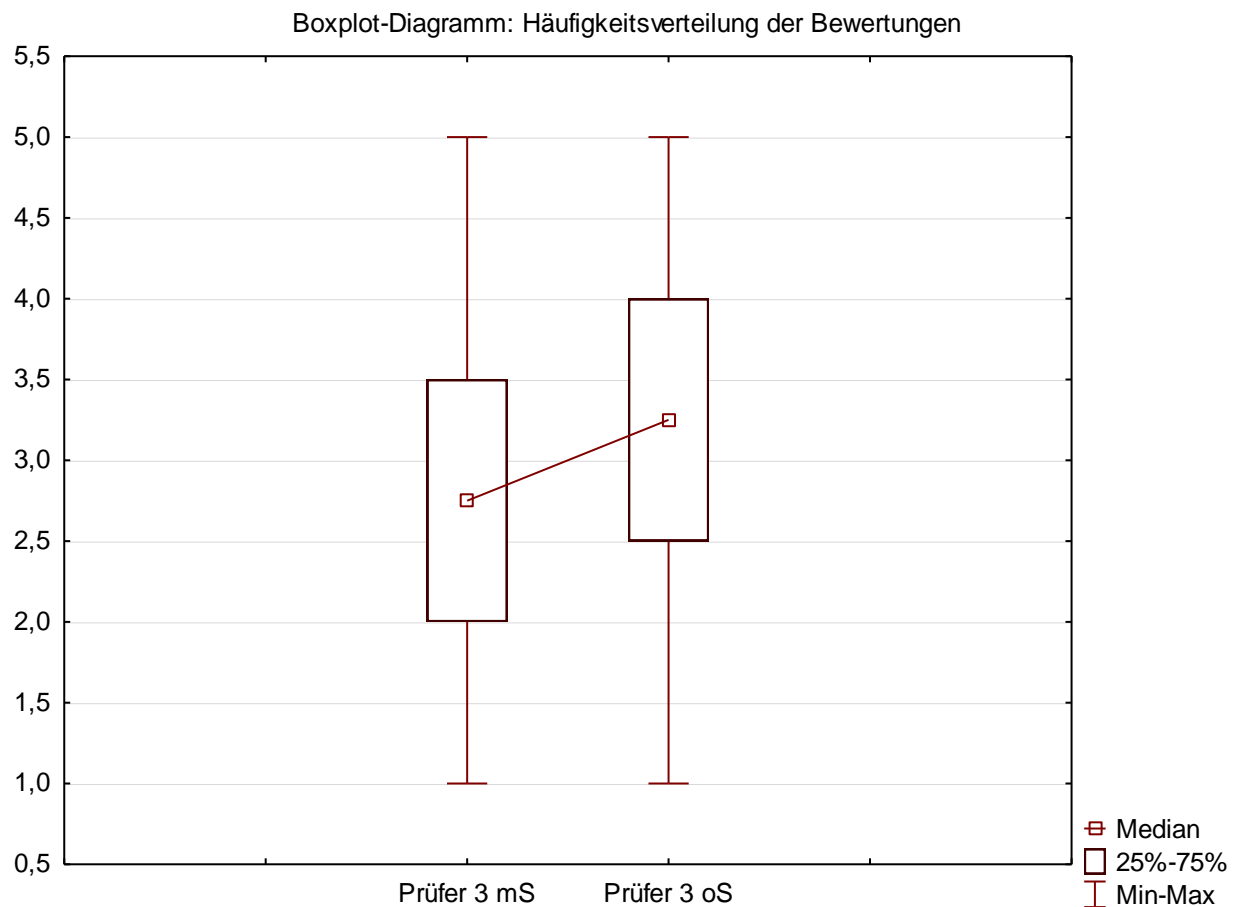


Abb. 31: Boxplot-Diagramm der Mediane über Prüfer 3 für die Gruppen: mit und ohne Schiene

Bei Prüfer 3 sind 26 von 30 Werten verschieden (valid = 26), wobei der Unterschied zwischen mit und ohne Schiene nicht signifikant ist ($p = 0,091$ (9,1%)).

Die Verteilung der Werte im Boxplot-Diagramm ist auch bei Prüfer 3 mit einer Tendenz zu kleineren Werten mit Schiene festzustellen.

Zusammenfassend lässt sich bei allen drei Prüfern eine Tendenz zu harmonischeren Werten mit eingesetzter Schiene feststellen, die jedoch bei keinem Prüfer als signifikant bewertet werden kann.

3.3 Ergebnisse der Steigung in den Axiogramm-Segmenten

Die Frage, ob eine signifikante Wechselwirkung zwischen mit und ohne eingesetzte Schiene in den einzelnen Segmenten besteht, wird zunächst mit einer Graphik veranschaulicht.

Die Auftragung der Mittelwerte der jeweiligen Segmente mit der Streuung um den Mittelwert als 95%iges Konfidenzintervall zeigt, dass ein Unterschied zwischen den Winkeln in jedem Segment besteht und die Werte mit eingesetzter Schiene generell niedriger liegen. Allerdings sind die Unterschiede bzw. der Effekt mit Schiene nicht in allen Segmenten gleich groß.

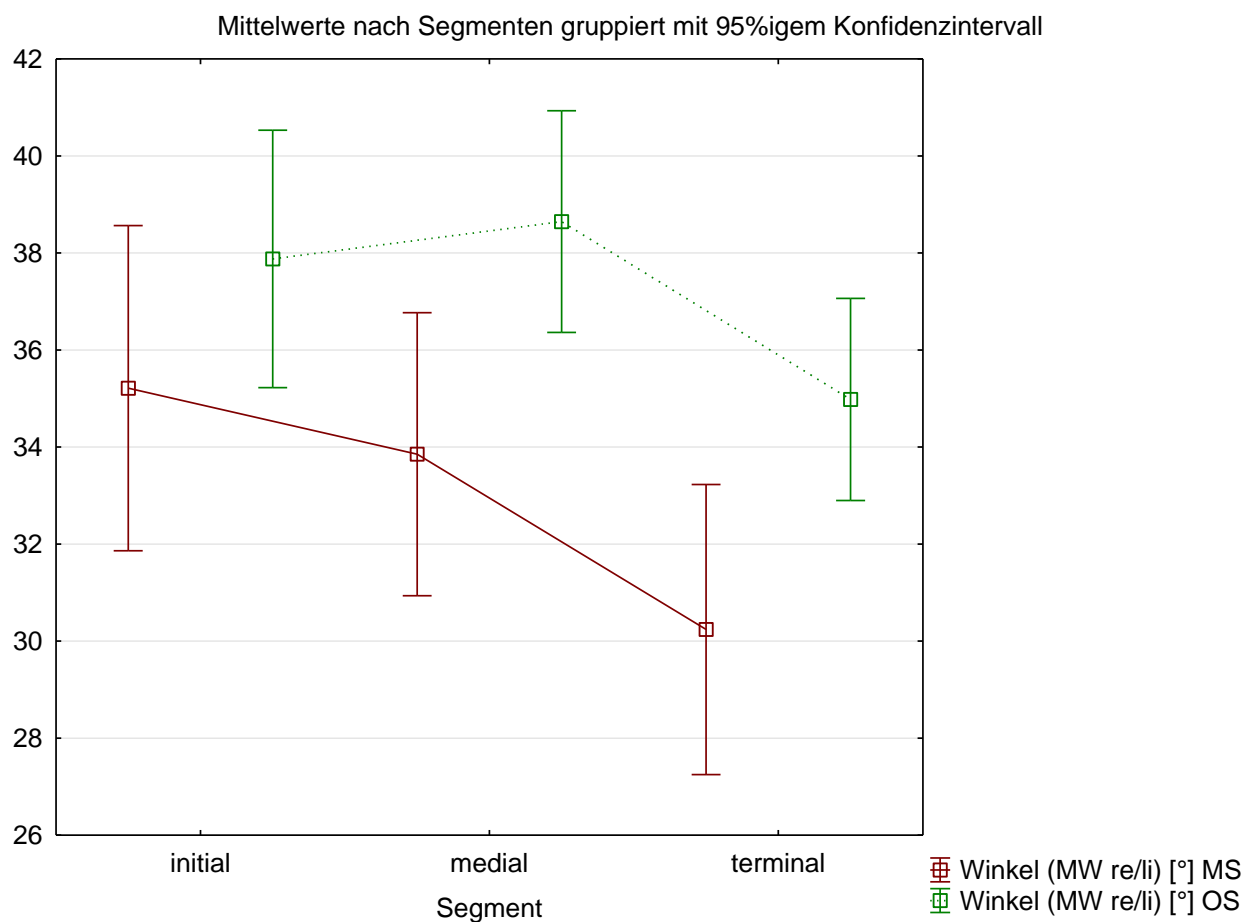


Abb. 32: Darstellung der Mittelwerte der Winkel in den drei Segmenten als Graphik mit Konfidenzintervall (95%).

Im initialen Segment überschneiden sich die Konfidenzintervalle stark, sodass der Unterschied nicht signifikant erscheint. Im medialen und terminalen Segment wirkt der Unterschied zwischen mit und ohne Schiene annähernd gleich groß, die Konfidenzintervalle überschneiden sich hier kaum. Der Verlauf der Graphen ist bei mit und ohne Schiene annähernd gleich, man kann ihn aber nicht als parallel bezeichnen. Das Niveau, auf dem die Werte mit Schiene verlaufen, befindet sich bei geringeren Werten.

Die Werte werden zunächst in einer Varianzanalyse für verbundene Daten in Abhängigkeit gesetzt, sodass ermittelt werden kann, ob die Wechselwirkung zwischen mit und ohne eingesetzte Schiene insgesamt als signifikant bewertet werden kann.

Ob und wie sich die Größe des Winkels in den beiden Faktoren Schiene und Segment unterscheidet und ob dieser Unterschied signifikant ist, kann mit Hilfe der zweifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) ermittelt werden. Die beiden Faktoren und deren Faktorstufen werden in Abhängigkeit gesetzt und damit die Wechselwirkung zwischen Schiene und Segment erfasst. Entsprechend der Kombination bzw. der Wechselwirkung der Faktorstufen ergibt sich die Anzahl von 6 Gruppen (2 Schienen (mit/ohne) x 3 Segmente = 6 Gruppen), in denen jeder der 30 Patienten untersucht wird.

Der gewünschte Effekt, dass die Werte der Winkel ohne Schiene kleiner sind, wird durch die Benennung „kleiner ist besser“ der Fit Statistics eingegeben. Ein kleiner p-Wert bedeutet dadurch nicht nur, dass der Unterschied zwischen mit und ohne Schiene signifikant ist, sondern auch, dass die Werte der Erwartung entsprechend signifikant kleiner sind.

Der p-Wert wird zunächst für alle Segmente ermittelt, um die Frage zu beantworten, ob insgesamt eine signifikante Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren Schiene und Segment besteht. Das Ergebnis ist ein p-Wert von 0,043 (4,3%). Damit besteht ein signifikanter Unterschied bzw. eine Wechselwirkung zwischen Schiene und Segment und das Niveau, auf dem die Werte mit Schiene verlaufen, ändert sich auf kleinere Werte.

Andererseits sagt ein p-Wert von 4,3%, der nicht weit von der 5%-Grenze entfernt liegt, auch aus, dass entweder der Unterschied in allen Segmenten nicht sehr groß ist oder der Unterschied in einem Segment nicht signifikant ist.

