

**Untersuchungen zur Evaluierung der Kondylenposition
bei unterschiedlichen Registrierverfahren**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Miriam Klitzschmüller

aus Köln

2011

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. H. Stark
2. Gutachter: Prof. Dr. M. Frentzen

Tag der Mündlichen Prüfung: 26. Juli 2011

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffwissenschaften
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Bonn

Direktor: Prof. Dr. H. Stark

für meinen Vater

	Seite
Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung	9
2. Grundlagen	12
2.1. Anatomie und Pathologie der Kaumuskulatur und des Kiefergelenkes	12
2.1.1. Kaumuskulatur	12
2.1.1.1. Musculus masseter	12
2.1.1.2. Musculus temporalis	13
2.1.1.3. Musculus pterygoideus lateralis	14
2.1.1.4. Musculus pterygoideus medialis	15
2.1.1.5. Kauhilfsmuskulatur	15
2.1.1.6. Kaukraft	17
2.1.2. Kiefergelenk	18
2.2. Kraniomandibuläre Dysfunktionen	21
2.2.1. Ätiologie, Symptomatik, Prävalenz und Epidemiologie von CMD	21
2.2.2. Diagnostik von CMD	24
2.2.2.1. Klinische Funktionsanalyse (manuelle Funktionsanalyse)	25
2.2.2.2. Instrumentelle Funktionsanalyse und –diagnostik (Axiographie)	29
2.2.2.3. Bildgebende Verfahren	31
2.2.3. Therapie von CMD	33
2.3. Kieferrelationsbestimmung	36
2.3.1. Vertikale Kieferrelationsbestimmung	36
2.3.2. Horizontale Kieferrelationsbestimmung	37
2.3.2.1. Reproduzierbarkeit	38
2.4. Therapeutische Kondylenpositionen	40
2.4.1. Maximale Interkuspitation (MI)	40
2.4.1.1. Bestimmung der Maximalen Interkuspitation (MI)	40
2.4.2. Zentrische Kondylenposition (ZKP)	41
2.4.2.1. Bestimmung der ZKP manuell und instrumentell	41
2.5. Grenzbewegungen des Unterkiefers	44
2.5.1. Sagittale Grenzbewegungen	45
2.5.2. Horizontale Grenzbewegungen	45
3. Material und Methode	47
3.1. Probanden	47
3.2. Versuchsaufbau	48
3.2.1. Vorbereitende Maßnahmen	48
3.2.2. Probandenvorbereitung	50
3.2.3. Versuchsablauf	50
3.2.3.1. DIR [®] -Messung	51
3.2.3.2. Elektronische Funktionsanalyse	55
3.2.3.3. Elektronische Positionsanalyse	59
3.2.4. Schienentherapie	61
3.3. Gerätebeschreibung	62

3.3.1.	Zebri [®] -elektronisches Registrierverfahren CMS20 JMA und WinJaw 10.5	62
3.3.2.	DIR [®]	64
3.3.3.	Messartikulator	65
3.4.	Auswertung	68
3.4.1.	Elektronische Funktionsanalyse	68
3.4.2.	Elektronische Positionsanalyse	69
3.4.3.	Messartikulator	69
3.5.	Statistische Auswertung	70
4.	Ergebnisse	71
4.1.	Auswertung der Ergebnisse der elektronischen Funktionsanalyse	71
4.1.1.	Allgemeiner und statistischer Vergleich von Condyle Range of Motion und	
4.1.2.	Incisal Range of Motion vor und nach Schienentherapie	71
4.1.3.	Graphischer Vergleich von Condyle Range of Motion und Incisal Range of Motion vor und nach Schienentherapie	73
4.2.	Auswertung und Ergebnisse der elektronischen Positionsanalyse	75
4.2.1.	Allgemeiner Vergleich der Ergebnisse der EPA	75
4.2.2.	Graphischer Vergleich der Registrierverfahren (-techniken) mit der EPA separat für X-, Y- und Z-Achse	77
4.2.2.1.	X-Achse	77
4.2.2.2.	Y-Achse	78
4.2.2.3.	Z-Achse	79
4.2.3.	Statistischer Vergleich der Registriertechniken (-verfahren) mit der EPA	80
4.2.4.	Auswertung der Reproduzierbarkeit unterschiedlicher Registriertechniken	82
4.3.	Auswertung der Ergebnisse des Messartikulators	84
4.3.1.	Allgemeiner und statistischer Vergleich der Ergebnisse des Messartikulators	84
4.3.2.	Graphischer Vergleich der Ergebnisse des Mesartikulators	87
5.	Diskussion	89
5.1.	Elektronische Funktionsanalyse	89
5.1.1.	Condyle Range of Motion und Incisal Range of Motion	89
5.2.	Elektronische Positionsanalyse	92
5.2.1.	Vergleich der Kondylenpositionen bei unterschiedlichen Registriertechniken	92
5.2.2.	Vergleich der Reproduzierbarkeit unterschiedlicher Registriertechniken	98
5.3.	Messartikulator	101
6.	Zusammenfassung	104
7.	Summary	106
8.	Literaturverzeichnis	108
9.	Danksagung	119
10.	Lebenslauf	120

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
AFDT	Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie
bzw.	beziehungsweise
©	Copyright
°C	Grad Zelsius
cm	Zentimeter
CMD	craniomandibuläre Dysfunktionen
CRoM	Condyle Range of Motion
CT	Computertomographie
CV	Coefficient of variation
DGFDT	Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie
DGSS	Deutsche Gesellschaft zum Studium des Schmerzes
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
d.h.	das heißt
DIR	dynamic intraoral registration
EMG	Elektromyographie
EPA	elektronische Positionsanalyse
et al.	et alii/et aliae/et alia (und andere)
Fa.	Firma
°	Grad
InRoM	Incisal Range of Motion
IHS	International Headache Society
IKP	Interkuspitationsposition
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
M.	Musculus
mA	Milliampere
Max.	Maximum

MI	maximale Interkuspitation
Min.	Minimum
mm	Millimeter
mm ²	Quadratmillimeter
Mrd.	Milliarde
MRT	Magnetresonanztomographie
µm	Mikrometer
N	Newton
N.	Nervus
Nn.	Nervi
OPG	Orthopantogramm
PC	personal computer/persönlicher Computer
®	Rechtsmarke
RDC/TMD	Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders
RKP	retrale Kontaktposition
s	Sekunde
SD	relative Standardabweichung
s.o.	siehe oben
sog.	sogenannt
u.a.	und andere
u.A.	unter Anderem
u.ä.	und ähnliches
USA	United States of America
USB	Universal Serial Bus
US \$	United States Dollar
u.U.	unter Umständen
z.B.	zum Beispiel
ZKP	zentrale Kondylenposition

1. Einleitung

Dysfunktionen des Bewegungsapparates des Kauystems (kranio-mandibuläre Dysfunktionen kurz CMD) weckten schon vor Jahrzehnten das Interesse von Zahnärzten und Fachärzten (Hansson et al. 1987). Es handelt sich hierbei um eine heterogene Gruppe von Erkrankungen der Kiefergelenke und der Kaumuskulatur welche international auch als „temporo-mandibular disorders“ oder „craniomandibular disorders“ bezeichnet werden (John 1999a).

Epidemiologische Studien zeigen, dass bei 60-80% der untersuchten Kinder und Erwachsenen Funktionsstörungen vorliegen (Siebert 1984), eine in Deutschland durchgeführte epidemiologische Studie an 4310 Männern und Frauen (Study of Health in Pomerania „SHIP“) von Gesch et al. (2004) stellte bei fast der Hälfte aller Untersuchten Symptome einer CMD fest. Diese Tatsache ist von Zahnärzten und Fachärzten besonders zu berücksichtigen, da CMD als Differenzialdiagnose sowohl zur endodontischen Behandlung (Köneke 2008), bei Pulpitis und apikaler Parodontitis (Diedrichs und Kordaß 1993), als auch bei chronischen Ohr-, Kopf- und Rückenbeschwerden (Hansson et al. 1987) sowie bei Hörstörung (z.B. Tinnitus), Schwindel, Sehstörung, Globusgefühl, Angst und Depression (Saha 2008) in Betracht gezogen werden muss. Dem Zahnarzt muss weiterhin klar sein, dass jeder Verlust oder auch Stellungsänderung der Zähne sowie idiopathische oder iatrogene Umformung der okklusalen Funktionsflächen zwangsläufig zu einer Veränderung der intermaxillären Relation und folglich auch zu einer Verlagerung der Kondylen im „Funktionsraum Kiefergelenk“ führen (Lotzmann 1994). Im Umkehrschluss bedeutet dies allerdings auch, dass abgesehen von kieferchirurgischen Eingriffen und kieferorthopädischer Therapie, Kondylenfehlstellungen lediglich über Veränderungen der Okklusion korrigiert werden können (Kubein-Meesenburg 1985).

Für die richtige Diagnose und Behandlung von Funktionsstörungen im Kauorgan ist unter Anderem die Beurteilung der intraartikulären Verhältnisse im Kiefergelenk notwendig (Kleinrok 1986). Mittel der Wahl zur Behandlung von CMD ist meist die Okklusions-

schiene. Stachniss (1984) beschrieb treffend: „Die Okklusionsschiene ist für die Funktionsstörung das, was die Brille für die Sehstörung ist.“

Zur Anfertigung einer solchen Schiene ist die Festlegung einer therapeutischen Kondylenposition notwendig. Über diese herrscht in der Literatur allerdings Uneinigkeit. So bevorzugen beispielsweise Diedrichs und Kordaß (1993) die muskuläre Zentrik (ZKP), wohingegen Besimo (2003) den Patienten bewusst nicht in die Richtung der vermuteten zentrischen Gelenkrelation führt, um eine aufgrund des Muskelhypertonus zu erwartende reflektorische Muskelverspannung zu vermeiden. Er ermittelt via Handbissnahme die aktuell tolerierte Zentrik des Patienten, indem der Unterkiefer vom Behandler lediglich in der vom Patienten vorgegebenen Rotationsbewegung gehalten wird. Stachniss (1984) benutzt die Schiene als Hilfsmittel um die Muskulatur zu lockern, um anschließend das Nehmen des Zentrikregistrats zu erleichtern. Was bedeutet, dass die Anfertigung eines korrekten ZKP-Registrats bei verspannter Muskulatur gar nicht möglich ist. Auch Koeck und Utz (1995) sehen als Voraussetzung zur Festlegung der ZKP zum Einen genügend Erfahrung des Behandlers und zum Anderen eine entspannte Kaumuskulatur. Die ZKP ist definiert als kranioventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe (DGZMK 1992). Sie wird durch die symmetrische Stellung beider Kondylen in den Gelenkgruben bestimmt. In dieser Position sind geführte Unterkiefer-Öffnungs- oder Schließbewegungen von etwa 2 cm möglich. Die Kondylen rotieren dann um die individuelle Scharnierachse. Die ZKP ist dabei eine Haltung, die der Patient in der Regel nicht von alleine einnehmen kann. Es handelt sich um eine vom Behandler geführte Unterkieferposition, die beim Bezahnten bei Zahnkontakt meist zu einer erhöhten Vertikalrelation führt (Koeck und Utz 1995).

Eine Registriermethode soll nach Hupf auf (1971) in erster Linie exakt und reproduzierbar sein, erst in zweiter Linie einfach zu erlernen und zeitsparend. Daraus ergeben sich zwei Probleme bei der Gewinnung des ZKP-Registrats:

1. Wird es mittels der Handgriffe nach Lauritzen (1972 und 1974) oder Dawson (1978) angefertigt, so kann es bei manueller Führung der Mandibula durch den Behandler in die ZKP zu differierenden Ergebnissen bei verschiedenen

Behandlern kommen (Lentner et al. 1997) sowie zur Übernahme von Fehlern durch eine verspannte Muskulatur.

2. Wird es mittels intraoralem Stützstift genommen (Dreipunktstützung durch beide Kondylen sowie Stützstift mit Schreibplatte) so kommt es bei hohen Kieferschließkräften zu einer verstärkten Bewegung der Kondylen aus ihrer Referenzposition (Jüde et al. 1990 und 1991, Linsen et al. 2006).

Im Rahmen dieser Studie sollten drei verschiedene Verfahren zur Relationsbestimmung miteinander verglichen werden.

1. Kieferrelationsbestimmung in zentrischer Kondylenposition (ZKP).
2. Kieferrelationsbestimmung in maximaler Interkuspitation (MI).
3. Kieferrelationsbestimmung mit Hilfe des Dynamic Intraoral Registration (DIR[®])-Systems.

Ziel war es weiterhin, die Kondylenposition im Kiefergelenk zu evaluieren und zwar vor und nach dreimonatigem Tragen einer, nach dem DIR[®]-System angefertigten, Okklusionsschiene.

Dabei sollten folgende Fragen beantwortet werden:

1. Gibt es Unterschiede im Bewegungsspielraum der Kondylen und des Inzisalpunktes vor und nach der Schientherapie?
2. In wie weit unterscheiden sich die Kondylenpositionen bei unterschiedlichen Registrierverfahren?
3. In wie weit sind die Kondylenpositionen bei der Durchführung verschiedener Registriertechniken (MI, ZKP, DIR[®]) reproduzierbar?
4. Stimmen die Ergebnisse von elektronischer Positionsanalyse mit denen des Mesartikulators überein?
5. Welchen Einfluss hat die Schientherapie auf die Kondylenposition und die Reproduzierbarkeit bei Anwendung verschiedener Registriertechniken?