Da auch die Graphik der Konfidenzintervalle der einzelnen Segmente zeigt, dass der Einfluss mit oder ohne Schiene nicht in jedem Segment den gleichen Effekt hat, erfolgt zusätzlich eine Subgruppenanalyse mit Hilfe der zweifaktoriellen ANOVA.

Die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen Schiene und Segment in den einzelnen Segmenten bestätigt den Verdacht.

Der p-Wert im initialen Segment beträgt 0,242 (24,2%). Hier besteht also kein signifikanter Unterschied bzw. keine Wechselwirkung zwischen mit und ohne Schiene und damit keine signifikante Verkleinerung des Winkels mit eingesetzter Schiene.

Der p-Wert im medialen und terminalen Segment beträgt hingegen 0,011 (1,1%) und 0,005 (0,5%), wodurch zu erkennen ist, dass eine deutliche und eindeutig signifikante Wechselwirkung zwischen Schiene und Segment besteht und der Winkel-Mittelwert mit Schiene signifikant kleiner ist.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Diskussion der Axiographie

Die Axiographie als instrumentelle Funktionsanalyse hat - neben der Artikulatorprogrammierung - die Funktion der Dokumentation und Bewertung von Behandlungsverläufen. Durch die Aufzeichnung der Bewegungsbahnen des Kiefergelenks wird eine visuell-metrische Darstellung der Dynamik der Kiefergelenke ermöglicht. Bei Verwendung von paraokklusalen Löffeln kann auch der Einfluss der Okklusion auf diese Dynamik aufgezeichnet werden (Greiner et al. 2010).

Zu den axiographischen Aufzeichnungsverfahren zählen mechanisch-graphische, elektronische und computergestützte Verfahren. Die elektronischen, computergestützten Systeme bringen einige Eigenschaften mit sich, die die Möglichkeiten der instrumentellen Funktionsanalyse erweitern. Beispiele hierfür sind die automatische Rückrechnung auf die Interkondylardistanz, wodurch die außerhalb des Kiefergelenks aufgezeichneten Bewegungen bei der Unterkieferfunktion, die tatsächlichen Bewegungen im Gelenk verzerrungsfrei wiedergeben können und der Bennett-Winkel bestimmt werden kann. Außerdem können Aussagen über Geschwindigkeit und Beschleunigung der Kondylen bei habituellen oder parafunktionellen Bewegungsabläufen gemacht, digital analysiert und gespeichert werden (Bumann und Lotzmann 2000, Kordaß et al. 2004, Peschke 2005).

Der Mehrwert elektronisch registrierter Unterkieferbewegungen liegt in der mathematischen Berechnung des Scharnierachsenpunktes, also dem Bewegungszentrum der Kondylen und in der Möglichkeit, Geschwindigkeit und Beschleunigungen im Bewegungsablauf zu bestimmen (Bumann und Lotzmann 2000, Freesmeyer et al. 1984, Lochmiller et al. 1991). Die Beurteilung der Geschwindigkeit und Beschleunigung der Kondylenbewegung ist jedoch kein Bestandteil der hier vorliegenden Arbeit.

Als aktuelle Weiterentwicklung der Registrierung von Kondylenbewegungen wird oft die Aufzeichnung mittels *real-time*-MRT als nicht invasives bildgebendes Verfahren bezeichnet, wie es in Studien von Zhang et al. 2011 und Wiegand 2012 durchgeführt wurde. Diese Technik ermöglicht die tatsächlichen individuellen Bewegungsmuster eines Patienten aufzuzeichnen (Zhang et al. 2011, Wiegand 2012). Bei einer hohen Fallzahl wie in dieser Studie ist eine solche Methodik jedoch als zu zeit- und kostenaufwendig zu bewerten. In einer Studie von Beer et al. wird zudem die Genauigkeit der dynamischen Bildgebung der Axiographie mit einer *Cine*-MRT-Aufnahme gleichgestellt (Beer et al. 2004).

In einer weiteren Studie verglichen Schwahn et al. die Diagnosen, die mit mechanischer und elektronischer Axiographie getroffen wurden und verifizierten die Diagnosen mit Hilfe des MRTs. Die Diagnose der mechanischen Axiographie konnten in 32 von 46 Fällen bestätigt werden, die der elektronischen Axiographie sogar in 24 von 32 Fällen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass insbesondere bei der elektronischen Axiographie und dem MRT eine gute Übereinstimmung der Diagnosen bestand. Die Aussagekraft der mechanischen Axiographie wurde als ebenfalls gut, aber in Bezug auf die Horizontalebene und der Auflösung ihrer Aufzeichnung als eingeschränkt beurteilt (Schwahn et al. 1996).

An der Universitätsklinik Göttingen wird die instrumentelle Funktionsanalyse mit dem mechanisch-graphischen Registriersystem der Firma SAM (Axiograph) durchgeführt. Da die elektronische Aufrüstung dieses Systems sehr kostenintensiv ist und aus der Literatur ersichtlich war, dass eine elektronische Aufzeichnung für die Ergebnisse dieser Studie keinen entscheidenden Mehrwert liefern würden, erfolgte die Aufzeichnung der Bewegungsspuren der Kondylen mechanisch-graphisch. Es ist darauf hinzuweisen, dass durch die instrumentelle Funktionsanalyse in dieser Studie keine Diagnosestellung oder Einstufung der Gelenkschädigung erfolgen soll. Die Aufzeichnung der Bewegungsspuren des Kondylus dient hier dem direkten Vergleich der okklusions- und schienengeführten Kondylenbewegung bzw. der Darstellung möglicher Unterschiede von bestimmten Spurenparametern.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Spurenparameter stellte sich die Frage nach geeigneten und in der Literatur empfohlenen Parametern. Dazu werden Parameter

der Bewegungsspuren (Länge, Harmonie und Steigung) aus Studien von Luckenbach und Freesmeyer (1985) und Zimmer et al. (1989) herangezogen. Jähnig und Kubein bestimmten 1984 den Ablauf des reziproken Knackens mittels Axiographie. Sie beschrieben eine regelrechte, harmonische Spur als störungsfreie, physiologische Bewegung. Eine Störung im Gelenk stellte sich eindeutig und reproduzierbar auf den Protrusionsspuren als Abknicken bzw. Sprünge dar (Jähnig und Kubein 1984).

Luckenbach und Freesmeyer kontrollierten in einer Studie 1985 den Therapieerfolg einer Aufbissschiene mit Hilfe eines elektronischen Registriersystems. Ohne eingegliederte Aufbissschiene wurde ein diskoordinierter, unharmonischer Bewegungsverlauf aufgezeichnet. Mit Schiene sollten die Bewegungen koordiniert und harmonisch, also physiologisch verlaufen, damit die Wirkung der Schiene als erfolgreich beurteilt wurde (Luckenbach und Freesmeyer 1985). Auch Bias beschrieb die physiologische sagittale Kondylenbahn als kaudal konvexe Spur, die keine abrupten Richtungsänderungen bzw. Sprünge aufweist (Bias 2010). Wie bereits oben beschrieben, kommt es in einem funktionell gestörten Kiefergelenk durch diskoordinierte Muskeltätigkeit und strukturell provozierte Veränderungen der Diskus-Kondylus-Beziehung zu Veränderungen der Kondylenbewegung, was sich durch eine Abweichung von den gleichmäßigen, physiologischen Bahnen darstellen kann (Schwahn et al. 1996, Meyer 1993).

Alle teilnehmenden Probanden gaben eine subjektive Verbesserung ihrer individuellen CMD-Symptomatik durch die bimaxilläre Kalottenschiene an. Mit Hilfe der Axiographie als posttherapeutische Untersuchung wird in dieser Studie versucht, den subjektiv empfundenen Therapieerfolg darzustellen und damit zu objektivieren, wie es in der Studie von Luckenbach und Freesmeyer 1985 erfolgt ist. Diese Studie erhebt nicht den Anspruch, eine Aussage über den qualitativen oder quantitativen Rückgang der individuellen Beschwerden zu machen. Die Axiographie soll hier den Einfluss der bimaxillären Kalottenschiene auf die Kondylenbewegung gegenüber der okklusionsgeführten Bewegung darstellen. Aus diesem Grund wird auch keine Selektion der Ätiologie der CMD-Symptomatik durchgeführt, sondern sowohl myogene als auch arthrogene Ursachen einbezogen.

Bei der Bestimmung des Scharnierachsenpunktes tritt, wie bereits oben beschrieben, die Problematik auf, dass dies in ca. 50% der Fälle nicht exakt möglich war. In der Literatur ist beschrieben, dass bei Patienten mit kranio-mandibulären Symptomen die Bestimmung der exakten Scharnierachse oft unmöglich ist (Wirth 1996). Ein „Goldstandard“ zur Lokalisation existiert nicht, auch wenn Kordaß und Hugger versuchten, den SAP mit Hilfe der MRT zu ermitteln. Der Kosten-Nutzen-Faktor bleibt hier zu diskutieren (Kordaß und Hugger 1993). Die Auswirkungen eines nicht exakt bestimmbar SAP auf Protrusion, Öffnungsbewegung und Bennettwinkel wurden in verschiedenen Studien untersucht und diskutiert. Aus den Studien ist ersichtlich, dass sich sagittale, rein translatorische Bewegungen wie Pro- und Retrusion am resistantesten gegenüber einer Fehllokalisierung verhalten (Bumann und Lotzmann 2000, Lotzmann 1988, Lotzmann 1999, Morneburg und Pröschl 1998, Paak et al. 2000). Da in der vorliegenden Studie bei ca. 50% der Patienten die exakte SAP-Lokalisation nicht möglich ist, wird auf die Interpretation der durchgeführten Öffnungs- und Schließbewegung verzichtet und die Beurteilung der Bewegungsbahnen auf die sagittalen Unterkieferbewegungen (Pro- und Retrusion) begrenzt.

Paraaxiale Verzeichnungen haben auf rotationsfreie, also rein translatorische Bewegungen, wie es bei der Protrusion und Retrusion der Fall ist, einen zu vernachlässigenden Einfluss. Die mehrfach ausgeführten Bewegungsbahnen fächern sich zwar auf, geben aber eine parallele Verschiebung wieder und lassen somit eine Beurteilung der in Krümmung und Länge unveränderten Bahnen zu (Stelzenmüller und Wiesner 2010, Bumann und Lotzmann 2000, Jähniq und Kubein 1984). Allerdings folgt aus der nicht exakten Lokalisierbarkeit des SAP eine nicht eindeutige Referenzebene. Die Achsorbitalebene, die als geeignete Referenzebene für axiographische Untersuchungen gilt (Bumann und Lotzmann 2000, Mack et al. 1995, Slavicek 1988), definiert sich durch die zwei Punkte: SAP und Verlängerung des Infraorbitalpunktes. Durch die genaue Positionierbarkeit der Etiketten auf den Schreibplatten muss der Infraorbitalpunkt, der durch Ertasten bestimmt wird, nur ein Mal nach Abschluss beider Aufzeichnungen ermittelt werden und kann auf beide Etiketten (Axiogramm mit und ohne Schiene) identisch übertragen werden. Hierdurch können Ungenauigkeiten durch unterschiedlich bestimmte Infraorbitalpunkte zwischen beiden Messungen an einem Patienten nahezu ausgeschlossen werden. Bei Auffächerung der Spuren wird der Startpunkt der ersten Protrusionsspur als

Konstruktionspunkt gewählt. Durch Parallelverschiebung der Achsorbitalebene durch den Startpunkt der zweiten und dritten Protrusionsspur kann die Referenzebene für alle Spuren ermittelt werden. Es kann jedoch nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass die unterschiedlichen Bezugsebenen zu minimalen Abweichungen bei der Bestimmung der Winkel geführt haben.

Zur Bestimmung des sagittalen Kondylenbahnneigungswinkels (SKN) muss der Winkel nach 10 mm auf der Protrusionsspur zur Achsorbitalebene ermittelt werden (Bumann und Lotzmann 2000, Mack et al. 1995). Bei Patienten mit CMD-Symptomatik ist die Länge der Protrusionsspur oft stark verkürzt und erreicht den 10 mm-Punkt erst gar nicht (Stelzenmüller und Wiesener 2010). Außerdem ist der SKN, der v.a. der Artikulatorprogrammierung dient, für die vorliegende Arbeit nicht von Interesse. Deshalb werden die Protrusionsspuren durch individuelle Skalierung gedrittelt und der Winkel der Drittelmitten bestimmt und verglichen. Dabei muss die Messskala an die Länge jeder einzelnen Spur individuell angepasst werden, wodurch eine dimensionsgetreue Skalierung gewährleistet wird. Sowohl der Bestimmung der Drittelmitten als auch dem vektorbasierten Nachzeichnen zur Digitalisierung der Bewegungsspuren muss eine gewisse Fehlertoleranz durch den Untersucher eingeräumt werden, die allerdings durch wiederholte Kontrollen und Verlaufsprüfungen auf ein Minimum reduziert werden kann.

Die Protrusionsspuren selbst bzw. deren Werte und Mittelwerte (bei aufgefächerten Spuren) jedes einzelnen Kondylus, werden gegeneinander aufgetragen, sodass ein direkter Vergleich der Parameter mit und ohne eingegliederte Aufbisschiene ermöglicht wird. Durch die exakte Skalierung und digitale Umsetzung der Spurenverläufe können die sagittalen Bewegungsmuster der Pro- und Retrusion jedes Kondylus mit und ohne eingesetzte Schiene direkt miteinander verglichen und beurteilt werden.

Projektionsfehler, die durch eine fehlerhafte Montage der axiographischen Apparatur bedingt sein können, schließt Mack weitgehend aus. Der Axiograph III der Firma SAM, der hier eingesetzt wird, liefert ein Handbuch mit, das durch eine detaillierte Beschreibung und einfache Einzelschritte eine korrekte Anbringung ermöglicht. Zusätzlich wurde die Anbringung durch den Untersucher vor Beginn der Studie oft geübt, um einen routinierten und immer gleich bleibenden Ablauf der Montageschritte

erbringen zu können. Wie bereits oben beschrieben, richtet sich der Axiograph III nach korrekter Anbringung automatisch nach den anatomischen Gegebenheiten aus und reduziert so selbst projektionsbedingte Fehler (Mack et al. 1995).

Der Halt der paraokklusalen UK-Adapter kann für die paraokklusale Anbringung an der Kalottenschiene als sehr gut bewertet werden, da in keinem der Fälle eine vorzeitige Ablösung oder Lockerung auftrat. Bei der Anbringung an die vestibuläre Fläche der UK-Zahnreihe für die okklusionsgeführte Aufzeichnung führt der Klebeeffekt durch den provisorischen Zement in wenigen Fällen nicht zum gewünschten Halt und es kommt zum Ablösen des Adapters. Durch den zuvor individualisierten Adapter und die zusätzlichen Impressionen im provisorischen Zement ist ein exaktes Reponieren an die Zahnreihen möglich, allerdings muss dann der Adapter während der Bewegungsaufzeichnung gestützt werden. Dabei wird darauf geachtet, dass die Funktionsbewegungen des Patienten möglichst nicht beeinflusst werden. Eine Abweichung der Spurenverläufe ist allerdings nicht gänzlich auszuschließen.

Um patientenbezogene Abweichungen in der Ausführung der Bewegungen zu minimieren, wurden die Bewegungsabläufe vor Beginn der Aufzeichnung sowohl mit als auch ohne Apparatur mindestens dreimal ausgeführt und geübt. Die Messungen müssen für jeden Patienten an demselben Tag innerhalb von maximal zwei Stunden durchgeführt werden, um individuelle tageszeitliche und tagesabhängige Schwankungen auszuschalten. Die Patienten haben die gleiche aufrechte Körperhaltung und sitzen auf demselben Behandlungsstuhl. Die Messreihe für jeden einzelnen Patienten, also die Aufzeichnung der Bewegungsspur mit und ohne eingesetzte Aufbisschiene, erfolgt direkt hintereinander. Dabei wird der obere Flaggenbogen, der sich automatisch nach den anatomischen Gegebenheiten ausrichtet, nicht mehr verändert, sondern nur der untere Registrierbogen kurz abgenommen, um die Schiene auszugliedern und den paraokklusalen Adapter auszutauschen. Der Registrierbogen hat sich zuvor koaxial zum oberen Bogen ausgerichtet und kann diese Position durch Fixation der Klemmen für die zweite Messung exakt übernehmen.

Durch die strikte Einhaltung dieser Maßnahmen und der Verwendung der gleichen Materialien und Vorgehensweise bei den Untersuchungen können die Bedingungen

der Untersuchungsreihen als konstant angesehen werden. Systembedingte Fehlerquellen wie der unterschiedliche Anpressdruck der Schreibminen und abweichende Strichstärken der aufgezeichneten Spuren, wie sie Freesmeyer 1987 beschrieb, können die Spuren weiterhin beeinflussen.

Außerdem kann durch die ungewohnte Belastung der Apparatur selbst eine Abweichung der individuellen Bewegungsmuster stattgefunden haben (Lotzmann 1988, Verch 2002). Zudem kann die mehrfache Ausführung der Bewegung zu unterschiedlichen Spurenverläufen führen. Miura et al. stellten in ihrer Untersuchung mit dem Compugnath eine max. Abweichung des SKN von 3,1 Grad Mittelwert fest (Miura et al. 1992). Baulig und Reiber ermittelten Werte von max. 2,2 Grad am String-Condylcomp LR3. Für den mechanisch-graphischen Axiographen ergaben sich aus 100 Messungen allerdings nur max. Abweichungswerte von 0,8 Grad für den SKN (Baulig und Reiber 1995).

Da in der vorliegenden Studie jedoch nur der direkte Vergleich beider Spurenverläufe beurteilt werden soll und die bisher genannten Bedingungen auf beide Bewegungsspuren gleichermaßen Einfluss nehmen, sind diese in der vorliegenden Arbeit zu vernachlässigen.

Die unterschiedliche Sperrung der Bissreihen durch die Erhöhung der Vertikaldimension bei eingesetzter bimaxillärer Kalottenschiene kann das individuelle Bewegungsmuster zusätzlich beeinflussen. Die vertikale Erhöhung soll die Ruheschwebelage des Patienten (3-4 mm) zwar nicht überschreiten, reicht an diesen Wert durch die bimaxilläre Gestaltung der Schiene jedoch in den meisten Fällen heran. Alsawaf und Garlapo zeigten in ihrer Arbeit, dass der SKN nur minimale Differenzen bei der paraokklusalen und okklusalen Aufzeichnung hatte (Alsawaf und Garlapo 1992). In einer Studie von Utz et al. hatten unterschiedliche Vertikaldimensionen bis 10 mm Bissperrung nur einen geringen Einfluss auf die sagittale Steigung der Bewegungsspur (Utz et al. 1987, Verch 2002). Bei der Lokalisation der Scharnierachse spielt die vertikale Dimension eine übergeordnete Rolle. Nach der allgemeinen Auffassung ist die Scharnierachse nur bei der initialen Öffnungsbewegung von 20-25 Grad bzw. 10 mm ermittelbar, da diese eine rein rotatorische Bewegung darstellt (Howat et al. 1992, Utz 1997). In neueren Untersuchungen wurde jedoch schon bei minimalen Öffnungsbewegungen eine Kombination aus Rotation und Translation festgestellt (Pröschel et al. 1993).

In dieser Studie ist die exakte Lokalisation der Scharnierachse in 59 von 120 Fällen, also fast genau der Hälfte, möglich. Interessanterweise ist dies bei der Mehrheit der Patienten (41 von 59) mit eingesetzter Aufbissschiene der Fall. In 61 der 120 Fälle ist die Lokalisation des SAP nicht exakt möglich, sodass eine Parallelverschiebung der Bewegungsspuren folgt. In zwei Drittel der Fälle geschieht dies bei nicht eingliederter Schiene. In dieser Studie zeigt sich damit eine bessere Lokalisierbarkeit der Scharnierachse bei einer bimaxillären vertikalen Erhöhung der Bissreihen. Eine nicht exakt lokalisierbare Scharnierachse kann für eine pathophysiologische Position des Kondylus bzw. eine neuromuskuläre Dyskoordination, sprechen (Lotzmann 2006). Das lässt vermuten, dass durch die resultierende Distraction im Kiefergelenk bei den Patienten mit CMD-Symptomatik eine Zentrierung und damit physiologische Positionierung der Kondylen erfolgt, die eine eindeutigere Bestimmung der Scharnierachse ermöglichen kann. Die statistische Auswertung dieser Daten ist jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

4.1.2 Korrelation der Axiographie zur klinischen Funktionsanalyse

In einer gemeinsamen Stellungnahme der DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde), der DGZPW (Deutsche Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde) und der AGF (Arbeitsgemeinschaft für Funktionslehre in der DGZMK) wird die instrumentelle Funktionsanalyse als Methode bezeichnet, die „gemeinsam mit klinischen und bildgebenden Verfahren zu einer validen Diagnostik kranio-mandibulärer Funktionsstörungen“ beiträgt (Engelhardt et al. 2002, S.1). Eine klinische Funktionsdiagnostik mit entsprechender Dokumentation der Initialdiagnose sei dabei Voraussetzung für die Durchführung der instrumentellen Analyse.

In der Literatur wird die instrumentelle Funktionsanalyse immer wieder kritisch betrachtet. Allerdings unter dem Gesichtspunkt, dass die instrumentelle Funktionsanalyse ein alleiniges diagnostisches Verfahren darstellt, mit dessen Hilfe bei der Diagnostik und Differentialdiagnostik von CMD die richtige Therapie ausgewählt werden kann (Türp 2003, Gibis und Gawlik 2001).

Dabei setzt die instrumentelle Funktionsanalyse, wie oben bereits beschrieben, eine klinische Funktionsanalyse voraus, da der isolierte Aussagewert der IFA begrenzt ist (Ahlers et al. 2003a, Peschke 2005, Stelzenmüller und Wiesner 2010). Ihr Anwendungsbereich erhebt damit nicht den Anspruch des alleinigen diagnostischen Mittels bei der Diagnostik von Funktionsstörungen. Auch Kordaß und Hugger bezeichnen die instrumentelle Funktionsanalyse als sinnvolle Ergänzung zur klassischen Funktionsdiagnostik, die auf der klinischen Funktionsanalyse und bildgebenden Verfahren basiert. Dabei soll die Aufzeichnung der Kondylenbewegung zusätzlich zur klinischen Funktionsanalyse die Frage nach Art und Schwere der Schädigung des Gelenks beantworten (Kordaß und Hugger 2011, Schwahn et al. 1996).