2. Grundlagen

Ein gesunder bzw. physiologischer Zustand des stomatognathen Systems liegt vor, wenn morpho-funktionelle Harmonie zwischen den einzelnen Strukturen besteht, welche sind: Zähne, Parodont, Kieferknochen, Kiefergelenke, am Unterkiefer ansetzende Muskulatur und Ligamente, Lippen-, Wangen- und Zungenmuskulatur, Hilfsmuskulatur (mimische Muskulatur) sowie die Gefäß- und Nervenversorgung (Siebert 1984). Im Folgenden wird näher auf die Kaumuskulatur und das Kiefergelenk eingegangen.

2.1. Anatomie und Pathologie der Kaumuskulatur und des Kiefergelenks

2.1.1. Kaumuskulatur

Das komplexe Bewegungsmuster des Unterkiefers gegenüber dem Oberkiefer wird durch das Zusammenspiel von Kau- und Kauhilfsmuskulatur ermöglicht (Delbach 2005). Hinsichtlich der klinisch-funktionellen Beurteilung der Muskulatur ist eine genaue Kenntnis der einzelnen Muskeln, insbesondere deren Ursprung, Ansatz, Zugrichtung, Innervation, Größe, Konsistenz und Aktivitätsrelation erforderlich (Troest 1995).

Zur Kaumuskulatur zählen:

2.1.1.1. **Musculus masseter:**

Der Muskel besteht aus zwei Anteilen, der Pars superficialis und der Pars profunda. Die Anordnung in eine äußere (superfizielle) Schicht mit schräggestellter Faserrichtung und eine tiefere (profunde) Schicht mit „vertikaler“ Faserrichtung ist Voraussetzung für eine optimale Kraftentfaltung unter verschiedenen Arbeitsbedingungen (Troest 1995).

Schindler et al. (1999) sprechen von einem anterioren und einem posterioren Muskelareal. Sie bestätigen eine funktionelle Kompartimierung. So ist bei isometrischer Kontraktion das anteriore Muskelareal zu 80% und das posteriore Muskelareal zu 60% aktiv. Auch beim Schlucken und Sprechen ist das anteriore Areal das aktivere. Beide Anteile sind an ihrem Vorderrand miteinander verschmolzen und bilden eine nach hinten offene Tasche, in der sich Abszesse bilden können (Dauber 1995).

Die Pars superficialis entspringt dem Unterrand der vorderen 2/3 des Jochbogens (Arcus zygomaticus) und zieht schräg nach unten zum Unterkieferwinkel (Angulus mandibulae), wo sie an der Tuberositas masseterica ansetzt (Sobotta 2000). Sie bildet über den Ramus mandibulae hinweg eine Kaumuskelchlinge mit dem M. pterygoideus medialis. Bei beidseitiger Kontraktion schließt die Pars superficialis den Unterkiefer. Bei Mahlbewegungen führt sie den Unterkiefer auf der Balanceseite schräg nach vorn (Dauber 1995). Besonders beim Kauen großer Bissen (Okklusionsflächen haben Abstand voneinander) hat die superfizielle Schicht eine günstige Zugrichtung (Troest 1995). Bruxieren auf den Schneidekanten der Frontzähne führt zu einer Überanstrengung und infolgedessen auch zu einer pathologischen Reaktion im superfiziellen Teil des Masseters.

Die Pars profunda kann sehr variabel ausgebildet sein. Sie entspringt der Innenfläche des hinteren Drittels des Arcus zygomaticus und reicht senkrecht nach unten zum mittleren Drittel der Außenfläche des Ramus mandibulae. Faseranteile des Muskels können unter dem Jochbogen hindurch zum M. temporalis ziehen und sich mit diesem und/oder der tiefen Temporalisfaszie fest verbinden. Häufig werden die kiefergelenknahen Muskelanteile dabei durch Bindegewebe ersetzt. Immer strahlen Abschnitte der Pars profunda oder dieses Bindegewebes vorne und lateral in das disko-kapsuläre System ein (Dauber 1995), dadurch kann der Masseter über die Kapselspannung auch die Kapselrezeptoren beeinflussen (Bumann und Lotzmann 2000). Außerdem helfen sie während der Unterkieferbewegung den Diskus auf seiner Bahn zu sichern (Dauber 1995). Pathologische Reaktionen in der Pars profunda findet man beim Pressen in IKP (Troest 1995).

Bei einer Mundöffnung von 15-20 mm ist im M. masseter die niedrigste EMG-Aktivität messbar. Ferner kann aus dieser Position die größte Kaukraft generiert werden (Bumann und Lotzmann 2000).

2.1.1.2. Musculus temporalis:

Ursprung des Temporalis ist das Os temporale unterhalb der Linea temporalis inferior und das tiefe Blatt der Fascia temporalis (Sobotta 2000). Der Ansatz des Muskels erstreckt sich über den Processus coronoideus hinweg entlang des Ramus mandibulae

bis in die Höhe der Kauebene. Zusätzlich inseriert er im Bereich des lateralen Drittels der Raphe pterygomandibularis, was ihm die Möglichkeit gibt, den Pharynx beim Schlucken nach hinten oben außen zu erweitern. Diese Muskelportion kann in eine breite, derbe Sehne übergehen, die bei der Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior als Widerstand spürbar ist. Der M. temporalis verbindet sich direkt mit der lateralen vorderen Ecke des diskokapsulären Systems (Dauber 1995). Auch im M. temporalis findet man verschiedene Faserrichtungen. Im anterioren Teil ist die Richtung „vertikal“, er dient somit als Elevatormuskel. Die Fasern des posterioren Teils sind schräg bis horizontal gerichtet, deshalb kann der posteriore Teil auch als Retraktor wirken. Während normaler Öffnungs- und Schließbewegungen sowie beim Zähnepressen ist die Aktivität in allen Teilen annähernd gleichmäßig hoch. Bei Kaubewegungen gibt es jedoch große Unterschiede zwischen Pars anterior und Pars posterior. Auf der Arbeitsseite ist die Aktivität höher als auf der Balanceseite. Während Lateralbewegungen hat eine Eckzahnführung im Vergleich zur Gruppenführung eine niedrigere EMG-Aktivität (Bumann und Lotzmann 2000).

2.1.1.3. Musculus pterygoideus lateralis:

Der Muskel besteht meistens aus einem kleineren oberen und einem größeren unteren Kopf. Funktionell verhalten sich die beiden Köpfe antagonistisch, man findet eine strukturelle und funktionelle Zweiteilung (Troest 1995). In der Regel besteht aber ein Austausch von Faserbündeln zwischen den beiden Köpfen. Es kann auch ein dritter oder mittlerer Kopf vorkommen, welcher mit dem oberen Kopf in Verbindung steht und dessen funktionelles Verhalten unbekannt ist (Dauber 1995).

Der obere Kopf (Caput superius) entspringt der äußeren Fläche der Lamina lateralis des Processus pterygoideus und dem Tuber maxillae (Sobotta 2000). Sein Ansatz ist immer die Frontalseite des disko-kapsulären Systems. Fasern können medial der Fovea pterygoidea in den Knochen einstrahlen. Er ist wesentlich am Kieferschluss beteiligt, da er die Rückstellgeschwindigkeit des Diskus „dosiert“ (Dauber 1995). Während der Unterkieferbewegung und bei okklusaler und inzisaler Kraftausübung übt er eine stabilisierende Wirkung aus, so dass der Diskus nicht auf den glatten Gelenkflächen ausrutschen kann (Troest 1995).

Der untere Kopf (Caput inferius) entspringt der Facies temporalis der Ala major ossis sphenoidale und hat denselben Ansatz wie der obere Kopf (Sobotta 2000). Er ist bei beidseitiger Kontraktion der eigentliche Mundöffner, bei einseitiger Kontraktion bewirkt er eine Laterotrusion (Dauber 1995). Beide Muskelanteile arbeiten also nicht in der gleichen Kontraktionsphase während der disko-kondylären Bewegung (Troest 1995).

Nach neusten Studien der Universität Sydney muss die Funktion des Muskels neu beschrieben werden: Der untere Kopf ist demnach an der Mundöffnung, an der Protrusion, bei kontralateralen Unterkieferbewegungen und deren Feinsteuerung beteiligt. Der obere Kopf beteiligt sich teilweise an der Schließbewegung, zudem an Protrusion und Retrusion, sowie an ipsi- und kontralateralen Bewegungen (Vogel 2008).

Je kleinflächiger der M. pterygoideus lateralis am Kondylus ansetzt, desto größer ist die Tendenz zur anterioren Diskusverlagerung (Bumann und Lotzmann 2000).

2.1.1.4. Musculus pterygoideus medialis:

Der Muskel entspringt der Fossa pterygoidea und von einem kleinen Feld des Tuberculi maxillae, er setzt an der Innenseite des Angulus mandibulae an. Er ist ein Synergist des Masseters und bildet mit ihm eine Kaumuskelschlinge (Dauber 1995). Bis auf seinen Ansatz ist er nicht suffizient palpabel (Bumann und Lotzmann 2000).

2.1.1.5. Kauhilfsmuskulatur:

Kauhilfsmuskulatur ist die akzessorisch am Kauakt beteiligte Muskulatur. Diese umfasst die mimische Muskulatur, die kraniale und kaudale Zungenbeinmuskulatur, die Zungenmuskulatur, die Gaumen- und Schlundbodenmuskulatur, die Schlund- und Kehlkopfmuskulatur sowie Hals- und Nackenmuskulatur (Delbach 2005).

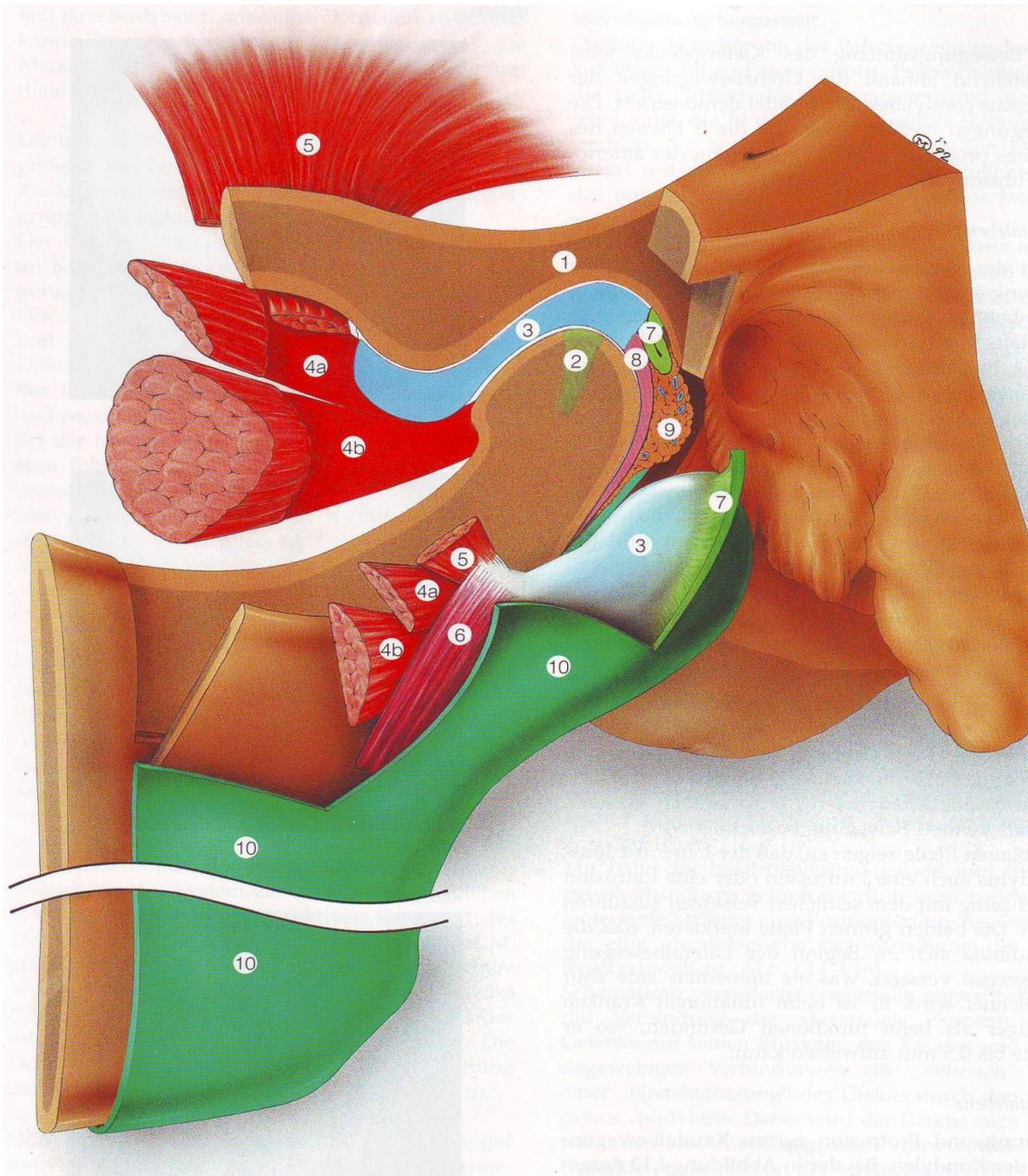


Abb. 2.1 Zeichnerische Rekonstruktion der Nachbarschaftsbeziehungen des Discus articularis. Das Kiefergelenk ist sagittal aufgeschnitten und nach lateral aufgeklappt

1: Os temporale mit Fossa mandibularis 2: Caput mandibulae mit medialem Kollateralband 3: Diskus articularis 4: M. pterygoideus lateralis a) oberer Kopf b) unterer Kopf 5: M. temporalis 6: M. masseter pars profunda 7: Bilaminäre Zone oberer Anteil 8: Bilaminäre Zone unterer Anteil 9: Retroartikuläres Polster 10: Bindegewebsplatte © Deutscher Zahnärzteverlag, Köln mit freundlicher Genehmigung aus: Siebert GK (1996) Atlas der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik.