Kordaß schreibt 1996, dass durch die Registrierung von Spurenverläufen des Kiefergelenks die Hoffnung aufkommt, dass die Darstellung der Bewegungsspuren - neben der Analyse und Dokumentation - eine Möglichkeit darstellen kann, eine Aussage über die strukturelle Beschaffenheit des Kiefergelenks zu machen, um daraus die Beurteilung zwischen physiologisch funktionierendes und pathologischen Kiefergelenk abzuleiten (Kordaß 1996).

Der Anspruch an die instrumentelle Funktionsanalyse, anatomisch-morphologische Strukturen und Gegebenheiten des Kiefergelenks darzustellen und gegeneinander abgrenzen zu können, wird nicht erfüllt. Damit würde die instrumentelle Funktionsanalyse aber auch die bildgebende Diagnostik ersetzen, die vor allem zur Darstellung des morphologischen und strukturellen anatomischen Zustands dient (Wiegand 2012). Die instrumentellen Funktionsanalyse eignet sich aber für die Aufzeichnung und Darstellung funktioneller und biomechanischer Besonderheiten (Greiner et al. 2010).

In dem Tagungsbeitrag „Ist die instrumentelle Funktionsanalyse eine empfehlenswerte Maßnahme zur Diagnostik kranio-mandibulärer Funktionsstörungen?“ ist Jens C. Türp der Meinung, dass aufgrund der derzeit zur Verfügung stehenden Evidenz aus der zahnärztlich-wissenschaftlichen Literatur die instrumentelle Funktionsanalyse kein valides und ausgereiftes Verfahren sei, um kranio-mandibuläre Funktionsstörungen zu diagnostizieren (Türp 2003).

Jens C. Türp forderte in diesem Beitrag aufgrund der „Restunsicherheit“, dass durch eine systematische Übersichtsarbeit zu erörtern sei, welche Bedeutung die instrumentelle Funktionsanalyse für die Kiefergelenksdiagnostik hat.

Auf diese Forderung wurde zum Beispiel 2010 im HTA-Bericht des DMDI (Health Technology Assessment des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information in Köln) eingegangen. Der Bericht mit dem Titel „Zahnmedizinische Indikation für standardisierte Verfahren der instrumentellen Funktionsanalyse unter Berücksichtigung ökonomischer Gesichtspunkte“ befasst sich mit der Fragestellung, „wie aussagekräftig (valide) die instrumentelle Funktionsanalyse zur Diagnose kranio-mandibulärer Funktionsstörungen im Vergleich zu klassischen Untersuchungsverfahren ist“ (Greiner et al. 2010, S.1). Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die instrumentelle gegenüber der klinischen Funktionsanalyse als Referenzstandard bisher nicht systematisch und unabhängig bestätigt ist. Es sei unklar, ob die Durchführung einer instrumentellen Funktionsanalyse neben einer klinischen Funktionsanalyse empfehlenswert zur Diagnostik von kranio-mandibulären Funktionsstörungen ist. „Es besteht weiterhin unbedingter Forschungsbedarf“ (Greiner et al. 2010, S.1).

Befürworter der instrumentellen Funktionsanalyse wie z.B. der Vorsitzende der AFDT (Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie) in der DGZMK, Prof. Freesmeyer, bezeichnen den eigentlichen Mehrwert der instrumentellen Funktionsdiagnostik für die zahnärztliche Praxis in den Bereichen der diagnostischen Bestätigung, der Planung von Therapien und der Dokumentation des Therapieverlaufs (Kordaß et al. 2004, Peschke 2005).

Schwahn et al. überprüften in einer Studie die axiographisch gestellten Diagnosen (mechanisch und elektronisch) mit Hilfe des MRTs. Sie kamen zu dem Schluss: „Aufgrund der guten Übereinstimmung der Diagnosen von elektronischer Achiographie und MRT [...] halten wir die elektronische Achiographie für eine wertvolle Hilfe bei der Diagnostik kranio-mandibulärer Funktionsstörungen mit Gelenkbeteiligung. Sie erlaubt eine Differenzierung der Gelenkstörung nach verschiedenen Schweregraden und ist damit für die therapeutische Entscheidung hilfreich“ (Schwahn et al. 1996, S.422).

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Axiographie in der vorliegenden Studie nicht zur Diagnostik oder Klassifikation von kranio-mandibulären Dysfunktionen dienen soll, sondern zur graphisch-mechanischen Aufzeichnung der Bewegungsbahn des Kondylus.

Dass die Axiographie ein anerkanntes wissenschaftliches Aufzeichnungsgerät ist, das die Darstellung der Bewegungsspuren bei der Kondylenbewegung erlaubt, ist in der Literatur beschrieben (Bumann und Lotzmann 2000, Mack 1979, Slavicek 1980). Luckenbach und Freesmeyer untersuchten in einer ähnlichen Studie den Therapieerfolg einer Aufbisschiene anhand des Bewegungsablaufs der Kiefergelenke mit Hilfe der elektronischen Axiographie (Luckenbach und Freesmeyer 1985). Auch Türp und andere Autoren kamen zu dem Schluss, dass, solange die Validität der instrumentellen Funktionsanalyse als diagnostisches Mittel nicht bewiesen ist, ihre Anwendung in der Lehre und Forschung berechtigt ist (Türp 2003, Gonzales et al. 2008).

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Diskussion des Bewegungsumfangs

Zur Beurteilung des Bewegungsspielraumes wird die Länge der maximalen Protrusionsspur gemessen und die Differenz zwischen mit und ohne eingesetzte bimaxillären Kalottenschiene ermittelt. Die Längenwerte des rechten und linken Kiefergelenks werden gemittelt, sodass für jeden Patienten ein Wert mit Schiene und ein Wert ohne Schiene resultiert, der direkt miteinander verglichen und die Differenz bestimmt werden kann. Nach Piehslinger et al. liegt der Normbereich für die Länge der sagittalen Protrusionsspur bei 8-12 mm (Piehslinger et al. 1993). 80% der Werte mit Schiene (24 von 30) liegen im Normbereich und 40% der Werte (12 von 30) bei 10 mm oder größer. Bei den Werten ohne Schiene fallen 73,3% (22 von 30) in den Normbereich und nur 26,7% der Werte (8 von 30) liegen bei 10 mm oder größer. Hier ist genauso wie am Histogramm zu erkennen, dass eine Tendenz zur Längenzunahme bei eingegliedelter Schiene besteht. Das Histogramm zeigt eine leichte Verschiebung der Werte in den positiven Bereich. Auch der Mittelwert, der aus der Differenz der Längenwerte mit und ohne Schiene berechnet wird, zeigt durch sein positives Vorzeichen (+0,235 mm) diese Tendenz auf. Der ermittelte p-Wert sagt jedoch aus, dass dieser Längenunterschied nicht signifikant ist.

Als ein Grund dieser Werte kann die ungewohnte Bisslage aufgrund der eingesetzten bimaxillären Kalottenschiene betrachtet werden. Möglicherweise führen die Erhöhung der Vertikaldimension und die Bewegung über die kalottenartig gestaltete Oberfläche der Schiene zu einer individuellen Einschränkung in der Bewegungsausführung. Eine nicht gewohnheitsmäßig ausgeführte Grenzbewegung wie die maximale Protrusion wird nicht in ihrem maximalen Rahmen ausgeführt. Durch die mehrmaligen Bewegungsübungen mit und ohne Schiene vor Beginn der Untersuchung wird dem entgegengewirkt. Allerdings fällt hierbei auf, dass die Bewegungen mit eingesetzter Schiene öfter geübt werden müssen, bis es den Patienten möglich ist, den Bewegungsablauf flüssig auszuführen.

Die Erhebung des Mittelwertes für beide Kiefergelenksseiten kann hier außerdem zu einer Abweichung der Werte führen. Durch den starren Unterkiefer-Registrierbogen kommt es zu einer starren Verbindung beider Kondylen, woraus deren gegenseitige Bewegungsbeeinflussung resultiert. „So werden sich Änderungen im Bewegungsablauf des einen Gelenkes immer in der Aufzeichnung des anderen Gelenkes niederschlagen“ (Freesmeyer et al. 1984, S.872).

Zudem kann die Auswahl der Patienten hier eine Rolle spielen, da die maximale Protrusionsbewegung eine bewusste und muskulär geführte Bewegung darstellt (Verch 2002, Schneider 2005). Der CMD-Symptomatik der Patienten liegen sowohl myogene als auch arthrogene Ätiologien zugrunde. Eine Auswahl durch die Ursachen der Symptomatik erfolgte nicht.

4.2.2 Diskussion der Bewegungsspurenqualität

Zur Bewertung der Bewegungsspurenqualität wird die Harmonie der einzelnen Spurenverläufe beurteilt. Dazu erfolgt die Einweisung dreier erfahrener CMD-Spezialisten der Abteilung Prothetik der Zahnklinik Göttingen in die genaue Thematik. Anhand von Spurenverlaufsbeispielen und Beispielen aus anderen Studien werden die Bewertungskriterien erarbeitet. Dabei wird unter anderem die Studie von Luckenbach und Freesmeyer herangezogen, die einen unharmonischen Spurenverlauf als diskoordiniert und damit pathologisch bewertete. Eine harmonische, koordiniert verlaufende Bewegungsspur bei eingegliedelter Aufbisschiene bezeichneten die Autoren als therapeutisch richtig gewählte Position für die Kondylen und damit als Therapieerfolg (Luckenbach und Freesmeyer 1985).

Die Bewertung jedes Kondylenpaares erfolgt über einen Score, der von 1 = harmonisch bis 5 = disharmonisch reicht.

Zunächst muss überprüft werden, ob die Ergebnisse unter den einzelnen Prüfern ausreichend übereinstimmen, sodass die Beurteilung der drei Prüfer zusammengefasst werden kann. Allerdings können die Konsistenzwerte zwischen den einzelnen Prüfern nur als ausreichend bis gering bezeichnet werden. Die Prüfer

können damit nicht zusammengefasst werden. Die Abweichung zwischen der Beurteilung der Prüfer kann daraus folgen, dass im Vorfeld zwar eine Einweisung aber keine ausführliche Schulung der Prüfer stattfand. Die Bewertung begründet sich damit hauptsächlich auf subjektive Erfahrungen und Bewertungskriterien der einzelnen Prüfer. Außerdem handelt es sich hierbei um ein neues, nicht standardisiertes Verfahren. Durch diese hohe Heterogenität zwischen den Prüfern ist es schwierig, ähnliche Ergebnisse zu erhalten. Das führt zu einer hohen Streuung zwischen den Scores und einem kleinen Kappa-Wert, der für eine schlechte Reliabilität spricht. Möglicherweise liegt hier zudem ein Fallzahlproblem vor, sodass eine Erhöhung der Patientenzahl zu einer eindeutigeren Häufung der Beurteilungen führen könnte.

Daraufhin wird die Untersuchung für jeden Prüfer einzeln wiederholt, um zu ermitteln, ob es qualitativ unterschiedliche Ergebnisse zwischen mit und ohne eingesetzte Schiene gibt und dieser Unterschied signifikant ist. Der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben zeigt jedoch, dass auch qualitativ keine Signifikanz zwischen den beiden Gruppen (mit Schiene und ohne Schiene) besteht, wenn man die Prüfer einzeln betrachtet. Es besteht zwar auch hier wieder die Tendenz zu kleineren, also harmonischeren Werten mit Schiene, die für jeden der drei Prüfer ersichtlich ist. Diese Tendenz kann aber nicht als signifikant bezeichnet werden. Trotz der schlechten Übereinstimmung zwischen den Prüfern (Kappa-Werte $<0,41$) zeigt sich jedoch bei allen drei Prüfern die gleiche Tendenz. Die Werte tendieren bei allen Prüfern zu einem harmonischeren Spurenverlauf mit eingesetzter Schiene.

Ob eine Erhöhung der Prüferzahl zu eindeutigeren Ergebnissen führt, kann durch das Ergebnis des Cohen'schen Kappa-Wertes verneint werden. Die niedrigen Werte sprechen für eine geringe Konsistenz zwischen den Prüfern, was nicht vermuten lässt, dass eine höhere Prüferzahl zu einem eindeutigeren Ergebnis führen würde.

4.2.3 Diskussion der Steigung in den Axiogramm-Segmenten

Die graphische Auftragung der Winkel in den einzelnen Segmenten als 95%iges Konfidenzintervall zeigt eine eindeutige Wechselwirkung zwischen mit und ohne eingegliedertter Schiene in den Spurenssegmenten. Die Werte mit Schiene liegen insgesamt auf einem niedrigeren Niveau, d.h. die Winkel mit eingesetzter Schiene sind kleiner und haben damit eine geringere Steigung. Allerdings ist der Unterschied bzw. die Wirkung der eingesetzten Schiene nicht in jedem Segment gleich groß. Zudem verläuft das Profil der Graphen zwar ähnlich, aber nicht parallel, was auch für eine Wechselwirkung zwischen den aufgetragenen Werten Schiene und Segment spricht. Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergibt, dass die Wirkung der Schiene in den Segmenten insgesamt signifikant ist (p-Wert = 4,3%). Ein p-Wert von 4,3%, der nicht weit von der 5%-Grenze (Bedeutung s.o.) entfernt ist, deutet allerdings entweder auf eine mäßige Wechselwirkung oder auf eine unterschiedliche Wirkung in den einzelnen Segmenten.

Warum die beiden Graphen keinen gemeinsamen Startpunkt haben und der Initialwert hier überhaupt abweicht, könnte durch die unterschiedliche Bisshöhe zu Beginn der Bewegung bedingt sein. Durch die bimaxilläre Kalottenschiene erfolgt eine Erhöhung der Schlussbisslage und damit der Vertikaldimension zum Bewegungsbeginn. Daraus resultiert ein erhöhter Startpunkt der Bewegung mit eingesetzter Schiene. Immerhin weichen hier, im initialen Segment, die Winkel am wenigsten voneinander ab. Das zeigt auch die Subgruppenanalyse der zweifaktoriellen Varianzanalyse, die die Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren (mit/ohne Schiene und Segment) in den einzelnen Segmenten in Abhängigkeit setzt. Im initialen Segment besteht keine Signifikanz (p-Wert = 24,2%), also keine eindeutige Abflachung der Kondylenbahn im ersten Drittel der Protrusionsbewegung.

Die Subgruppenanalyse des medialen und terminalen Segments ergibt hingegen einen p-Wert von 1,1%, bzw. 0,5%. Damit besteht hier eine signifikante Wechselwirkung zwischen Schiene und Segment. Die Winkel sind signifikant kleiner und damit flacher. Im medialen und terminalen Segment führt die bimaxilläre Kalottenschiene eindeutig zu einer Abflachung der Kondylenbahnneigung an den gemessenen Punkten.

Diese Abflachung könnte auf die okklusale Gestaltung der Schiene zurückzuführen sein. Die plane okklusale Oberfläche wird nach dem Prinzip der Monson-Kalotte gestaltet. Dadurch erhält sie die Krümmung eines Kugelausschnitts, die das dorsale Klaffen (Christensen-Phänomen) von planen Oberflächen bei funktionellen Grenzbewegungen ausgleichen soll. Das Christensen-Phänomen ist je nach Neigung der Gelenkbahn unterschiedlich stark ausgeprägt, da der „Klaffungswinkel“ ungefähr der Gelenkbahnneigung entspricht (Schwenzer et al. 2006). Das lässt vermuten, dass es bei planen Bisswällen zu einer hauptsächlichen Führung über die anatomischen Strukturen im Kiefergelenk kommt und damit zu deren Belastung, da keine dentoalveoläre Abstützung erfolgt.

Die bimaxilläre Kalottenschiene ist so gestaltet, dass sie das Christensen-Phänomen kompensiert und eine rein dentoalveoläre Führung erreicht, wodurch eine lastfreie Kiefergelenksbewegung innerhalb der funktionellen Grenzbewegungen resultiert. Das okklusale Relief kann Unterkieferbewegungen nur bis zu 3 mm bzw. bis zum Höcker-Höcker-Kontakt bei Laterotrusion abstützen, bevor die Kräfte und Belastung auf die beteiligten Gewebe der anatomischen Strukturen übergehen (Gührig und Barth 1992, Schwenzer et al. 2006). Parafunktionen verursachen jedoch Grenzbewegungen bis zu 10 mm, die die okklusale Abstützung weit überschreiten. Durch die Schiene können selbst solche Grenzbewegungen abgefangen und dentoalveolär abgestützt werden (Engelke 2009).

Zudem ermöglicht die Schiene eine bilateral balancierte Okklusion, die bei allen Bewegungen (Pro- und Laterotrusion) erreicht wird. Die ermittelte Abflachung der Protrusionsspur je weiter die Bewegungen werden führt zu der Annahme, dass die Schiene die Grenzbewegungen abfängt und abstützt. Die ermittelten Winkel müssten demnach der Neigung der für die Konstruktion der Schienenoberfläche gewählten Kalotte ungefähr entsprechen. Diese Annahme muss jedoch in weiteren Studien bewiesen werden.

Allerdings muss hier beachtet werden, dass die Winkelwerte der aufgefächerten Spuren bei nicht bestimmbarem SAP gemittelt werden, was zu einer Beeinflussung der Werte führen kann. Miura et al. fanden in ihrer Studie mit dem Compugnath bei drei Messungen maximale Abweichungen von 3,1 Grad für den sagittalen Kondylenbahnwinkel (Miura et al. 1992). Baulig und Reiber ermittelten hingegen für

den mechanisch-graphischen Axiographen aus 100 Messungen nur maximale Abweichungen von 0,8 Grad (Baulig und Reiber 1995).

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass gerade exkursive Bewegungen, wie sie bei parafunktionellen Bewegungen unbewusst ausgeführt werden, zu keiner Belastung der Kondylen und des Discus articularis führen, sondern eine vollständige dentoalveoläre Abstützung der pathologischen Bewegungen über die Kalottenschiene erfolgt. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich hier auch die Erklärung für die Verbesserung der individuellen Schmerzsymptomatik der Patienten finden kann.

4.3 Abschließende Diskussion

Dies ist die erste Untersuchung, die mit Hilfe der Axiographie den klinisch festgestellten Therapieerfolg der bimaxillären Kalottenschiene anhand von Protrusionsspurenparametern untersucht.

Um eine erste Einschätzung und Beurteilbarkeit durch das gewählte Untersuchungsverfahren zu bekommen, wird die Messung zunächst an einer Probandenzahl von 30 Patienten mit unterschiedlicher CMD-Ätiologie durchgeführt. Die mechanisch-graphische Axiographie ist ein anerkanntes Verfahren zur Beurteilung der untersuchten Parameter. Allerdings berücksichtigt sie keine zeitlichen Komponenten wie z.B. Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Bewegungsablaufs, deren Untersuchung in künftigen Studien interessant wäre.

Aus der Literatur ist ersichtlich, dass eine dynamische Betrachtung der Kondylenbewegung bei der Kiefergelenkdiagnostik allgemein begrüßt wird, um den Mechanismus der internen Gelenkschädigung besser analysieren und verstehen zu können (Behr et al. 1996, Burnett et al. 1987, Kober et al. 2011). Die Problematik der instrumentellen Funktionsanalyse oder Axiographie liegt in der Diagnostik, da aufgrund der großen Variabilität die Spurenverläufe der Kondylenbewegung bei Patienten mit CMD genauso wie bei Gesunden die Beurteilung schwierig zu beurteilen sind (Lotzmann 1987, Zimmer et al. 1990). Die vorliegende Studie erhebt nicht den Anspruch, qualitative Aussagen über die Bewegungsspuren zu machen, sondern stellt mögliche Unterschiede zwischen okklusions- und schienengeführten Kondylenbewegungen im direkten Vergleich dar.

Eine noch genauere Methode, den Effekt mit und ohne eingesetzte bimaxilläre Kalottenschiene auf den tatsächlichen Bewegungsablauf im Kiefergelenk beurteilen zu können, ist die Untersuchung mittels *real-time*-MRT, wie es in Studien von Wiegand und Zhang an einer wesentlich niedrigeren Probandenzahl durchgeführt wurde (Wiegand 2012, Zhang et al. 2011). Zu diesem Zeitpunkt ist dieses Verfahren für die hier vorliegende Probandenzahl jedoch als zu zeit- und kostenaufwendig zu bewerten.

Obwohl die bimaxilläre Kalottenschiene nach Engelke (2009) den Konstruktionsprinzipien herkömmlicher Repositionierungsschienen grundlegend widerspricht, führt sie bei allen Probanden zu einer klinischen Verbesserung der individuellen Symptome. Der einzig signifikante Unterschied, der anhand der untersuchten Parameter gezeigt werden kann, ist die Abflachung der Bewegungspur der Kondylen mit eingesetzter Schiene. Das lässt vermuten, dass diese Abflachung zu einer Entlastung des Kiefergelenks führt und sich positiv auf die CMD-Symptomatik auswirkt.

Andererseits ist es möglich, dass die klinische Verbesserung der individuellen Symptomatik lediglich auf der Distraction im Kiefergelenk beruht, die durch die Erhöhung der vertikalen Bisslage durch die bimaxillären Schiene beruht. Die Distraction führt zu einer Entlastung des Kiefergelenks, wie sie auch viele der herkömmlichen Aufbisschienen hervorrufen (Schwahn 1999).

Klassische Repositionierungsschienen führen durch eine vorgegebene Verzahnung im Frontzahnbereich häufig zu einem seitlich offenen Biss (Brenkert 2010). Durch die individuell erstellte Kalottenoberfläche und der bei allen Bewegungen erreichten bilateral balancierten Okklusion der bimaxillären Kalottenschiene kann diese Problematik möglicherweise minimiert werden.

Aufgrund der Datenlage dieser Studie ist zwar noch keine grundsätzliche Therapieempfehlung möglich, dennoch können valide Ergebnisse gezeigt werden, die eine Objektivierung für die Beschwerdebesserung darstellen. Um den Effekt der Abflachung in direkten Zusammenhang mit der Verbesserung der CMD-Symptomatik setzen zu können, sind weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet notwendig.

5 Zusammenfassung

Die kranio-mandibuläre Dysfunktion zählt mit ihren unterschiedlichen Symptomen und Ätiologien zu den häufigsten Erkrankungen des orofazialen Systems. Die zahlreichen individuellen Beschwerdebilder, die oftmals starken Einfluss auf die Beschwerden der betroffenen Patienten haben, lassen die Notwendigkeit neuer Therapiemöglichkeiten deutlich werden.