2.1.1.6. Kaukraft

Die Kaukraft ist die gesamte Kraft mit der beide Zahnreihen gegeneinander gepresst werden können. Die in der Literatur zu findenden Werte für die Kaukraft divergieren stark. Einfluss auf die Kaukraft haben: Alter, Geschlecht, Beschaffenheit der Kaumusku- latur, Bezahnung, Art des Zahnersatzes und die verwendete Kaukraftmessmethode. Die theoretisch maximale vertikale Kaukraft der drei Kieferschließer liegt zwischen 1500 und 2000 N (Gühring und Barth 1992). Bei jungen gesunden Probanden beträgt die mittlere maximale Kaukraft 847 N für Männer und 597 N für Frauen (Waltimo und Könönen 1993). Patienten mit Muskelbeschwerden weisen bei isometrischer Anspannung eine reduzierte Kaukraft auf (Bumann und Lotzmann 2000). Ein Vergleich der Kaukraft von Totalprothesenträgern mit und ohne CMD zeigte keinen Unterschied (Hotta et al. 2008). Eine Studie bei Jugendlichen zwischen 12 und 18 Jahren zeigte jedoch, dass die Grup- pe mit CMD-Symptomen eine kleinere Kaukraft hatte. Die verdickte Muskulatur hatte offensichtlich einen Einfluss auf die Kaukraft. Bei der Kontrollgruppe gab es einen nega- tiven Zusammenhang zwischen Kaukraft und der Inklination des Kiefers sowie Überbiss (Pereira et al. 2007).

Die physiologische Kaukraft ist allerdings bedeutend geringer. Sie liegt zwischen 20 und 35 N (Gühring und Barth 1992) bzw. zwischen 200 und selten 2700 Pond bei Mastikation und inkursiven Unterkieferbewegungen (Siebert 1995). Übersteigt die Kau- kraft einen bestimmten Grenzwert, so wird eine weitere Steigerung der Kaukraft reflektori- sch verhindert um den Zahnhalteapparat vor Überlastung zu schützen (Gühring und Barth 1992). Jäger und Schneider (1992) stellten allerdings fest, dass bei Stresseinwir- kung die Kaukraftsteuerung den lokalen Kontrollmechanismen entgleitet und die Kraft 300 bis 600% ansteigt. D.h. dass bei spezifischen zentralen Störfaktoren das überge- ordnete zentrale Nervensystem eine Reaktionskette auslöst, welche den Einfluss lokaler Rezeptoren in Desmodont und Kaumusku- latur unterdrückt. Okklusionsstörungen führen unmittelbar nicht zu einem nennenswerten Kaukraftanstieg. Sie können offenbar via Re- gelkreis einfach kompensiert werden (Jäger und Schneider 1992).

Der Kaudruck ist der Anteil der Kaukraft pro 1 cm² Kaufläche. Er beträgt für Incisivi etwa 300N/cm², für Prämolaren 500N/cm² und für Molaren 800N/cm² (Gühring und Barth 1992).

2.1.2. Kiefergelenk

Das menschliche Kiefergelenk (*Articulatio temporomandibularis*) ist das wohl am schwierigsten zu verstehende Gelenk des menschlichen Körpers. Es besitzt keinen festen Drehpunkt und es wirken immer beide Kiefergelenke zusammen, da jede Bewegung im einen Gelenk unweigerlich zu einer Bewegung im anderen Gelenk führt. Die außergewöhnliche Verbindung der Mandibula mit dem Schläfenbein über die beiden Kiefergelenke erlaubt dem Unterkiefer, mit Hilfe der neuromuskulären Kontrolle ein Bewegungsrepertoire, das im Vergleich zu den anderen großen Gelenken des menschlichen Körpers einzigartig ist (Schindler und Türp 2005). Man unterscheidet im Kiefergelenk zwischen Rotations- und Translationsbewegungen, die durch die Zweiteilung des einzelnen Gelenkes hervorgerufen werden. Im oberen Teil des Gelenks, dem disko-maxillären Teil, finden Translationsbewegungen statt, im unteren Teil, dem diskomandibulären Teil, Rotationsbewegungen (Freesmeyer 2000). In der initialen Öffnungsphase (bis zu einer Mundöffnung von ca. 2cm) erfolgt hauptsächlich eine Rotation, die aber auch immer mit einer Translationskomponente einhergeht (Bumann und Lotzmann 2000, Ferrario et al. 1996). Über das sog. Ligamentum laterale kommt es dann zusätzlich zu einer Translationsbewegung durch die Pars inferior des M. pterygoideus lateralis, der die Mundöffnung auf bis zu 5 cm weiterführt. Die Kieferknochen ändern im Laufe des Lebens ihre Form und die Kauflächen der Zähne bestimmen die Bewegung teilweise mit (Lippert 2003). Das Kiefergelenk besteht aus einer Gelenkgrube (*Fossa mandibularis*) des Os temporale, die mit dem Kopf (*Caput mandibularis*) des Gelenkfortsatzes des Unterkiefers (*Processus condylaris*) artikuliert (Dauber 1995). Die Gelenkfläche (*Fossa glenoidalis*) hat in sagittaler Richtung einen S-förmigen Verlauf, d.h. die *Fossa articularis* ist konkav und die *Eminentia articularis* bis zum *Tuberculum articulare* konvex geformt (Freesmeyer 2000). Die gelenkführenden Flächen sind mit Faserknorpel überzogen (Dauber 1995), *Protuberantia* und *Eminentia* des Os temporale mit sog. sekundärem Knorpel, welcher nur durch funktionelle Belastung entsteht (Bumann und Lotzmann 2000). Der Gelenkflächenknorpel soll einerseits ein reibungsfreies Gleiten der artikulierenden Strukturen erlauben und andererseits kompressive Kräfte im Kiefergelenk gleichmäßig auf den subchondralen Knochen übertragen. Es ist experimentell bewiesen, dass die Gelenkflächen des Kiefergelenks mit 5-20 N belastet werden (Hylander 1979, Brehnan et al. 1981, Christensen 1986).

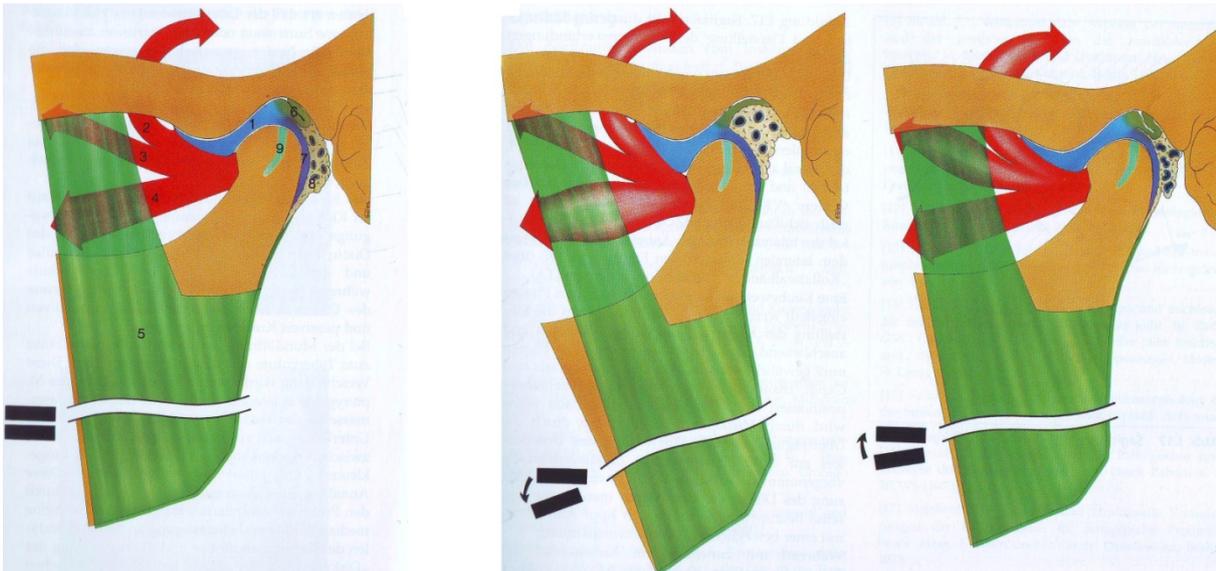


Abb. 2.2 Schematische Darstellung von Kiefergelenkspositionen am Sagittalschnitt

Ausgangsstellung → Mundöffnung → Mundschluss

1: Discus articularis 2: M. temporalis 3: M. pterygoideus lateralis oberer Kopf 4: M. pterygoideus lateralis unterer Kopf 5: Fascia parotidea und Fascia masseterica als Teil einer Bindegewebsplatte 6: Bilaminäre Zone oberer Anteil 7: Bilaminäre Zone unterer Anteil 8: Retroarticuläres Polster 9: mediales Kollateralband

© Deutscher Zahnärzterverlag, Köln mit freundlicher Genehmigung aus: Siebert GK (1996) Atlas der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik.

In habitueller Okklusion werden diese Kräfte teilweise von den okkludierenden Prämolaren und Molaren abgefangen. Zahnverluste können zu erhöhter Gelenkbelastung und regressiver Adaptation (Knorpeldegeneration, Knochenapposition) führen (Bumann und Lotzmann 2000). Zwischen den Gelenkflächen liegt der ebenfalls faserknorpelige, bikonkave Discus articularis (Dauber 1995). Im Randzonenbereich ist er ca. 3-4mm, im zentralen Bereich ca. 1-1,5mm dick (Wieselmann-Penkner 2006). Er kann funktionell in drei Bereiche untergliedert werden (Pars anterior, intermedia und posterior) die sich hinsichtlich der Verlaufsrichtung und Zusammensetzung der kollagenen und elastischen Fasern unterscheiden. Seine Hauptaufgabe besteht im reibungsreduziertem Gleiten und in der Verteilung von Belastungsspitzen (Bumann und Lotzmann 2000).

Das Kiefergelenk ist von einer Kapsel umgeben, welche manchmal lateral verstärkt und dann als Ligamentum laterale abgrenzbar ist. Dieses Ligamentum laterale kann in einen tiefen horizontalen Anteil, welcher die Retrusion und Laterotrusion hemmt und dadurch die bilaminäre Zone schützt, sowie einen oberflächlichen vertikalen Anteil unterteilt wer-

den. Der oberflächliche Teil hemmt die Mundöffnung, bei Anästhesie des lateralen Gelenkanteils kann die Mundöffnung um 10 bis 15% gesteigert werden (Bumann und Lotzmann 2000). Die das Kiefergelenk umgebende Kapsel ist mit dem Diskus fest verbunden, dadurch teilt der Diskus das Gelenk in eine obere und eine untere Kammer (Dauber 1995).

Kapsel und Diskus bilden eine funktionelle Einheit und werden als disko-kapsuläres System bezeichnet. Die dorsale Aufhängung des Systems ist der obere Schenkel der bilaminären Zone (Stratum superius), er ist vorwiegend elastisch und wird beim Vorgehen des Diskus gespannt (Dauber 1995), ist also auch für die Rückholbewegung des Diskus verantwortlich (Bumann und Lotzmann 2000). Der untere Schenkel der bilaminären Zone (Stratum inferius) enthält überwiegend kollagene Fasern und befestigt den Diskus am Processus condylaris (Dauber 1995). Er ist für die Stabilisierung des Diskus auf dem Kondylus verantwortlich.

Der M. masseter und das disko-kapsuläre System werden von einer Bindegewebsplatte bedeckt, welche aus Fascia parotidea und masseterica gebildet wird. Sie ist im Wesentlichen für die Rückführung des Diskus zuständig (Dauber 1995).

Durch eine bewegungs- und belastungsgerechte Positionierung des Diskus zwischen Caput mandibulae und der Fossa mandibularis wird ein harmonischer und reibungsarmer Bewegungsablauf garantiert. Bei Mundöffnung zieht der untere Kopf des M. pterygoideus lateralis den Unterkiefer nach vorne, dadurch wird das Caput mandibulae zum Tuberculum articulare hin transportiert, der obere Anteil der bilaminären Zone wird gedehnt. Durch die Rotation wird der untere Anteil der bilaminären Zone entspannt. Der Diskus soll dabei zwischen Caput und Fossa eingeklemmt und passiv mitgeführt werden. Entweder wird der Diskus „zwangsgeführt“, durch die mediale und laterale Befestigung an den Epikondylen des Caput, oder er wird durch Faserbündel des Pterygoideus lateralis aktiv transportiert. Für die Rückführung des Diskus beim Kieferschluss ist hauptsächlich die beschriebene Bindegewebsplatte verantwortlich, sie zieht den Diskus gemeinsam mit dem unteren Anteil der bilaminären Zone nach hinten. Der obere Anteil der bilaminären Zone entspannt sich und geleitet den Diskus in seine Ausgangsstellung. Die Geschwindigkeit der Rückführung wird durch den oberen Kopf des M. pterygoideus lateralis und den M. temporalis gesteuert (Dauber 1995). Die Geschwindigkeit der Be-

wegung des Diskus ist geringer als die des Kondylus, sowohl beim Öffnen als auch beim Schließen des Mundes. Nur so sind Form und Funktion in harmonischer Übereinstimmung (Troest 1995).

Allgemein anerkannt als optimale Lage der Kondylen ist die zentrische Relation, welche definiert ist als die maxillo-mandibuläre Beziehung in welcher die Kondylen gegen die dünnsten, avaskulären Teile der zugehörigen Disken artikulieren, wobei die Kondylus-Diskus-Komplexe in einer antero-kraniellen Lage am dorsalen Abhang der Eminentia articularis liegen (The Glossary Of Prosthodontic Terms, J Prosthet Dent 2005).

2.2. Kraniomandibuläre Dysfunktionen

2.2.1. Ätiologie, Symptomatik, Prävalenz und Epidemiologie von CMD

Nach Stachniss (1984) lösen okklusale Interferenzen eine Hyperaktivität der Kaumusku-
latur aus, wodurch es zu einer Veränderung des Muskeltonus und atypischen okklusalen
Abrasionen und Fehlstellungen des Unterkiefers sowie entsprechenden Gelenkverände-
rungen kommt. Auch Siebert (1984) sieht die Okklusionsstörung als einen Auslöser für
pathologische Prozesse in Muskulatur und Kiefergelenken an. Als weiteren Auslöser für
die Autodestruktion des stomatognathen Systems nennt er den neuromuskulär-
reflektorischen Bruxismus und die dadurch entstehenden massiven Abrasionen. Nach
Fallschlüssel (1984) muss man das Zustandekommen einer Funktionsstörung als Zu-
sammenspiel aus okklusaler Störung sowie psychischer Disposition und situativer
Stressbelastung sehen. Seiner Meinung nach kann nicht in Patienten mit okklusaler Stö-
rung und in Patienten mit psychischer Störung unterschieden werden, es sei stets eine
Kombination aus beidem am Zustandekommen der Funktionsstörung im Kausystem
beteiligt. Deshalb empfiehlt er die neutrale Bezeichnung „psychognathe Funktionsstö-
rung“. Auch Kleinrok (1986) betont, dass in der Regel lokale und psychogen bedingte
Faktoren gemeinsam auftreten und in Stresssituationen die Adaptationsfähigkeit zu Okk-
lusionsstörungen wesentlich abnimmt. Okklusionsstörungen die jahrelang akzeptabel
sein können, entwickeln dann Schmerzsymptome. Abschließend formuliert handelt es
sich bei dysfunktionellen Erkrankungen des Kausystems um eine inhomogene Gruppe
von Erkrankungen bekannter und unbekannter Ätiologie. Okklusale Faktoren und para-
funktionelle Aktivität sind wesentliche ätiologische Parameter, metabolisch-hormonale
Einflüsse, Traumata, generalisierte Gelenks- und Bindegewebskrankheiten und psychi-

sche Reaktionslage prädisponieren zur Manifestation. Grundsätzlich kann man von einer multifaktoriellen Ätiologie und Pathogenese, bei Dominanz einzelner Faktoren ausgehen (Diedrichs, Kordaß 1993). Allerdings stellt Greene (2001) den bio-psycho-sozialen Ansatz zugunsten eines idiopathischen Ansatzes (CMD entstehen danach unabhängig von anderen Krankheiten/Faktoren) schon wieder in Frage.

Der Symptomkomplex von CMD wurde erstmals von Costen 1934 beschrieben. Er reicht von Kiefergelenkgeräuschen, -knacken und -reiben über funktionsabhängige Schmerzen in Kaumuskulatur und Kiefergelenk, eingeschränkter und asymmetrischer Unterkieferbewegung bis hin zu Kopfschmerzen und Ohrsymptomen (John 1999a). Offiziell anerkannt ist die CMD als Ursache für Kopfschmerzen seit 2004. In diesem Jahr wurden von der IHS (International Headache Society) erstmals Kriterien definiert, die eine CMD als Ursache chronischer Kopfschmerzen beschreiben. Es gibt Schätzungen, dass bei einem Viertel aller chronischen Kopfschmerzpatienten eine CMD die Ursache der Problematik darstellt (Saha 2008). Schon im Jahr 1978 nahm Dawson aufgrund persönlicher klinischer Erfahrung an, dass etwa die Hälfte aller Menschen, die unter chronischen Kopfschmerzen leidet, durch zahnärztliche Behandlung davon befreit werden kann. Für ihn war der Zusammenhang zwischen Kopfschmerzen und Muskelspasmen offensichtlich. In jüngster Zeit wird auch der Zusammenhang zwischen Rückenschmerzen (Steinbock 2008) und sogar Knieschmerzen (Saha 2008) mit CMD diskutiert. Saha (2008) konnte feststellen, dass sich die Beckenstatik bei fast 90% der Patienten mit CMD ändert, abhängig davon ob der Mund geöffnet ist oder ob der Patient zubeißt. Die Verkippung des Beckens ist Folge der kinetischen Weiterleitung der asymmetrischen Funktion der Kaumuskulatur. Seedorf et al. (1999) konnten in einer Studie keinen Zusammenhang zwischen CMD und Beckentiefstand finden, ein signifikanter Zusammenhang mit passiver Rotation der mittleren Halswirbelsäule konnte jedoch nachgewiesen werden.

Was früher als Syndrom betrachtet wurde, ist nach neuerem Verständnis eine Überlappung von Symptomen (John 1999a).

Aufgrund der Vielzahl von diagnostischen Systemen zu Klassifikation von CMD, aber auch wegen Unterschieden in der Definition, in der Diagnostik, den verwendeten Untersuchungsmethoden sowie der Auswahl der Probandengruppen in den einzelnen Studien variieren die Prävalenzangaben in der Literatur stark (Sehrer 2006). Sie bewegen sich in

einem Bereich zwischen 5 und 80% (Chuang 2002; Goulet et al. 1995; Magnusson et al. 2000; Siebert 1984). Wobei der geschätzte subjektive Behandlungsbedarf mit ca. 3% (John et al. 2001; Magnusson et al. 2000) weit niedriger liegt.

Am häufigsten findet man CMD-Symptome in der Altersgruppe zwischen 18 und 45 Jahren, bei Älteren sinkt die Rate wieder (Locker und Slade 1988). Auffällig ist, dass bei älteren Probanden mehr degenerative Gelenkveränderungen zu finden sind, was durch die Altersabhängigkeit dieser Veränderung zu erklären ist (John 1999a). Für alle Symptome ist bei weiblichen Probanden die Häufigkeit des Auftretens rund doppelt so hoch wie bei Männern (Chuang 2002; Goulet et al. 1995). Dabei muss beachtet werden, ob Resultate auf epidemiologischen Studien beruhen oder aus klinischen Untersuchungen stammen. Das Krankengut in Kliniken bzw. in zahnärztlichen Praxen setzt sich überwiegend aus jüngeren und weiblichen Probanden zusammen. Das Verhältnis Frauen/Männer beträgt in der Regel 3:1 (Hupfauf 1995). Auch John und Wefers (1999b und c) bestätigen, dass mehr als doppelt so viele Frauen wie Männer eine Behandlung für CMD suchen; nach Gabler et al. (2001) sind es in klinischen Populationen sogar mehr als viermal so viele. Gründe hierfür könnten sein, dass jüngere Patienten und Frauen die Frage nach Symptomen gefühlvoller beantworten, das individuelle Schmerzempfinden, die Bewertung der Schmerzintensität und die Bereitschaft den Zahnarzt überhaupt zu konsultieren (Hupfauf 1995).

Fallschlüssel (1984) sieht den Grund für die höhere Prävalenz bei Frauen darin, dass sie eher dazu neigen Aggressionen über orale Mechanismen abzuleiten. Wohingegen Männer auch auf nicht-orale Aggressionsbewältigung (körperliche Anstrengung, Wutausbrüche u.ä.) zurückgreifen.

Auch der Einfluss von hormonellen Faktoren muss diskutiert werden. Junge Frauen die Kontrazeptiva verwenden, weisen ein höheres Risiko für CMD-Schmerzen auf. Ebenso ältere Frauen mit Hormonsubstitution (Le Resche et al. 1997). Verantwortlich hierfür ist der Östrogenstoffwechsel (Le Resche 2003). Begründung dafür, dass Frauen häufiger an Myoarthropathien leiden als Männer, ist vermutlich die gewebliche Disposition in Form von für Frauen typischer Bindegewebsschwäche (Hupfauf 1995).

Neben ihrer steigenden medizinischen Bedeutung besitzen CMD auch eine erhebliche gesundheitsökonomische Bedeutung für die Gesellschaft. In Deutschland werden die Ausgaben im Zusammenhang mit diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen für CMD auf bis zu 6,5% (200-300 Millionen Euro jährlich) der Gesamtausgaben im zahnärztlichen Bereich geschätzt (Hirsch und John 2005).

2.2.2. Diagnostik von CMD

Ziel der Diagnostik muss eine Differenzierung sein, die eine Zuordnung zu den vorhandenen therapeutischen Möglichkeiten ermöglicht, ohne deutlich darüber hinauszugehen und dabei unnötigen Aufwand zu verursachen (Ahlers u. Jakstat 2007). Sie sollte in einem kaskadenartigen Stufenkonzept erfolgen, an dessen Anfang der Kurztest (Screening) mit sondierendem Charakter steht. Er soll schnell durchführbar und einfach zu erlernen sein und Patienten mit Erkrankungsverdacht von eindeutig gesunden unterscheiden. In seiner aktuellen Form geht er auf Angaben von Krogh-Poulsens zurück (Krogh-Poulsen 1971) und ist auf sechs Einzelbefunde reduziert.

1. Ist die Mundöffnung asymmetrisch? Ursache hierfür wären unterschiedlicher Muskelzug und/oder diskoordinierte Innervation der Laterotraktoren sowie Adhäsionseffekte im Bereich der Synovialflächen der Kiefergelenke. Als wesentlich können dabei Abweichungen von mehr als 2mm zu einer Seite angesehen werden.
2. Ist die Mundöffnung ausreichend? Eine nicht-ausreichende Mundöffnung ist ein wesentliches Indiz für muskuläre Hypervalenzen und/oder Verlagerung der Disci articulares bzw. entzündliche Prozesse im Kiefergelenk. Mittelwert für eine ausreichende Mundöffnung sind 40-55mm.
3. Liegen Kiefergelenkgeräusche vor? Reibegeräusche korrelieren mit arthrotischen Veränderungen im Kiefergelenk, Knackgeräusche können ein Indikator für CMD z.B. eine Diskusverlagerung mit/ohne Reposition sein.
4. Liegen (asynchrone) Okklusionsgeräusche vor? Mehrzeitige Okklusionsgeräusche sind in der Regel durch ein „hit and slide“ bedingt. Es kommt zu einem ersten Okklusionskontakt aus dem dann eine Abgleitbewegung im Sinne einer Zwangsführung in die endgültige statische Okklusion führt.

5. Ist die Muskelpalpation schmerzhaft? Aus einer 12 Uhr-Position werden bimanuell der M. masseter pars superficialis, der M. temporalis pars anterior und der M. digastricus venter posterior palpiert. Im Normalfall fühlen sich die Muskeln weich und verstrichen an und verursachen bei der Palpation keine Beschwerden.
6. Ist die exzentrische Okklusion traumatisch? Ziel ist die abschätzende Beurteilung der dynamischen und statischen Okklusion. Im Normalfall liegt eine (front-)eckzahngeschützte Okklusion vor.

Bei funktionell gesunden Patienten kann maximal ein Befund positiv sein, bei Vorliegen von mindestens zwei positiven Befunden ist eine dysfunktionelle Erkrankung des Kauorgans (CMD) wahrscheinlich. Bei mehr als drei positiven Screening-Befunden ist das Vorliegen von CMD sicher (Ahlers und Jakstat 2007).

2.2.2.1. Klinische Funktionsanalyse (manuelle Funktionsanalyse)

Die klinische Funktionsanalyse dient der Überprüfung des funktionellen Zustandes und des Zusammenwirkens von Zähnen, Muskulatur und Kiefergelenken sowie Erkennung von dysfunktionellen Symptomen und Erkrankungen. Die klassische Funktionsanalyse umfasst Inspektion, Palpation und Auskultation (aus der *gemeinsamen Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und –therapie FDT in der DGZMK, Ahlers u.a. 2003*).

Die manuelle Funktionsanalyse ist die systematische, zielgerichtete Überprüfung der einzelnen anatomischen Strukturen (Gelenkflächen, bilaminäre Zone, Kapsel, Ligamente, Kaumuskulatur) (Bumann und Lotzmann 2000). Sie ist ein einfaches, preiswertes und zugleich non-invasives Untersuchungsverfahren (Ahlers und Jakstat 2007). Ihre Aussagekraft wurde durch zahlreiche Arbeiten bestätigt (u.a. Fuhr und Reiber 1995, Hohoff 2000, Kopp 1999, Krogh-Poulsen 1971, Lückerrath et al. 1988). Ziel der klinischen Funktionsanalyse ist es, den Zusammenhang zwischen den vorhandenen Dysfunktionssymptomen und den lokalen Kausalfaktoren herzustellen (Kleinrok 1986).