Ein neues Therapiekonzept wurde 2009 von der Arbeitsgruppe um Herrn Prof. Dr. Dr. Engelke in Form einer bimaxillären Kalottenschiene entwickelt, die bei 80-85% der bisher therapierten Patienten zu einer klinischen und subjektiven Verbesserung der Beschwerden geführt hat.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich daher mit der Darstellung möglicher Ursachen für den subjektiv empfundenen positiven Effekt bzw. den klinisch festgestellten Therapieerfolg der bimaxillären Kalottenschiene.

Die Untersuchung wurde mit dem mechanisch-graphischen Axiographen III der Firma SAM durchgeführt, der mit Hilfe des individualisierten paraokklosalen SAM-Adapters die Aufzeichnung der okklusions- und schienengeführten Kondylenbewegung ermöglicht. Anhand der maximalen Protrusionsspuren wurde untersucht, ob sich die Parameter Bewegungsumfang, Bewegungsspurenqualität und Steigung in den Spurenssegmenten zwischen mit und ohne eingesetzte Kalottenschiene unterscheiden.

Es konnte gezeigt werden, dass bei den Parametern Bewegungsumfang und Spurenqualität kein signifikanter Effekt durch die Schiene erreicht wird, allerdings ist eine positive Tendenz der Werte zu einem größeren Bewegungsspielraum bzw. einem harmonischeren Spurenverlauf mit eingesetzter Schiene erkennbar.

Eine signifikante Wirkung der bimaxillären Kalottenschiene auf die Neigung der Kondylenbewegungsbahn konnte gezeigt werden. Die Schiene führt bei Grenzbewegungen zu einer Abflachung der Steigung.

Ob die klinische Verbesserung der individuellen Symptomatik eindeutig auf die Beeinflussung dieses Parameters zurückzuführen ist, muss in weiteren Studien bestätigt werden.

6 Literaturverzeichnis

Ahlers MO, Jakstat HA (2007): Klinische Funktionsanalyse als Grundlage der Diagnostik-Kaskade- Computergestützte Diagnostik ermöglicht individuelle Auswertung, Therapieplanung und Patienteninformation. Die Quintessenz 58, 451-464

Ahlers MO, Freesmeyer WB, Göz G, Jakstat HA, Koeck B, Meyer G, Ottl P, Reiber Th, Seeher WH (2003a): „Klinische Funktionsanalyse.“ (Gemeinsame Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFD) in der DGZMK zur Diagnostik funktioneller Störungen des kranio-mandibulären Systems.

URL:http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Klinische_Funktionsanalyse.pdf

Ahlers MO, Freesmeyer WB, Göz G, Jakstat HA, Koeck B, Meyer G, Ottl P, Reiber Th, Seeher WH (2003b): Instrumentelle, bildgebende und konsiliarische Verfahren zur CMD-Diagnostik. (Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -Therapie (DGFD) in der DGZMK.

URL:http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/20100817_InstrumentellBildgebendeKonsiliarischeVerfahren.pdf

Ahlers MO, Freesmeyer WB, Fussnegger M, Göz G, Jakstat HA, Koeck B, Neff A, Ottl P, Reiber Th (2005): Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems. (Gemeinsame Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFD) in der DGZMK.

URL:http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Zur_Therapie_der_funktionellen_Erkrankungen_des_kranio-mandibulaeren_Systems.pdf

Alsawaf M, Garlapo DA (1992): Influence of tooth contact on the path of condylar movements. J Prosthet Dent 67, 394-400

American Academy of Orofacial Pain (AAOP): Orofacial Pain. Guidelines for Assessment, Diagnosis and Management. Quintessence, Chicago 1996

Ash MM, Bernhardt O, Meyer G: Schienentherapie. Evidenzbasierte Diagnostik und Behandlung bei TMD und CMD. 3.Auflage, Elsevier Verlag, München 2006

Baulig H, Reiber T (1995): Präzision des String Condylcomp. Dtsch Zahnärztl. Z 50, 533-535

Beer A, Kolk A, Neff A, Hof N, Treumann T, Rummery EJ (2004): Cine MRI of the temporomandibular joint in comparison to static MRI and axiography. Rofo 176(4), 506-512

Behr M, Held P, Leibrock A, Fellner C, Handel G (1996): Diagnostic potential of pseudo-dynamic MRI (CINE mode) for evaluation of internal derangement of the TMJ. Eur J Radiol 23(3), 212-215

Bernhardt O, Meyer G: Dysfunktion, kranioandibuläre. In: Pschyrembel-Handbuch-Therapie. 4. Überarbeitete und ergänzte Auflage, W. de Gruyter Verlag, Berlin 2009

Bias, F: Instrumentelle Funktionsdiagnostik- elektronische Registrierverfahren. In: Stelzenmüller W, Wiesner J (Hrsgb.): Therapie von Kiefergelenksschmerzen. 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2010, 203-217

Boisserée W, Schupp W: Kranioandibuläres und muskuloskelettales System. Quintessenz Verlag, Berlin 2012

Brenkert DR (2010): Orthodontic treatment for the TMJ patient following splint therapy to stabilize a displaced disk: a systemized approach. Part II. Cranio 28(4), 260-265

Bumann A, Lotzmann U: Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. In: Rateitschak KH, Wolf HF (Hrsg.): Farbatlanten der Zahnmedizin Bd.12, Thieme Verlag, Stuttgart 2000

Bundeszahnärztekammer (BZÄK) (2004): Präambel: Neubeschreibung einer präventionsorientierten Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.
URL:<http://www.bzaek.de/fileadmin/PDFs/zmk/0000-Praeambel.pdf>

Burnett KR, Davis CL, Read J (1987): Dynamic display of the temporomandibular joint meniscus by using "fast scan" MRI imaging. AJR Am J Roentgenol 149(5), 959-962

Clark GT (2008): Classification, causation and treatment of masticatory myogenous pain and dysfunction. Oral Maxillofac Surg Clin North Am 20, 145-157

Dauber W (1987): Die Nachbarschaftsbeziehungen des Discus articularis des Kiefergelenks und ihre funktionelle Deutung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 97(4), 427-437

DeLeeuw R, Boering G, Stegenga B, deBont LG (1994): Clinical signs of TMJ osteoarthritis and internal derangement 30 years after nonsurgical treatment. J Orofac Pain 8(1), 18-24

Dworkin SF, LeResche L (1992): Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. J Craniomandib Disord 6(4), 301-355

Engelhardt JP, Hugger A, Jakstat HA, Kordaß B (2002): Instrumentelle Funktionsanalyse- Prinzipien und Anwendung. Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der AGF in der DGZMK. Dtsch Zahnärztl Z 2002

Engelke W (2009): Biofunktionelle Therapie (BFT) - ein neuer Zugang zur Behandlung orofazialer Dysfunktionen. Sonderdruck aus Zahn Prax 12(5), 314-323, 1-8

Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R: Waldeyer. Anatomie des Menschen. 17.Auflage, Walter de Gruyter Verlag, New York 2003

Freesmeyer WB: Funktionelle Befunde im orofazialen System und deren Wechselwirkung. Habilitationsschrift Tübingen, Carl Hanser Verlag, München 1987

Freesmeyer WB: Zahnärztliche Funktionstherapie. Carl Hanser Verlag, Berlin 1993

Freesmeyer WB, Luckenbach A, Müller T, Hüls A (1984): Vergleichende Untersuchung zwischen mechanisch und elektronisch registrierter Unterkieferbewegung in Beziehung zur Gelenktopographie. Dtsch Zahnärztl Z 39, 870-875

Gibis B, Gawlik C: Hierarchie der Evidenz. Die unterschiedliche Aussagekraft wissenschaftlicher Untersuchungen. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 44, Springer-Verlag, Berlin 2001, 876-877

Gonçalves DA, Dal Fabbro AL, Campos JA, Bigal ME, Speciali JB (2010): Symptoms of temporomandibular disorders in the population: an epidemiological study. J Orofac Pain 24(3), 270-280

Gonzales YM, Greene CS, Mohl ND (2008): Technological devices in the diagnosis of temporomandibular disorders. Oral Maxillofac Surg Clin Noth Am 20(2), 211-220

Greiner W, Roll S, Stöber Y, Tinnemann P, Vauth C, Willich SN: Zahnmedizinische Indikation für standardisierte Verfahren der instrumentellen Funktionsanalyse unter Berücksichtigung gesundheitsökonomischer Gesichtspunkte. Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI), 1. Auflage, Schriftreihe Health Technology Assessment Bd. 101, Köln 2010, 1-58

Gühring W, Barth J: Grundwissen für Zahntechniker. 4.Auflage, Neuer Merkur Verlag, München 1992, 109-115

Hansson T, Öberg T, Carlsson GE, Kopp S (1977): Thickness of the soft tissue layers and the articular disk in the temporomandibular joint. *Acta Odont Scand* 35, 77-83

Helkimo M (1974): Studies on function and dysfunction of the masticatory system. II. Index for anamnestic and clinical dysfunction and occlusal state. *Swed Dent J* 67, 101-121

Hirsch C: Kraniomandibuläre Dysfunktionen (CMD) bei Kindern und Jugendlichen – Prävalenz, Beeinträchtigungen und Einflüsse der physischen Entwicklung. Med. Habil.-Schr. Halle 2003

Hirsch C, Hoffmann J, Türp JC (2012): Are temporomandibular disorder symptoms and diagnoses associated with pubertal development in adolescents? An epidemiological study, *Journal of Orofacial Orthopedics* 73, 6-18

Howat A, Capp N, Barrett NV: Farbatlas der Okklusion und Malokklusion. Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover 1992

Jähmig A, Kubein D (1984): Über das gekoppelte Öffnungs- und Schließknacken des Kiefergelenkes (reziprokes knacken). *Dtsch Zahnärztl Z* 39, 242-249

John M, Wefers KP: Orale Dysfunktion bei den Erwachsenen. In: Institut der deutschen Zahnärzte (Hrsg.): Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1999, 316-329

Kober C, Berg BI, Berg S, Leiggner C, Buitrago-Téllez C, Kordaß B, Zeilhofer HF, Sader R (2011): Do we need real-time MRI for diagnosis of temporomandibular joint disorders? *Int J Comout Dent* 14(2), 111-118

Köneke C (2008): CMD aktuell – Interdisziplinäre Diagnostik und Therapie der Craniomandibulären Dysfunktion. Zeitschrift Manuelle Medizin 4, 265-268

Kohlbach W: Deskriptive Anatomie der Zähne und des kraniofazialen Systems. Quintessenz Verlag, Berlin 2007, 50-54, 84-85

Konstantinović VS, Lazić V (2006): Occlusion splint therapy in patients with craniomandibular disorders (CMD). J Craniofac Surg 17(3), 572-580

Kordaß B: Koppelung der Kernspintomographie des Kiefergelenks mit computergestützten Aufzeichnungen der Kondylenbahn. Neue Aspekte für die funktionsorientierte Kiefergelenksdiagnostik und –therapie. Quintessenz Verlag, Berlin 1996

Kordaß B, Hugger A (1993): Dynamische Bildgebung zur Darstellung der Kiefergelenksfunktion. Zahnarzt Magazin 2, 34-39