Die manuelle Funktionsanalyse berücksichtigt folgende Aspekte:

1. Fahnden nach dem jeweiligen Belastungsvektor (Der Belastungsvektor beschreibt die Richtung jener Belastung, die zu einer Läsion einer Gewebsstruktur geführt hat und erlaubt eine Aussage über die Fehlfunktion eines Systems.)
2. Überprüfung möglicher Restriktionen.
3. Ermittlung unterschiedlicher Einflüsse (Bumann und Lotzmann 2000).

Nach Kleinrok 1986 setzt sie sich zusammen aus gezielter Anamnese und der Berücksichtigung von:

1. klinischen Dysfunktionssymptomen (Schliffacetten, Abrasionen, Zahnlockerung, freiliegende Zahnhälse, Hyperzementosen, Bewegungsstörungen im Kiefergelenk, Knacken, Krepitation, Druckempfindlichkeit, habituelle Luxation, Ermüdungsgefühl der Kaumuskulatur, Palpationsempfindlichkeit, erhöhter Muskeltonus, Muskelhypertrophie, Kaumuskelspannungskopfschmerz, Störung der freien Unterkieferbewegungen)
2. intraoralen Okklusionsanalyse (Ziel: die Abweichungen von der normalen Okklusion, d.h. die Okklusionsstörungen zu erkennen und festzustellen, ob diese Störungen akzeptabel oder nicht-akzeptabel sind)
3. okklusalen Parafunktionen
4. intraartikulären Verhältnissen im Kiefergelenk.

Bumann und Lotzmann (2000) überprüfen die Mundöffnung, die Laterotrusion nach rechts und nach links, die Protrusion und die Retrusion. Neben dem Ausmaß der Bewegung (in mm) werden zusätzlich bestehende Schmerzen und deren Lokalisation notiert. Am Ende der passiven Mundöffnung wird das sog. Endgefühl erhoben. Das Endgefühl ist das Gefühl, das der Untersucher am Ende einer passiven Bewegung wahrnimmt. Es ist abhängig von der Struktur, die die Bewegung limitiert. In gesunden Gelenken ist das Endgefühl schmerzfrei und hart ligamentär. Zur Untersuchung der funktionellen Gelenkflächen (faserknorpelige Gelenkanteile des Os temporale und des Processus condylaris sowie der Discus articularis) wird eine dynamische Kompression und eine dynamische Translation mit Kompression durchgeführt. Im Anschluss werden Gelenkkapsel und Bänder untersucht. Die sog. Gelenkspieltechniken setzen sich zusammen aus passiver Kompression (Provokation von Schmerzen durch die Belastung verschiedener Gelenkstrukturen in unterschiedlichen Richtungen) zur Überprüfung der bilaminä-

ren Zone, Translationen und Kaudaltraktion zur Testung von Kapsel und Ligamenten durch Schmerzprovokation und Bestimmung des Endgefühls.

Da einer der pathogenetischen Hauptfaktoren bei CMD die Überbeanspruchung der Muskulatur ist werden, bei der manuellen Funktionsanalyse klassischerweise die Muskeln und das Kiefergelenk von lateral und dorsal palpirt (Ahlers und Jakstat 2007). Für Bumann und Lotzmann (2000) geht es bei der Untersuchung der Kaumuskulatur darum Triggerpunkte nachzuweisen. Zur Provokation von Muskelschmerz kommen zwei Untersuchungstechniken in Frage: Muskelpalpation und isometrische Anspannung. Da die Muskelpalpation klinisch keine zufriedenstellende Reproduzierbarkeit aufweist und der M. pterygoideus lateralis nicht palpabel ist, ist der isometrischen Anspannung Vorzug zu geben. Treten jedoch bei der isometrischen Anspannung Schmerzen auf, muss der entsprechende Muskel dennoch palpirt werden. Palpation und isometrische Tests werden nach gemäß Ahlers und Jakstat (2007) am liegenden Patienten durchgeführt. Bei der Überprüfung der isometrischen Anspannung lässt man den Patienten für zwanzig bis achtzig Sekunden zunächst auf Watterollen beißen (Überprüfung der Mundschließer) und später gegen leichten Widerstand durch den Behandler öffnen (Überprüfung der Mundöffner) (Bumann und Lotzmann 2000). Um eine vergleichende Beurteilung zu ermöglichen, ist die Bestimmung der individuellen Schmerzschwelle als Referenzwert obligatorisch (Schmidt-Beer 1985). Der dafür erforderliche Referenzpunkt sollte sich ebenfalls im Bereich des Gesichts befinden und als reiner Periostschmerz auszulösen sein. Der innere Rand des Orbitadaches bietet sich hierfür besonders an (Schmidt-Beer 1985).

Neben Palpation und Isometrie überprüfen Ahlers und Jakstat 2007 auch die Haltung des Patienten, Laxizität als Anhaltspunkt für eine Gelenkschlaffheit oder ligamentäre Schwäche sowie Funktions- und Rotationseinschränkungen der Halswirbelsäule. Weiterhin werden parafunktionelle Befunde wie Zungenimpressionen, Wangenveränderungen und Schliffacetten überprüft. Weiterhin auch keilförmige Defekte, Rezessionen, McCallsche Girlanden, Stillman-Spalten und Zahnlockerung.

Zusätzlich werden mit Hilfe von spezifischen Techniken unterschiedliche Knackphänomene im Kiefergelenk differenziert, ihre Reliabilität zur Diagnostik von Diskusverlagerungen ist nachgewiesen (Bumann und Lotzmann 2000). Störungen im Diskus können

weitgehend auf Grund der Analyse der akustischen Erscheinungen im Kiefergelenk diagnostiziert werden, wobei das Knacken und die Krepitation unterschieden werden müssen. Ein Knacken im Kiefergelenk ist meist ein Zeichen einer Diskoordination zwischen den Bewegungen des Kondylus und des Diskus (Kleinrok 1986). Bei der Untersuchung von Knackgeräuschen kommt es darauf an, den Zeitpunkt des Knackens festzustellen (initial, intermediär oder terminal), außerdem auf spezifische Betrachtung der Parameter Geräuschzeitpunkt und –intensität im Vergleich zur nichtmanipulierten aktiven Bewegung (Bumann und Lotzmann 2000). Gelenkgeräusche allein stellen ohne das Zusammentreffen mit weiteren Symptomen in der Regel keine Erkrankung dar. Die differenzierende Erfassung von Kiefergelenkgeräuschen gehört regelmäßig zur klinischen Funktionsanalyse, dabei werden die Art des Geräusches als auch Klang und Zeitpunkt überprüft (Ahlers und Jakstat 2007).

Weitere Parameter der klinischen Funktionsanalyse sind Deviation bei Mundöffnung, die Schneidekantendistanz (dabei bestimmen die Größe des Unterkiefers sowie des gesamten Schädels maßgeblich den absoluten Wert der Mundöffnung, richtiger wäre also die Angabe eines Mundöffnungswinkels, dieser ist aber schwer zu bestimmen), das Endgefühl (Widerstand, den die Struktur dem Untersucher beim Ertasten des maximalen Bewegungsbereich des Gelenks entgegenbringt), Overjet, Overbite, Protrusion, Laterotrusion und Gleitweg in die zentrische Relation. Desweiteren die habituelle Okklusion, den Sprechabstand, Okklusionskontakte, Provokationstest nach Krogh-Poulsen, Resilienztest nach Gerber (Ahlers und Jakstat 2007)

Indikationen für die klinische Funktionsanalyse sind:

- Verdacht auf Vorliegen funktionell bedingter Zahn-, Kiefergelenk- und Muskelerkrankungen,
- Entscheidung über die Notwendigkeit weiter differenzierender bzw. bestätigender zahnärztlicher und anderer ärztlicher Untersuchungsverfahren,
- Funktionelle Untersuchung des kranio-mandibulären Systems bei Notwendigkeit rekonstruktiver Maßnahmen im Kauorgan zur Aufdeckung latent vorhandener funktioneller Probleme,
- Kieferorthopädische Behandlungsplanung,

- Funktionelle Nachuntersuchungen des kranio-mandibulären Systems im Rahmen der Funktionstherapie (Verlaufskontrolle),
- Entscheidung über die Bedeutung psychogener und/oder orthopädischer Einflussfaktoren zu dentalen, insbesondere okklusalen Faktoren,
- Konsiliarische Untersuchung bei Problemen des Halte- und Bewegungsapparates bzw. des Hörorgans.

(aus der gemeinsamen Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und –therapie FDT in der DGZMK, Ahlers u.a. 2003).

2.2.2.2. Instrumentelle Funktionsanalyse und –diagnostik (Axiographie)

Die instrumentelle Funktionsanalyse ist die dynamische Aufzeichnung der Unterkieferbewegungen und deren diagnostische Interpretation (Bumann und Lotzmann 2000). Sie umfasst Verfahren, die den Funktionszustand des stomatognathen Systems messtechnisch erfassen, ihn beschreiben und analysieren. Benötigt werden Systeme, die eine simultane dreidimensionale Registrierung der Unterkieferdynamik und der artikulären Führung der Kondylen ermöglichen *(aus der gemeinsamen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde und der Arbeitsgemeinschaft für Funktionslehre der DGZMK, Engelhardt u.a. 2002)*. Die instrumentelle Funktionsanalyse dient der Bestimmung der patientenindividuellen Gelenkwerte (Krümmung und Neigung der Kondylenbahn, Bennet-Winkel, Verlauf von Mediotrusions- und Laterotrusionsspur) zur Programmierung der Artikulargelenke sowie der Darstellung kondylärer Bewegungsspuren bei aktiven und manipulierten Unterkieferbewegungen und der Analyse okklusogener Kondylenverlagerungen (Bumann und Lotzmann 2000). Sie erlaubt bei einer Fixierung der Registriervorrichtung ohne Beeinträchtigung der Okklusion (beispielsweise bei paraokklusaler Fixierung) eine Analyse der artikulären Position in Abhängigkeit zu definierten Okklusionspositionen („Kondylenpositionsanalyse“) *(aus der gemeinsamen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde und der Arbeitsgemeinschaft für Funktionslehre der DGZMK, Engelhardt u.a. 2002)*. Stö-

rungen im Ablauf der Unterkieferbewegungen und okklusal bedingte Verlagerungen der Kondylen sind mit Hilfe der instrumentellen Bewegungsanalyse früher und mit einer höheren Auflösung wahrnehmbar, als dies klinisch möglich wäre. Patientenindividuelle Bewegungen sind dokumentierbar und für spätere Auswertungen und Vergleiche archivierbar. Die Ergänzung des konventionellen Axiographen mit elektronischen Sensoren bietet den Vorteil der computergestützten Messwerterfassung, Datenverarbeitung sowie Dokumentation der Achsenverlagerung. Neben der verbesserten Raumauflösung der Bewegungsspuren besteht ein entscheidender Vorteil darin, dass die außerhalb des Kiefergelenks registrierten und damit verzerrten Bewegungen auf die tatsächlichen Bewegungsabläufe im Kiefergelenk zurückgerechnet werden können. Manche Systeme erfassen zudem auch messtechnisch die Rotation der Scharnierachse und erlauben somit, wenn auch mit eingeschränkter Präzision, die gerechnete Darstellung jedes beliebigen Punktes des Unterkiefers (Bumann und Lotzmann 2000).

Die instrumentelle Funktionsanalyse setzt sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

1. Situationsabformungen der Kiefer
2. Herstellung von Präzisionsmodellen aus Spezialhartgips
3. schädelbezügliche Bestimmung der arbiträren Oberkieferposition oder kinematische Bestimmung der Unterkieferposition (Anlegen des Gesichtsbogens)
4. schädelbezügliche Übertragung der aufgezeichneten Oberkieferposition in einen Artikulator
5. horizontale Kieferrelationsbestimmung in statischer Okklusion (habituelle Okklusion oder ZKP)
6. Übertragung der Kieferrelation in den Artikulator
7. Kieferrelationsbestimmung in dynamischer Okklusion a) exzentrische Positions- und Bewegungsregistrare, b) kinematische Kieferrelationsbestimmung, c) Kiefergelenksvermessung mit elektronischen Aufzeichnungssystemen
8. Artikulatorprogrammierung anhand a) exzentrischer Registrare, b) der aufgezeichneten Daten (Ahlers und Jakstat 2007).

2.2.2.3. Bildgebende Verfahren

Bildgebende Untersuchungsverfahren können als elementarer Bestandteil einer umfassenden Funktionsdiagnostik und –therapie gelten. Sie ermöglichen die Diagnostik an Strukturen, deren tatsächlicher Zustand klinisch nur indirekt erfassbar ist. Sie stehen niemals am Anfang einer Untersuchung (Kordaß und Hugger 2007). Da die Lage der Kondylen im Röntgenbild nicht immer fehlerfrei wiedergegeben wird, müssen Röntgenaufnahmen im Zusammenhang mit dem klinischen Befund beurteilt werden (Kleinrok 1986).

Indikationen für die Anwendung bildgebender Verfahren sind:

- Kongenitale Defekte und postnatale Wachstumsstörungen,
- Schwere mandibuläre Asymmetrien,
- Verdacht auf Mitbeteiligung des Kiefergelenkes bei systemischen Erkrankungen (z.B. chronische Polyarthrit, psoriatische Polyarthrit),
- Verdacht auf traumatisch bedingte Veränderungen,
- Verdacht auf Vorliegen eines Tumors im Kiefergelenk,
- Schwellung der Kiefergelenkregion,
- Schmerzen und Palpationsempfindlichkeit des Kiefergelenkes,
- Eingeschränkte Unterkiefermobilität,
- Anamnestisch unklare Okklusionsstörungen.