Kordaß B, Hugger A: Bildgebende Untersuchungsverfahren. In: Ahlers MO, Jakstat HA (Hrsgb.): Klinische Funktionsanalyse: Manuelle Strukturanalyse Interdisziplinäre Diagnostik. 4. Auflage, dentaConcept, Hamburg 2011

URL:<http://www.dentaconcept.de/Buecher/KFAL4-Kapitel44.html>

Kordaß B, Freesmeyer WB, Meyer G, Biffar R, Hugger A (2004): Diskussionsbeitrag der Arbeit Bedeutung der instrumentellen Funktionsanalyse. Dtsch Zahnärztl Z 59, 47-48

Kuboki T, Shinoda M, Orsini MG, Yamashita A (1997): Viscoelastic properties of the pig temporomandibular joint articular soft tissues of the condyle and disc. J Dent Res 76, 1760-1769

Landis JR, Koch GG (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 33, 159-174

Lang J, Niederfeilner J (1977): Über Flächenwerte der Kiefergelenkspalte. Anat Anz 141, 398-400

Leder S: Funktionsstörungen erkennen und behandeln. 2. Auflage, Spitta Verlag, Balingen 2008

Lochmiller W, Bumann A, Groot Landeweer G (1991): Zur Wertigkeit der elektronischen Axiographie in der klinischen Funktionsdiagnostik. Fortschr Kieferorthop 52, 268-287

Lotzmann U: Okklusionsschienen und andere Aufbißbehelfe. Grundlage zur Theorie und Praxis. Verlag Neuer Merkur, München 1983

Lotzmann U: Paraokklusale Achsiographie mit dem Scharnierachsen-Schreibsystem nach Meyer/dal Ri im Rahmen einer funktionsanalytischen Studie. Med. Diss. Göttingen 1987

Lotzmann U (1988): Zum Einfluß von Gewicht und Schwerpunktlage des Unterkiefer-Registrierbogens auf den Verlauf axiographischer Spuren. Dtsch Zahnärztl. Z 43, 67-70

Lotzmann U (1999): Die Auswirkung einer fehllokalisierten Scharnierachse auf die achsiographische Erfassung der mandibulären Kinematik. ZWR 6, 445-448

Lotzmann U: Skript zur zahnärztlichen Funktionsdiagnostik. Marburg 2006
URL:<http://www.aachener-fortbildung.de/SKRIDIAG.pdf>

Luckenbach A, Freesmeyer WB (1985): Positionsüberprüfung einer Aufbißschiene mit Hilfe eines elektronischen Registriersystems (ECSR). Dtsch Zahnärztl Z 40, 1219-1222

Mack H: Offenlegungsschrift. Deutsches Patentamt, 2934750, München 1979

Mack H, Ohlrogge HH, Wirth CG: Manual AXO 500 Axiograph III Axiomatic. SAM Präzisionstechnik GmbH, München 1995

McNamara JA, Carlson DS (1979): Quantitative analysis of temporomandibular joint adaptations to protrusive function. Am J Orthod 76(6), 593-611

Meyer G: Praxisgerechte instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: Schriftenreihe APW: Funktionslehre: aktueller Stand und praxisgerechte Umsetzung. Carl Hanser Verlag, München 1993, 59-72

Miura H, Luckenbach A, Freesmeyer WB (1992): Untersuchung zur Reproduzierbarkeit des ECR-Systems. Dtsch Zahnärztl. Z 47, 373-376

Moll KJ, Moll M: Kurzlehrbuch Anatomie. 17. Auflage, Urban&Fischer Verlag, München 2002

Morneburg T, Pröschel P (1998): Differences between traces of adjacent condylar points and their impact on clinical evaluation of condyle motion. Int J Prosthodont 4, 317-323

Okeson JP: Orofacial pain: Guidelines for Assessment, Diagnosis and Management. The American Academy of Orofacial Pain, Quintessence books, Carol Stream 1996

Paak S, Hugger A, Bollmann F, Stüttgen U (2000): Die Abhängigkeit funktioneller Parameter von der Lage der Scharnierachspunkte. Dtsch Zahnärztl Z 55(8), 570-573

Peschke A (2005): Welchen Nutzen hat die instrumentelle Funktionsanalyse? Bewertung ihrer Praxisrelevanz aus der Sicht eines niedergelassenen Zahnarztes. Die Quintessenz 56(9), 941-948

Piehslinger E, Celar A, Futter K, Slavicek R (1993): Orthopedic Jaw Movement observations Part 1: determination and analysis of the length of protrusion. The Journal of craniomandibular practice 11, 113-117

Posselt U (1958): Range of movement of the mandible. J Am Dent Assoc 56, 10-13

Pröschel P, Feng H, Ohkawa S, Ott R, Hofman M (1993): Untersuchung zur Interpretation des Bewegungsverhaltens kondylärer Punkte. Dtsch Zahnärztl Z 48, 323–326

Reichart PA, Hausamen JE, Becker J, Neukam FW, Schliephake H, Schmelzeisen R: Curriculum Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten. 2.Band, 1.Auflage, Quintessenz Verlag, Berlin 2002

Reissmann DR, John MT, Schierz O, Wassell RW (2007): Functional and psychosocial impact related to specific temporomandibular disorder diagnoses. J Dent 35, 643-650

Rohen JW: Anatomie für Zahnmediziner. 3. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart 1994, 112-116

Rugh JD, Solberg WK (1976): Psychological implications in temporomandibular pain and dysfunction. Oral sciences reviews 7, 3-30

Schliephake H, Tschernitschek H: Kiefergelenkerkrankungen. In: Reichart PA (Hrsg.): Curriculum Zahn-, Mund und Kieferkrankheiten, Bd. 2 Chirurgie. Quintessenz Verlag, Berlin 2002, 335-377

Schneider M: Die operative Behandlung von Gelenkfortsatzfrakturen des Unterkiefers – ein funktioneller, axiographischer und radiologischer Vergleich verschiedener Zugangswege. Med. Diss. Dresden 2005

Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K: Prometheus. Kopf und Neuroanatomie. Thieme Verlag, Stuttgart 2006

Schwahn B (1999): Therapie mit Aufbißschiene. ZMK 7/8, 432-442

Schwahn B, Bernhardt O, Genz Th, Meyer G, Biffar R (1996): Kraniomandibuläre Dysfunktion: Vergleichende Untersuchung mit Hilfe der SAS-Achsiographie und des MRT. Dtsch Zahnärztl Z 51, 420-423

Schwenzer N: Zahn-Mund-Kieferheilkunde, Lehrbuch zur Aus- und Weiterbildung Bd. 3, Prothetik und Werkstoffkunde. (Hrsg.): Schwenzer N, Thieme Verlag, Stuttgart 2000

Schwenzer N, Reitemeier B, Ehrenfeld M: Einführung in die Zahnmedizin. Georg Thieme Verlag 2006, 228-231

Slavicek R (1980): Gelenkpositionsdiagnostik und gezielte Initialtherapie mit Aufbißschiene im Unterkiefer. Dtsch Zahnärztl Z 35(6), 616-620

Slavicek R (1981): Die Axiographie mit paraokklusalem Löffel. Inf Orthod Kieferorthop 13, 303-307

Slavicek R (1988): Clinical and instrumental functional analysis for diagnosis and treatment planning: Part 7: Computer-aided axiography. J Clin Orthod 22, 776-778

Stelzenmüller W, Wiesner J: Therapie von Kiefergelenksschmerzen. 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2010, 6-8, 179-182, 203-216

Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hülzeler MB, Kern M: Curriculum Prothetik. 1.Band, 3.Auflage, Quintessenz Verlag, Berlin 2005, 116-118, 135-147, 297-318

Türp JC (2003): Ist die instrumentelle Funktionsanalyse eine empfehlenswerte Maßnahme zur Diagnostik kraniomandibulärer Funktionsstörungen. DZZ 58(8), 477-481

Türp JC, Nilges P (2000): Diagnostik von Patienten mit chronischen orofazialen Schmerzen. Die Quintessenz 51, 721-727

Türp JC, Marinello CP (2002): Schmerzfragebogen für Patienten mit chronischen orofazialen Schmerzen. Die Quintessenz 12, 1333-1340

Utz KH: Zur Indikation des Gesichtsbogens. In: Mitteilungen Berliner Zahnärzte 4, 1997, 19-22

Utz KH, Lehner B, Swoboda R, Duvenbeck H, Oettershagen K (1987): Paraokklusale Axio-graphie: Über die Protrusionsbahn bei Vollbezahnten- Eine klinisch-experimentelle Untersuchung. In: Schweizerische Monatszeitschrift 97(4), 438-446

Verch S: Vergleichende Untersuchung der Messergebnisse der sagittalen Kondylenbahnneigung und des Bennettwinkels dreier Registrierverfahren. Med. Diss. Berlin 2002

URL:[http://www.diss.fu-](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000000651/)

[berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000000651/](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000000651/)

Ververs MJB, Ouwerkerk JL, van der Heijden G, Steenks MH, De Wijer A (2004): Ätiologie der kranio-mandibulären Dysfunktion: eine Literaturübersicht. Dtsch Zahnärztl Z 59, 556-562

Waldeyer A, Mayet A: Anatomie des Menschen Bd. 2. Walter de Gruyter Verlag, Berlin 1993, 94-96

Wiegand HF: Vergleichende Untersuchung zur Wirkweise unterschiedlicher Schienentherapie-konzepte bei anteriorer Diskusverlagerung mit Reposition. Med. Diss. Göttingen 2012

Wikipedia- Die freie Enzyklopädie.

URL:http://www.en.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9zier_curve (08.06.13, 18:00Uhr)

Wirth CG (1996): 20 Jahre Axiographie. Inf Orthod Kieferorthop, 28(4), 467-471

Zarb GA, Carlsson GE: Physiologie und Pathologie des Kiefergelenks. Quintessenz Verlag, Berlin 1985, 115-120

Zhang S, Gersdorff N, Frahm J (2011): Real-Time Magnetic Resonance Imaging of Temporomandibular Joint Dynamics. Open Med Imaging J 4, 1-9

Zimmer B, Keese E, Kubein-Meesenburg D (1989): Untersuchungen zur Reliabilität achsiographischer Aufzeichnungen mit dem SAS-System. Dtsch Zahnärztl. Z 44, 58-61

Zimmer B, Treichel A, Kubein-Meesenburg D (1990): Axiographische Auffälligkeiten in Patientengruppen mit klinisch unterschiedlichen Funktionszuständen. Dtsch Zahnärztl Z 45, 78-82