(aus der gemeinsamen Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und –therapie FDT in der DGZMK, Ahlers u.a. 2003b).

Routineverfahren ist die Panoramaschichtaufnahme auch Orthopantogramm genannt (OPG), da diese Geräte in zahnärztlichen und kieferorthopädischen Praxen weit verbreitet sind. Das OPG dient nur zur Darstellung von fortgeschrittenen degenerativen Veränderungen am Kondylus und primären Gelenkerkrankungen (Frakturen, Syndromen mit Gelenkbeteiligung, Tumoren, Zysten, Osteomyelitiden, Hyperplasien, Hypoplasien und Aplasien. Konkrete Aussagen über knöcherne Veränderungen des Kondylus sind nur über den lateralen und zentralen Anteil möglich (Hollender 1994). Zusatzprogramme zur spezifischen Kiefergelenkdarstellung können die aufsteigenden Äste im Ausschnitt darstellen oder den Kondylus aus zwei verschiedenen Blickwinkeln abbilden. Unter Berück-

sichtigung der Strahlenbelastung gibt es keine Indikation zur Abbildung bei geöffnetem und geschlossenem Mund (Bumann und Lotzmann 2000). Nach Kordaß und Hugger (2007) lassen sich Strukturen des Kiefergelenks anhand von Panoramaschichtaufnahmen oft nur unzureichend beurteilen, da eine relativ breite Schicht (rund 20 mm) im Kiefergelenkbereich dargestellt wird und es damit zu Überlagerungseffekten und verringerter Zeichenschärfe kommt. Das OPG ist also kein gezieltes Mittel für die Diagnostik, sondern lediglich zum Ausschluss grober pathologischer Veränderungen dienlich.

Die okzipitofrontale Schädelaufnahme nach Clementschitsch wird hauptsächlich als zweite Ebene bei Verdacht auf Unterkiefer- oder Kollumfraktur erstellt. Das seitliche Fernröntgenbild erlaubt keine Diagnostik, dafür aber Aussagen über die kranio-vertebrale, -faziale und -hyoidale Konstellation (Bumann und Lotzmann 2000). Es ermöglicht die sagittale Beziehung zwischen Kondylus und Fossa sowie Zusammenhänge mit den in Okklusion befindlichen Zahnreihen aufzuzeigen (Kordaß und Hugger 2007). Die Aufnahme der Nasennebenhöhlen ist differentialdiagnostisch wichtig um Prozesse der Kieferhöhle auszuschließen die mit ähnlichen Symptomen wie CMD einhergehen (Kordaß und Hugger 2007).

Die Computertomographie (CT) dient in erster Linie der erweiterten Diagnostik bei Frakturen, fortgeschrittenen Arthritiden, Ankylosen und Tumoren. Sie eignet sich bevorzugt zur Darstellung der knöchernen Morphologie (Bumann und Lotzmann 2000). Sie ist ein exzellentes Verfahren zur Beurteilung knöcherner Gelenkstrukturen und deren Beziehung zueinander (Kordaß und Hugger 2007). Der Diskus ist grundsätzlich darstellbar, für eine spezifische Diskusdiagnostik sollte allerdings das MRT den Vorzug erhalten. Mit Hilfe von CT-Daten kann das Kiefergelenk auch dreidimensional dargestellt werden, dies ist beispielsweise bei Ankylosen und Tumoren indiziert, weiterhin auch bei Kollumfrakturen im Jugend- oder Erwachsenenalter. Wegen der therapeutischen Bedeutung der Diskus-Kondylus-Relation und der fehlenden Strahlenbelastung ist heute bei Kollumfrakturen allerdings die Magnetresonanztomographie (MRT) dem CT vorzuziehen (Bumann und Lotzmann 2000).

Die MRT gewinnt zunehmend an Bedeutung in der Funktionsanalyse und ist ein valides und zuverlässiges Verfahren zur Beurteilung der Diskusform und Diskusposition (Kordaß und Hugger 2007). Es ist die Methode der Wahl bei allen Formen von Diskus-

verlagerungen im Kiefergelenk (Bumann und Lotzmann 2000). Eingeschränkt beurteilbar sind Diskusperforationen und Kapselzerrungen/-risse. Knöchernen Konturen und kortikale Begrenzungen können beurteilt werden. Zur Berücksichtigung funktioneller Aspekte sollten mindestens zwei Aufnahmen angefertigt werden, eine in habitueller statischer Okklusion und eine bei weiter Mundöffnung. Durch den Vergleich können Aussagen über die disko-kondyläre Relation gemacht werden. In neuerer Zeit ist es auch möglich Aufnahmen in schneller Pulssequenz (Fast-Technik) anzufertigen, dabei können pseudo-dynamische Aufnahmen von Bewegungsabläufen im Kiefergelenk erstellt werden. Vorteile der MRT sind die fehlende Strahlenbelastung und die detaillierte Weichteilwiedergabe, Nachteile sind der hohe apparativer Aufwand und die Kosten, sowie das geringere Auflösungsvermögen in Bezug auf knöchernen Konturen im Vergleich zum CT (Kordaß und Hugger 2007).

Die Sonographie (Ultraschall Diagnostik) ist nur eingeschränkt zu empfehlen. Schwierigkeiten wegen der geringen Ausdehnung des Gelenkraumes und wegen sich lateral überlagernden Knochenstrukturen sind zu erwarten (Kordaß und Hugger 2007).

Von den genannten Verfahren weisen für die Funktionsdiagnostik aus heutiger Sicht die Panoramaschichtaufnahme (Übersichtsbild), die Magnetresonanztomographie (Darstellung knöcherner und Weichgewebsstrukturen im Kiefergelenk, sowie intraartikulärer Flüssigkeitsansammlungen), die Computertomographie (Beurteilung knöcherner Strukturen) sowie die Arthroskopie eine hohe klinische Relevanz auf (aus der *gemeinsamen Stellungnahme der DGZMK und der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und –therapie AFDT in der DGZMK, Ahlers u.a. 2003b*)

Abschließend ist festzustellen, dass als Indikation für die Bildgebung die verantwortungsvolle Leitlinie sein sollte, dass die aus der bildgebenden Diagnostik zu erwartenden Befunde eine klare Relevanz für die Klärung der Verdachtsdiagnose und folglich auch für die Therapie aufweisen (Kordaß und Hugger 2007).

2.2.3. Therapie von CMD

Nach Bumann und Lotzmann (2000) ist das einzige effektive Therapiemittel die systematische Reduktion von Einflüssen, dabei ist irrelevant durch welche therapeutischen Maßnahmen die Symptome reduziert werden. Auf dem Gebiet der Funktionstherapie

kommen in Frage: Verordnung von Medikamenten (Analgetika, Antiphlogistika, Muskelrelaxantien, Natriumhyalurat, Glukokortikoide, langfristig Kortikosteroid- und Hyaluronatinjektionen sowie nonsteroidale Antirheumatika, trizyklische Antidepressiva, Antikonvulsiva, schlaffördernde Medikamente und Benzodiazepine), Ernährungsumstellung, Akupunktur, Hypnose, Kälte- und Wärmeanwendung, Psycho- und Physiotherapie sowie Schienentherapie. Im Mittelpunkt der Therapie steht die Restitution der ursprünglichen bzw. einer tolerablen Funktion, mit Ziel einer Harmonisierung des kybernetisch gesteuerten, inadäquaten Funktionsablaufs (Diedrichs und Kordaß 1993). Nach Empfehlungen der *Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFDT)* in der *Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde* (gemeinsame Stellungnahme der DGFDT in der DGZMK, Ahlers 2005) ist die Okklusionsschiene in Deutschland aufgrund ihrer Reversibilität und ihres weiten Indikationsspektrums zahnärztliche Standardmaßnahme in der Therapie von CMD. In den USA wurden im Jahr 1990 rund 3,6 Millionen solcher Schienen im Wert von über 1 Mrd. US\$ angefertigt (Pierce et al. 1995). Der Wirkmechanismus aller Schienen ist nach Stachniss (1984) der gleiche: bestehende Funktionsmuster werden unterbrochen, okklusale Einflüssen auf die Funktion der artikulierenden Flächen des Kiefergelenks werden verändert oder beseitigt, es kommt zu neuen Eingangssignalen der propriozeptiven Regelkreise aus den Zähnen und dem Parodont aufgrund des Verblockungseffektes, die Erhöhung der Vertikalrelation führt zu einem veränderten Tonus (Ruhedehnungslänge) der Kaumuskulatur, der Funktionsraums der Zunge sowie ihres sensorischen Inputs wird verändert. Die Unterbrechung eingefahrener Reflexmechanismen führt zu Schmerzlinderung, da sich die Muskulatur entkrampft (Diedrichs und Kordaß 1993). Die Entkrampfung und trophische Normalisierung führt zu einer physiologischen Repositionierung der Kondylen, die Regeneration von Bändern und Knorpelanteilen wird ermöglicht. Bei parafunktionellen orofazialen Dyskinesien wird die Exkursionsbewegung des Unterkiefers durch die Schiene limitiert (Stachniss 1984). Eine bilateral symmetrische Muskelfunktion wird wiederhergestellt, falsch angelernte Bewegungsmuster werden korrigiert und bei Hypermobilität ein kontrolliertes Bewegungsmuster erlernt (Hansson et al. 1987). Parafunktionen und Bruxismus werden ausgeschaltet (Siebert 1984). Schindler und Türp (2005) erklären die therapeutische Wirkung von Okklusionsschienen, bezogen auf Myoarthropathien, in der Veränderung regionaler Aktivierungszustände, insbesondere durch Entlastung überbe-

lasteter Muskelregionen. Nach Schindler et al. (1999) löst die Veränderung der Kieferrelation mit Hilfe von Aufbisssschienen signifikante Modifikationen des Rekrutierungsmusters des M. masseters aus. Aufbisssschienen reduzieren die Aktivität des Muskels bei nicht bewusst gesteuerten, submaximalen isometrischen Kontraktionen und vermindern die Ruheaktivität. Protrusionsschienen vermindern die Aktivität des M. temporalis anterior.

Lotzmann (1993) verwendet den Begriff des „Aufbissbehelfs“. Alle Aufbissbehelfe, die den oberen oder unteren Zahnbogen okklusal bedecken und so zur Stabilisierung der Okklusion und Führung des Unterkiefers beitragen, können als „Okklusionsschienen“ bezeichnet werden. Jede Okklusionsschiene ist also ein Aufbissbehelf, aber nicht jeder Aufbissbehelf ist eine Okklusionsschiene. Aufbissbehelfe sind seiner Meinung nach eine kostengünstige, rationelle und zunächst die natürliche Bezahnung schonende Methode, die Okklusion und somit auch die Unterkieferlage des Patienten zu verändern. Außerdem erlauben sie, das für die definitive Versorgung geplante okklusale Funktionsmuster auf seine Verträglichkeit zu testen. Übereinstimmend werden der Schienentherapie bessere Langzeitergebnisse in der Reduktion von Symptomen, bei der Patientencompliance, bei den Nebenwirkungen und bei der Kosteneffektivität im Vergleich zur medikamentösen Therapie bescheinigt (Venkatesh et al. 2008). Diedrichs und Kordaß (1993) geben eine Erfolgsquote von 80% in Verbindung mit der Physiotherapie nach Schulte an. Sie empfehlen die Schienentherapie auch bei Patienten mit deutlich psychoemotionaler Komponente als Therapieeinstieg, um das Krankheitsbild seiner okklusalen Komponente zu entkleiden sowie zur Präzisierung der Diagnose und Charakterisierung der Erkrankung.

Die DGFDT empfiehlt in ihrer Stellungnahme zur Therapie von zentrischem und exzentrischem Bruxismus Äquilibrierungsschienen (auch Michigan-Schiene, Stabilisierungsschiene oder Relaxationsschiene genannt). Bei Diskusverlagerung bzw. Struktur- und Stellungsänderungen in den Kiefergelenken empfiehlt sie Positionierungsschienen (auch Repositionierungsschienen, Protrusiv- oder Farrar-Schiene genannt) bzw. Dekompressionsschienen (Synonym: Distractionsschienen). Diese Okklusionsschienen haben sich entsprechend der Indikationsstellung klinisch bewährt und sind durch wissenschaftliche

Untersuchungen anerkannt (gemeinsame Stellungnahme der DGFDT in der DGZMK, Ahlers 2005).

2.3. Kieferrelationsbestimmung

Der behandelnde Zahnarzt muss sich also nicht nur zwischen einer Vielzahl von Schienen entscheiden, als nächstes muss er die Frage der für den Patienten richtigen therapeutischen Kondylenposition bzw. Kieferrelation (dreidimensionale Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer) beantworten. Die dreidimensionale Zuordnung des Unterkiefers zum Gesichtsschädel ist eine der wichtigsten Maßnahmen der praktischen zahnärztlich-rekonstruktiven Tätigkeit (Türp et al. 2006). Dabei ist die Registrierung einer Unterkieferposition das Ziel, in der die Kondylen und die Kaumuskulatur unter okklusaler Aktivität minimal belastet werden und größtmögliche Effekte erzielen (Engelhardt 1996). Es existieren zahlreiche Methoden zur vertikalen und horizontalen Bestimmung der Kieferrelation (McKee 1997). Dennoch herrscht bis heute Uneinigkeit sowohl bezüglich der „optimalen“ Unterkieferlage als auch hinsichtlich der geeignetsten Technik, um die gewünschte Kondylus- bzw. Unterkieferposition zu erreichen (Baker et al. 2005). Nach Ash (1995) hat sich kein Verfahren als deutlich überlegen erwiesen. Auch Utz et al. (2002) belegen in einer Studie, dass es weder die ideale Methode noch das ideale Material zu Registrierung gibt. Nach Türp et al. 2006 gibt es nicht „die“ allgemein akzeptierte Methode zur Kieferrelationsbestimmung, verschiedene Techniken stehen mehr oder weniger gleichwertig nebeneinander.

2.3.1. Vertikale Kieferrelationsbestimmung

Die vertikale Kieferrelationsbestimmung dient der Festlegung einer (therapeutischen) okklusalen vertikalen Dimension (Türp 2006). Die Bestimmung der vertikalen Kieferrelation muss der Festlegung der horizontalen Relation vorangehen, da Letztere vom vertikalen Kieferabstand abhängig ist. Jede Änderung der vertikalen Kieferrelation führt zwangsläufig auch zu einer Änderung der horizontalen Beziehung. Die vertikale Relationsbestimmung setzt sich zusammen aus der Anpassung der Höhe der Wachswälle an die posturale Unterkieferlage, die Physiognomie und die Sprache (Palla 2005).

Die neuromuskuläre Bestimmung der sogenannten Bisshöhe ist abhängig vom Tonus der Adduktoren und bezeichnet die Abstandshaltung zwischen den Kiefern bei geschlossenen Lippen. Nimmt der Unterkiefer eine Position ein, in der die Zahnreihen nicht okkludieren und seine Lage vom neuromuskulären System und der Schwerkraft bestimmt wird, so sprechen einige Autoren von der habituellen Unterkieferposition (Türp et al. 2006). Dies ist nicht die tatsächliche Ruhelage, wie sie im Schlaf stattfindet, wenn während der myographischen Stille der Kaufmuskulatur ein freeway space mit einem Interokklusalabstand zwischen 5 und 12mm (Woda et al. 2001) bzw. 4,5 und 12,6mm (Lotzmann 1998) eintritt. In der Regel erfolgt die Bestimmung der vertikalen Relation zwischen 1mm und 4mm kranial der Ruhelage (Fuhr und Reiber 1993).

2.3.2. Horizontale Kieferrelationsbestimmung

Bei der Bestimmung der horizontalen Unterkieferposition ist die wichtigste Frage, wo sich die Unterkieferkondylen in antero-posteriorer Richtung befinden sollen (Türp 2006). Galt früher noch „the more retruded the better“ (Keshvad und Winstanley 2000a), also die am weitesten retrudierte Lage der Kondylen als bevorzugt, wird heute sie sog. zentrische Relation als wünschenswert angesehen, welche deutlich weiter ventral liegt (Keshvad und Winstanley 2000a und b). Der Begriff der zentrischen Relation wurde in den vergangenen Jahrzehnten heftig diskutiert. Die verschiedenen Definitionen beruhen nicht auf wissenschaftlichen Daten, sondern auf der Meinung einzelner Autoren, auf ihren Techniken zur Bestimmung der Zentrik und auf dem Konzept der Reproduzierbarkeit (Palla 2005). Ein Grund für Missverständnisse ist die Tatsache, dass sich der Inhalt des im englischsprachigen Raum verwendeten Begriffs „centric relation“ im Laufe der vergangenen 50 Jahre einige Male geändert hat. Das *Glossary of Prosthodontic Terms* (The Academy of Prosthodontics 2005) nennt in seiner 8. Auflage sieben verschiedene Definitionen (Türp 2006). Keshvad und Winstanley (2000a) schreiben ironisch: „Perhaps it is the TMJ that adapts itself to the scientists' definition each time it changes, or is the TMJ accepting any position?“ Vielleicht ist es das Kiefergelenk, welches sich jedes Mal der wechselnden wissenschaftlichen Definition anpasst, oder akzeptiert das Kiefergelenk jede Position?

Weiterhin wird in der Zahnmedizin diskutiert, welche Kondylenpositionen es gibt und wie sie definiert sind. Die Auffassung über die physiologisch richtige Unterkieferposition, de-

ren Festlegung und Übertragung auf den Artikulator, ist von den Erkenntnissen der jeweiligen Epoche und dem Verständnis der Anatomie und Physiologie des Kausystems abhängig (Diedrichs und Kordaß 1993). Kubein-Meesenburg (1985) benennt beispielsweise eine physiologische Kondylenposition, die er als Nullpunkt der Kondylenbahn definiert, die er durch Aufzeichnung der Achsenbewegung in der Interkondylarachse in der Sagittalen im Pantogramm erhält. DGFDT und DGZPW führen in ihrer Terminologieliste (Stellungnahme der DGZMK, Freesmeyer 2005) die zentrische Kondylenposition (kranio-ventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe), die exzentrische Kondylenposition (dreidimensionale Verlagerung der Kondylus-Diskus-Einheit in der Fossa mandibularis bei Einnehmen der habituellen Okklusion) sowie die adaptierte Kondylenposition (unphysiologische Kondylus-Diskus-Fossa-Relation, die subjektiv keine Beschwerden verursacht, bei Einnehmen der habituellen Okklusion) auf. Schilcher (2004) empfiehlt die Unterteilung in vier verschiedene Kondylenpositionen: zentrische, habituelle, therapeutische und adaptierte. Palla (2005) benennt die Gelenkzentrik als Unterkieferlage, die mit der intraoralen Registrierung (Spitze des gotischen Bogens) erreicht wird. Weiterhin die muskuläre Zentrik als die mit Adduktionspunkten registrierte habituelle Schließbahn. Eine Kombination bzw. ein Kompromiss aus diesen beiden Positionen ist die Freiheit in Zentric, die sog. „Freedom in centric“.

2.3.2.1. Reproduzierbarkeit

Schilcher (2004) verweist auf die Notwendigkeit der Reproduzierbarkeit der Kondylenposition und führt in diesem Zusammenhang drei weitere geeignete Kondylenpositionen auf: Die dorsale Referenzposition, die ventrokraniale Referenzposition und die myozentrische Referenzposition. Laut Tarantola et al. (1997) ist die Kieferrelation in zentrischer Relation wiederholbar und reproduzierbar und deshalb der jederzeit erreichbare Referenzpunkt in der zahnärztlichen Therapie. Latta (1992) stellte jedoch fest, dass die Kondylenposition während des Verlaufes eines Tages Differenzen von bis zu 2,63mm aufweisen kann. Die zentrische Kondylenposition wird von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, wie z.B. Körper- und Kopfhaltung, Atmung, Alter, Psyche (Lund et al. 1991, Posselt 1968), Tageszeit (Latta 1992) und Schmerzen (Obrez und Türp 1998). Palla (2005) betont, dass die Reproduzierbarkeit nicht mit Physiologie gleich zu setzen

ist. Da das Kausystem eine physiologische Adaptationsfähigkeit aufweist, wurden therapeutischen Okklusionskonzepte zur Schaffung von Toleranzräumen entwickelt: Freedom in centric, wide centric, slide in centric und point centric (Ramfjord und Ash 1992, Strub et al. 2000a).

In der folgenden Tabelle wird ein Überblick über die oben aufgeführten Kondylenpositionen gegeben.

Name der Kondylenposition	Autor	Verwendungszweck/Kurzdefinition
Zentrische Kondylenposition	Van Blarcon (1994) Lotzmann (1999)	Stellt die Kondylenposition bei physiologischen anatomischen Verhältnissen und physiologischer Belastung dar (ist okklusionsunabhängig)
Habituelle Kondylenposition	Van Blarcon (1994) Lotzmann (1999)	Vom Patienten gewohnheitsmäßig eingenommene, durch die Okklusion determinierte Kondylenposition
Therapeutische Kondylenposition	Van Blarcon (1994) Lotzmann (1999)	Ist vom Behandler willkürlich festgelegt, hat das Ziel überbelastete Strukturen zu entlasten
Adaptierte Kondylenposition	Dawson (1995)	Stellt die Kondylenposition nach Adaptionsvorgängen dar (häufigste angetroffene Kondylenposition)
Retrale Kondylenposition	Bumann und Lotzmann (2000)	Stellt den Kondylus in die dorsalste Position, sie ist eindeutig reproduzierbar
Ventrokraniale Referenzposition	Bumann und Lotzmann (2000)	Stellt den Kondylus in eine ventrale, eindeutig reproduzierbare Position
Myozentrische Kondylenposition	Bumann und Lotzmann (2000)	Stellt den Kondylus in eine eindeutig reproduzierbare Position, die Position stellt die Summe aller muskulären Kraftvektoren dar (bei relaxierten Muskeln)

Tabelle 2.1: Definitionen aktuell verwendeter Kondylenpositionen (Schilcher 2004)

2.4. Therapeutische Kondylenpositionen

Allgemein durchgesetzt hat sich in der Therapie von Funktionsstörungen die zentrische Kondylenposition (ZKP). In einer Studie von Hamata (2009) wurde allerdings festgestellt, dass sowohl Schienen in ZKP als auch in MI (maximaler Interkuspitation) effektiv in der Schmerzreduktion sind. Er empfiehlt die Anfertigung von Schienen in MI für Patienten mit okklusaler Stabilität und ohne große Diskrepanz zwischen ZKP und MI, da diese Technik einfacher und weniger kostenintensiv ist. Schindler und Türp (2005) begründen die therapeutische Wirkung von Okklusionsschienen nicht mit einer vermeintlichen „zentrierten“ Positionierung des Unterkiefers, sondern damit, dass es durch die Lageveränderung des Unterkiefers zu diskreten Entlastungen schmerzhafter Muskelregionen kommt.

2.4.1. Maximale Interkuspitation (MI)

Die Unterkieferposition in der maximalen Interkuspitation ist über die, nach dem gewohnheitsmäßigen Schluss der Kiefer erreichte, maximale Verzahnung der vorhandenen Zähne dreidimensional festgelegt. Folgende Indikationen gelten für die Übernahme der MI: funktionsgesunder Patient und kleine restaurative Maßnahmen (Gussfüllungen, Einzelkronen und kleinere Brücken). Problematisch erweist sich, dass ca. 20% aller Patienten eine klinisch symptomfreie, aber manifeste Kiefergelenkskompression in der Funktion aufweisen. Die MI liegt mittelwertig in der Nähe der ZKP (Lückerath 1999). Bei asymptomatischen Patienten soll die MI idealerweise mit der ZKP übereinstimmen (Bumann und Lotzmann 2000), zahlreiche Studien an vollbezahnten Probanden konnten jedoch zeigen, dass bei der Mehrzahl der Probanden die Kondylen in MI ventro-kaudal und lateral im Vergleich zur ZKP lagen (Keshvad und Winstanley 2003, Wood 1994, Bumann und Lotzmann 2000).

2.4.1.1. Bestimmung der Maximalen Interkuspitation (MI)

Die übliche Vorgehensweise besteht darin, die Modelle bei eindeutiger Verschlüsselung der Okklusalfächen ohne Registrat zusammensetzen oder mit Hilfe eines intraoral gewonnenen Durchbissregistrates (Quetschbiss) mit oder ohne Beachtung schädelgelenkbezoglicher Übertragungstechniken zu montieren. Folgende Faktoren wirken sich auf die Qualität der Relationsbestimmung aus: laterales Verschieben der Modelle ge-

geneinander und eine elastische Deformation der Unterkieferspange bei der mundoffenen Abformung. Dabei muss dem Zahnarzt immer klar sein, dass die Vertikalrelation der in vermeintlicher MI zusammengefügt Modellpaare nicht der tatsächlichen intraoralen Situation beim Kieferschluss des Patienten entspricht (Lückerath 1999).

2.4.2. Zentrische Kondylenposition (ZKP)

Die ZKP ist eine Kieferhaltung, bei der der Unterkiefer und damit die Kondylen drucklos nach retral und kranial geführt werden, so dass sie gleichzeitig im Zenit und nicht seitensverschoben in den Gelenkgruben stehen. Sind in dieser Kondylenposition gleichzeitig gleichmäßige Zahnkontakte vorhanden, so besteht zentrische Okklusion (Koeck und Utz 1996). Laut Woda et al. (2001) können bei den meisten Menschen die Lage des Unterkiefers in ZKP und die habituelle Unterkieferposition als zwei geringfügig verschiedene Variationen derselben Unterkieferposition angesehen werden. Die ZKP zeigt bei mehrfacher Registrierung eine große intra- und interindividuelle Variabilität (Piehslinger et al. 1993). Es handelt sich daher nicht um eine fixe Position, sondern vielmehr um einen Bereich mit mehreren möglichen Positionen (Piehslinger et al. 1993, Woda et al. 2001, Utz et al. 2002).