7 Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Sagittalschnitt durch das Kiefergelenk bei geschlossener Mundposition.....	5
Abb.2: Die drei Hauptgruppen von ätiologischen Ursachen.....	14
Abb.3: Okklusale Distractionsschiene zur Kiefergelenkentlastung.....	26
Abb.4: Funktionskompartimente und fkt. Verschlüsse des orofazialen Systems.....	28
Abb.5: Zentrierung des orofazialen Systems durch die geschlossene Ruhelage.....	29
Abb.6: Prinzip der Kalottenschiene.....	31
Abb.7: Schematische Darstellung des SAM-AXIOGRAPH III.....	34
Abb.8 a-c: Schlussbisslage, Protrusion und Kieferöffnung mit Kalottenschiene.....	36
Abb.9: Schematische Darstellung des AXIODAPT.....	37
Abb.10: Paraokklusaler Adapter AXIODAPT, individualisiert.....	38
Abb.11: Schematische Darstellung des Schienen-Adapters.....	39
Abb.12: Referenzposition des SAP am Patienten.....	41
Abb.13: Flaggenbogen mit Verlängerungsarmen und hinteren Querstangen.....	42
Abb.14: Fertige Anbringung und Ausrichtung des Flaggen- u. Registrierbogens.....	44
Abb.15: Eingesetzte gelbe Schreibbuchse vor der Aufzeichnung.....	46
Abb.16: Dreimalige Aufzeichnung der maximalen Protrusion.....	46
Abb.17: Bewegungsspur der maximalen Protrusion.....	47
Abb.18: Beschichtung der individualisierten Innenseite des AXIODAPT.....	48
Abb.19: Ausrichtung der Orbitalzeigerspitze.....	48
Abb.20: Einzeichnung der Referenzlinie.....	49
Abb.21: Bézier-Kurve in Adobe Illustrator.....	51
Abb.22: Axiogramme und digital nachgezeichneten Protrusionsspuren.....	52

Abb.23: Verschobene Protrusionsspur eines fehllokalisierten SAPs.....	53
Abb.24: Exemplarischer Auszug aus dem Harmonie-Bewertungsbogen.....	54
Abb.25: Histogramm der gemittelten Differenzen zwischen mS und oS.....	62
Abb.26: Darstellung der Reliabilität zwischen Prüfer 1 und Prüfer 2.....	63
Abb.27: Darstellung der Reliabilität zwischen Prüfer 2 und Prüfer 3.....	64
Abb.28: Darstellung der Reliabilität zwischen Prüfer 1 und Prüfer 3.....	65
Abb.29: Boxplot-Diagramm der Mediane über Prüfer 1.....	67
Abb.30: Boxplot-Diagramm der Mediane über Prüfer 2.....	68
Abb.31: Boxplot-Diagramm der Mediane über Prüfer 3.....	69
Abb.32: Darstellung der Mittelwerte als Graphik mit Konfidenzintervall (95%).....	70

8 Tabellenverzeichnis

Tab.1: Die Kaumuskulatur mit Ursprung, Ansatz und Funktion.....	9
Tab.2: Einteilung der Pathophysiologie des Kauapparates nach Helkimo.....	11
Tab.3: Einteilung der Pathophysiologie nach Dworkin und LeResche.....	12
Tab.4: Bedeutung des p-Wertes.....	56

9 Anhang

9.1 Tabelle Längen

Mittelwert (MW) der Länge der maximalen Protrusion mit Schiene (mS) und ohne Schiene (oS) und deren Differenz (mS – oS)

Patient	MW mS	MW oS	Differenz zw. mS und oS (mS – oS)
1	8,05	6,34	1,71
2	10,56	8,86	1,70
3	10,15	10,08	0,07
4	10,26	9,23	1,04
5	10,62	10,00	0,63
6	10,60	10,75	-0,15
7	9,60	9,92	-0,32
8	4,35	5,05	-0,70
9	9,60	6,08	3,53
10	8,32	7,43	0,89
11	8,13	8,88	-0,75
12	9,71	9,95	-0,25
13	4,67	8,55	-3,89
14	11,47	9,28	2,19
15	11,49	8,65	2,83
16	8,96	9,65	-0,69
17	8,68	7,29	1,39
18	7,27	5,36	1,91
19	9,23	9,12	0,11
20	11,46	10,52	0,94
21	10,04	9,70	0,34

Patient	MW mS	MW oS	Differenz zw. mS und oS (mS – oS)
22	11,74	11,68	0,06
23	8,38	10,86	-2,48
24	8,41	7,26	1,15
25	6,60	8,56	-1,96
26	11,35	12,41	-1,06
27	10,07	9,30	0,77
28	7,64	8,82	-1,18
29	9,88	7,81	2,07
30	7,59	10,44	-2,85

9.2 Tabelle Harmonie

Median über den Score 1 (harmonisch) bis 5 (disharmonisch) von allen Prüfern (Alle P) und jedem Prüfer einzeln (P1 – P3)

Patient	Alle P mS	Alle P oS	P1 mS	P1 oS
1	3	4	3	4,5
2	2,5	3	2	2
3	3	2,5	3	2
4	2	2	1,5	2
5	2	3	1,5	2,5
6	1	2	1	2
7	2	2	2	2
8	3	3	3	2,5

Patient	Alle P mS	Alle P oS	P1 mS	P1 oS
9	2,5	2	2,5	2
10	2	2,5	2	1,5
11	1	2	1	2
12	5	3	4,5	3
13	3	3,5	2,5	3
14	5	4	4,5	4,5
15	2	2	1,5	2
16	2	4	1	4
17	1	4	1	4
18	2	1	2	1
19	2	4	1,5	3
20	4	2	4	1
21	2	3,5	1,5	3,5
22	3	3,5	3	3,5
23	2	3	2	2
24	1,5	3	1,5	3
25	2	2	1	1,5
26	3	5	3	5
27	2,5	3	1,5	3,5
28	4	2	4	2
29	2	2	1	1,5
30	2	2	1	2

Patient	P2 mS	P2 oS	P3 mS	P3 oS
1	2,5	4	3	3,5
2	2,5	3	3	3,5
3	2,5	2,5	2,5	4
4	2,5	2	2,5	2,5
5	2,5	3,5	2	3
6	1	2	1	3
7	2	1	2	3
8	2,5	2,5	4	3
9	3	4	2,5	2
10	2,5	3,5	2,5	2,5
11	2	1,5	1	3
12	4	3	5	5
13	2,5	3	4	3,5
14	4,5	4	5	3,5
15	2	1,5	2,5	2
16	2	4	2,5	4
17	1,5	3	1	5
18	2	1	2	1
19	1,5	4	2,5	4
20	4	2	4	2
21	2	3	4	5
22	3	3	3	5
23	1,5	3	3	3,5
24	1,5	3	1,5	3,5
25	2	2	3	2
26	3	3,5	3	5
27	2,5	3	3,5	2,5
28	4	2	5	3,5
29	2	2	2	3
30	2	2	3	3

9.3 Tabelle Winkel

Mittelwerte (MW) aus den Winkeln der rechten und linken Kiefergelenksseite für die drei Segmente initial, medial, terminal und die beiden Schienenformen mit, ohne.

Patient	Schiene	Segment	Winkel (MW re/li) [°] mS	Winkel (MW re/li) [°] oS
1	mit	initial	27,53	42,20
1	mit	medial	26,36	42,46
1	mit	terminal	25,56	40,29
2	mit	initial	52,13	39,60
2	mit	medial	43,54	43,82
2	mit	terminal	40,60	41,95
3	mit	initial	48,53	27,21
3	mit	medial	36,08	33,28
3	mit	terminal	34,08	32,93
4	mit	initial	26,48	39,76
4	mit	medial	30,76	42,59
4	mit	terminal	32,62	40,09
5	mit	initial	33,65	20,90
5	mit	medial	32,59	24,30
5	mit	terminal	28,64	24,72
6	mit	initial	38,73	43,19
6	mit	medial	40,75	43,17
6	mit	terminal	37,14	37,19
7	mit	initial	48,24	37,60
7	mit	medial	46,42	38,57
7	mit	terminal	40,20	37,58
8	mit	initial	12,93	42,10
8	mit	medial	15,01	43,81
8	mit	terminal	14,60	42,52

Patient	Schiene	Segment	Winkel (MW re/li) [°] mS	Winkel (MW re/li) [°] oS
9	mit	initial	30,69	31,80
9	mit	medial	28,85	30,00
9	mit	terminal	23,07	25,92
10	mit	initial	24,83	42,31
10	mit	medial	16,65	40,06
10	mit	terminal	9,96	31,05
11	mit	initial	35,04	38,52
11	mit	medial	35,45	36,87
11	mit	terminal	33,71	32,30
12	mit	initial	43,16	38,83
12	mit	medial	38,06	37,64
12	mit	terminal	31,03	33,76
13	mit	initial	39,06	52,93
13	mit	medial	39,06	53,73
13	mit	terminal	33,86	48,93
14	mit	initial	27,24	31,83
14	mit	medial	24,86	30,43
14	mit	terminal	23,11	29,22
15	mit	initial	37,89	44,18
15	mit	medial	39,29	43,73
15	mit	terminal	35,63	39,36
16	mit	initial	36,48	44,71
16	mit	medial	38,27	43,02
16	mit	terminal	38,11	38,73
17	mit	initial	42,80	23,54
17	mit	medial	41,73	29,34
17	mit	terminal	39,85	30,43
18	mit	initial	31,88	40,61
18	mit	medial	31,33	40,54
18	mit	terminal	28,81	35,65

Patient	Schiene	Segment	Winkel (MW re/li) [°] mS	Winkel (MW re/li) [°] oS
19	mit	initial	44,98	34,42
19	mit	medial	42,67	37,33
19	mit	terminal	37,50	31,98
20	mit	initial	24,92	42,31
20	mit	medial	28,29	44,85
20	mit	terminal	28,64	39,22
21	mit	initial	40,21	35,03
21	mit	medial	41,93	35,11
21	mit	terminal	37,27	30,43
22	mit	initial	25,29	34,94
22	mit	medial	28,37	34,14
22	mit	terminal	25,10	31,73
23	mit	initial	27,23	50,48
23	mit	medial	25,54	44,09
23	mit	terminal	23,20	33,59
24	mit	initial	29,79	40,63
24	mit	medial	31,38	40,76
24	mit	terminal	29,74	34,45
25	mit	initial	43,73	42,14
25	mit	medial	44,42	41,93
25	mit	terminal	40,82	37,31
26	mit	initial	43,75	39,15
26	mit	medial	29,10	37,61
26	mit	terminal	14,76	31,27
27	mit	initial	37,84	31,39
27	mit	medial	38,91	36,53
27	mit	terminal	34,01	34,25
28	mit	initial	41,56	40,87
28	mit	medial	37,57	44,13
28	mit	terminal	32,61	44,07

Patient	Schiene	Segment	Winkel (MW re/li) [°] mS	Winkel (MW re/li) [°] oS
29	mit	initial	25,36	29,97
29	mit	medial	29,21	30,16
29	mit	terminal	24,14	27,83
30	mit	initial	34,46	33,14
30	mit	medial	33,14	35,46
30	mit	terminal	28,77	30,71

Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn PD Dr. med. dent. Nikolaus Gersdorff für die Überlassung des Themas dieser Dissertation. Ganz besonders möchte ich mich hier für die hervorragende Betreuung während der Durchführung meiner Arbeit bedanken.

Danken möchte ich ebenfalls Frau Dr. Katharina Lange und den Mitarbeitern des Instituts für Medizinische Statistik der Universität Göttingen für die kompetente und freundliche Anleitung und Hilfestellung bei der statistischen Auswertung.

Mein Dank gilt darüber hinaus Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Engelke für die Einführung in die Prinzipien und die Thematik der bimaxillären Kalottenschiene sowie für die Mithilfe bei der Auswahl der geeigneten Untersuchungsparameter.

Weiterhin möchte ich Julian Bierbaum, Zahnarzt und Mediengestalter (DPM) an der Uniklinik Göttingen, für die Unterstützung bei der Erarbeitung der graphischen Umsetzung und Digitalisierung der Axiogramme danken.