Häufigste Indikationen für die Registrierung in ZKP sind nach Lückerath (1999) die instrumentelle und klinische Funktionsdiagnostik und -therapie, sekundäre Bisslageänderungen, umfangreiche okklusale Rehabilitationen und Veränderungen der Vertikalrelation. Tarantola et al. (1997) sowie Angyal et al. (2002) bestätigen die therapeutische Eignung der ZKP ebenso wie den diagnostischen Einsatz bei Funktionsstörungen. Nachteil der ZKP ist, dass man nicht weiß, in welcher Position sich der Kondylus-Diskus-Komplex relativ zu den temporären Gelenkstrukturen genau befindet (Walton 2004). Koeck und Utz (1996) betonen, dass es sich bei der ZKP um eine „therapeutische Notposition“ handelt. Dies besagt, dass eine solche Haltung nicht immer einer idealen Position des Unterkiefers gleichzusetzen ist.

2.4.2.1. Bestimmung der Zentrischen Kondylenposition (ZKP) manuell und instrumentell

Bei der Bestimmung der ZKP muss prinzipiell zwischen manueller passiver Registrierung mit Hilfe von Plattenregistraten (nach Lauritzen 1972 und 1974 oder Dawson

1978) und aktiver und passiver Registrierung der dreidimensionalen Unterkieferposition mit der Hilfe der Stützstiftmethode (nach Gerber 1970 und 1971 bzw. Gysi 1930/McGrane 1949) unterschieden werden (Lückerath 1999). Bei den Grifftechniken nach Lauritzen und Dawson erfährt der Unterkiefer eine manuelle Führung nach retral durch bimanuelle Führung (Dawson 1978) oder die Daumenspitzen und –knöchel bzw. durch drei Finger (Lauritzen 1974). Walton (2004) kritisiert, dass verschiedene Behandler beim Führen des Unterkiefers unterschiedliche Kräfte ausüben. Zu starker nach posterior gerichteter Druck führt zu einer Kaudalverlagerung der Kondylen (Long 1970). Verschiedene Studien (McKee 1997, Utz et al. 2002, Keshvad und Winstanley 2003) verglichen die Reliabilität verschiedener Methoden zur Bestimmung der ZKP. Utz et al. (2002) konnten keine Überlegenheit einer bestimmten Methode feststellen, bei McKee (1997) stellte sich die bimanuelle Unterkiefermanipulation als die mit der höchsten Reproduzierbarkeit heraus. Auch bei Keshvad und Winstanley (2003) war die bimanuelle Unterkiefermanipulation mit anteriorem Aufbiss reliabler als die einhändige Führung.

Die instrumentelle Kieferrelationsbestimmung mittels intraoralem Stützstiftregistrat kann im Allgemeinen als genau angesehen werden (Weber 2006, Mayer 1992). Ihr Vorteil liegt besonders in ihrer Präzision, durch mehrfache Kontrollmöglichkeiten und der Unabhängigkeit der Ergebnisse vom Behandler, ist die Methodik der Registrierung besonders sicher (Utz et al. 1992). Die Spitze des gotischen Bogens (auch Pfeilspitze genannt) stellt eine Unterkieferstellung dar, in welcher der Kondylus-Diskus-Komplex in einer physiologischen Lage in der Gelenkpfanne steht: die Gelenkzentrik (Palla 2005). Gerber (1970, 1971) registriert die sog. Mastikationszentrik und verzichtet auf die retralste Kondylen- sowie retralste Kontaktposition. Der Unterkiefer wird ca. 0,5 bis 1mm anterior der retralen Position verschlüsselt. Die Kondylenposition wird rein muskulär geführt registriert und nicht manuell forciert. Palla (2005) nennt als Grund dafür, dass nicht auf der Pfeilspitze, sondern 0,3-0,5mm dahinter verschlüsselt wird, die Tatsache dass die muskuläre Schließbahn leicht ventral der Spitze des gotischen Bogens liegt und dass Kontakte beim Schlucken bis in die retrudierte Unterkieferlage erfolgen sollen. Gysi (1930) verschlüsselt die Registrationschablonen auf der Spitze des Pfeilwinkels. Palla (2005) nennt folgende Kriterien für die Verschlüsselung auf der Spitze: wenn keine Vorbehandlung der horizontalen Kieferrelation durchgeführt wurde und wenn ein Einschleifen der Retrusionsbewegung im Artikulator nicht möglich ist. Leicht hinter der Spitze soll

verschlüsselt werden wenn es zu einer Vorbehandlung gekommen ist und wenn die Modelle in einem Artikulator eingeschliffen werden, der Retrusionsbewegungen erlaubt (z.B. Condylator®).

Trotz der nachgewiesenen Genauigkeit der intraoralen Stützstiftregistrierung, trägt diese Methode eine mögliche Fehlerquelle in sich. Bei hohen Kieferschlußkräften kommt es zu einer Verstärkung der Kranialbewegung der Kondylen und dadurch zu einer Kompression des Kondylarspalt (Linsen 2006). Die Kondylenbewegung nach kranial erfolgt dabei nicht symmetrisch, sie ist abhängig von der Positionierung des Stützstiftes (Jüde et al. 1991) und verursacht die Kippung des Unterkiefers zur Vorzugsseite (Linsen 2006). Die Ursache dafür liegt in der asymmetrischen Aktivität der Mm. masseterici et temporales aufgrund des unterschiedlichen Muskelvolumens auf beiden Kauseiten, verursacht durch das Kauen auf der Vorzugsseite (Jüde et al. 1991). Der Betrag der aufgebrauchten Kraft während des Kieferschlusses beeinflusst das Resultat der Stützstiftregistrierung maßgeblich (Jakstat 1991, Jüde et al. 1990 und 1991). Dabei sollen sich die Kraftbeträge in einem Bereich von 10 Newton (N) bis 30 N bewegen (Jakstat und Gutschow 1991), wobei stomatognath gesunde Patienten eine Kraft von 20 N nur schlecht erreichen können (Jakstat 1991, Jüde et al. 1990 und 1991). Deshalb fordern Helfgen et al. (1993) und Probst (1977) eine Berücksichtigung der Kaukraft während der Registrierung. Vogel (2007) ist der Meinung, dass die Stützstiftregistrierung eine akzeptable Methode ist, aber mit den vorhandenen modernen technischen Möglichkeiten objektiviert werden muss. Dazu gehören beispielsweise elektronische Registrierverfahren. Deren Wert liegt u.a. in der höheren Auflösung, besseren Speichermöglichkeiten, der Darstellbarkeit beider Gelenke gleichzeitig und in verschiedenen Betrachtungsebenen (Diedrich und Kordaß 1993). Jordan und Kern verglichen 2001 ein intraorales elektronisches Registrierungssystem zur Bestimmung der horizontalen Kieferrelation mit dem klassischen Stützstiftregistrat nach Gerber. Sie stellten keine statistisch signifikanten Differenzen in den Messwerten fest und bestätigten die Reproduzierbarkeit beider Systeme. Das elektronische Gerät war jedoch weder in der Genauigkeit noch in der Reproduzierbarkeit überlegen.

Die Vorteile elektronischer Registrierungen fassen Ott et al. (1991) zusammen:

- Die Bewegung unterschiedlicher Referenzpunkte kann gleichzeitig räumlich und zeitlich koordiniert dargestellt werden.
- Die Daten können – nach elektronischer Speicherung – später analysiert werden und stehen zu Vergleichszwecken zur Verfügung.
- Bewegungsbahnen können verlangsamt und vergrößert wiedergegeben werden.
- Durch eine elektronische Rekonstruktion kann ein Bild des dreidimensionalen Bewegungsablaufes erzeugt werden.

Anfang der 70er-Jahre stellte Jankelson mit dem Myomonitor eine Methode zur Kieferrelationsbestimmung vor, bei der es durch Stimulation der motorischen Anteile der Nn. trigemini zu einer Dekonditionierung der myogenen Propriozeptoren kommen und daraus eine Relaxation des neuromuskulären Systems resultieren sollte (Pescheck 2004). Die dadurch registrierte sogenannte „myozentrische Position“ entspricht einer Haltung, in die der Unterkiefer bei aufrechter Kopfhaltung und entspannter Kaumuskulatur durch die Adduktoren des Kauorgans hineingeführt wird. Die oft nicht seitengleiche Muskelinnervation, der Spannungszustand in dem sich die Patienten häufiger befinden, eine unklare Kondylenlage und die unzureichende Kontrollierbarkeit der Methode machen es jedoch schwierig, dieses Verfahren für die Rekonstruktion der Kieferhaltung zu empfehlen (Koeck und Utz 1996).

Das in der vorliegenden Studie verwendete DIR[®]-System ist ein Biss-Messtechniksystem zur Funktionsdiagnostik und zur zentrischen Kieferrelationsbestimmung auf Grundlage der Verfahren von Gysi/McGrane unter definiertem physiologischem Kaudruck von 10-30 N. Dadurch, dass der Patient sich selbst unter Führung durch den Behandler neuromuskulär und artikulär aufzeichnet, soll es eine vom Behandler unabhängige, objektive und reproduzierbare Messtechnik sein. Die Reproduzierbarkeit und die Behandlerunabhängigkeit wurden von Dietzel (2009) nachgewiesen.

2.5. Grenzbewegungen des Unterkiefers

Die Unterkieferbewegungen werden limitiert von der Kiefergelenkanatomie und dem zugehörigen Bandapparat sowie der Muskulatur und schließlich durch die Okklusion (Fröhlich und Körber 1978, Ramfjord und Ash 1971). Sie erfolgen innerhalb bzw. entlang von Bewegungsgrenzen. Bewegungen die Bewegungsgrenzen darstellen, d.h. die maxima-

len Exkursionsbewegungen des Unterkiefers, werden als Grenzbewegungen bezeichnet. Im Zuge von Grenzbewegungen können Grenzpositionen eingenommen werden, die durch eine relativ gute Reproduzierbarkeit gekennzeichnet sind (Strub et al. 2005). Selbst bei der präzisesten Vorbereitung in hochkomplizierten Bewegungssimulatoren kann es nicht gelingen den Gesamtraum der funktionellen Bewegungen zu erfassen. Funktionelle Parameter, wie die vertikale und transversale Beweglichkeit der natürlichen Zähne, die elastische Deformation und Verwindung der Unterkieferspange sowie die Resilienzen der artikulären Strukturen sind nach wie vor nicht oder nur unvollkommen durch eine Instrumentierung zu erfassen (Lückerath 1999).

2.5.1. Sagittale Grenzbewegungen

Das Posseltdiagramm ist eine etablierte Veranschaulichung für die Grenzbewegungen des Unterkiefers in der Sagittalen. Anhand eines fiktiv zwischen den unteren Inzisivi befestigten Aufzeichnungsstiftes können die mandibulären Bewegungen dreidimensional dargestellt werden. Die Grenzbewegungen umschreiben dabei die gesamte Bewegungskapazität des Unterkiefers. Sämtliche Bewegungen finden innerhalb dieser, auch als „envelope of motion“ bezeichneten Figur statt (Suckert 1992). Folgende Positionen liegen auf dem Posselt-Keil: Maximaler Zahnkontakt, Kopfbissstellung, maximaler Vorbiss, maximale Öffnung, retrale Kontaktposition. Die maximale Retrusion –sofern sie möglich ist- beträgt 0,5 bis 1,5mm, die maximale Protrusion 7 bis 11mm und die maximale Mundöffnung 40 bis 60mm (Strub et al. 2005). Das Ausmaß der Bewegung der Kondylen beträgt etwa 40% der Bewegungsweite des Inzisalpunktes (Lückerath 1999).

2.5.2. Horizontale Grenzbewegungen

Während der Aufzeichnung der horizontalen Grenzbewegungen (Protrusion, Retrusion, Seitenschub) des Unterkiefers entsteht der sog. gotische Bogen (Gysi 1930, Ramfjord und Ash 1971). Dieser Pfeilwinkel wird in horizontaler Ebene von den Schneidezähnen gezeichnet (Fröhlich und Körber 1978, Ramfjord und Ash 1971) und entsteht aufgrund der Kondylenmorphologie durch die Protrusionsbewegungen sowie Laterotrusions- (Arbeitskondylus) und Mediotrusionsbewegungen (Ruhekondylus). Klassischerweise wird der gotische Bogen durch eine intraorale Stützstiftregistrierung gewonnen (Strub et al. 2005). Ein Pfeilwinkel mit Symmetrie in der Pro- und Laterotrusionsbewegung weist auf

einen ungestörten Bewegungsablauf in den Gelenken und auf eine koordinierte Muskelführung hin (Palla 2005). Die Bewegungen des Arbeitskondylus (Laterotrusionskondylus, Ruhender Kondylus) unterscheiden sich in charakteristischer Weise von denen der Nichts-Arbeitsseite (Mediotrusions-kondylus, Schwingender Kondylus) (Lückerath 1999).

Das im Zuge einer Seitwärtsbewegung auftretende seitliche Versetzen des Unterkiefers Richtung Arbeitsseite wird als Bennetbewegung bezeichnet. Dabei beschreibt der Kondylus der Balanceseite (Nicht-Arbeitsseite, Mediotrusionsseite) eine deutlich größere Bewegungsbahn als der der Arbeitsseite. Die Begriffe „immediate side shift“ und „progressive side shift“ werden in der Literatur unterschiedlich interpretiert. So schreibt Strub 2005 dass der Kondylus der Balanceseite (schwingender Kondylus, Balancekondylus) vor der eigentlichen Unterkiefer-Seitwärtsbewegung eine kleine initiale Medialverschiebung vollzieht, den „immediate side shift“. An diese schließt sich eine kontinuierliche, synchron zur Unterkiefer-Lateralbewegung verlaufende, Bewegung an, der „progressive side shift“. Klineberg (2004) und Okeson (2003) unterscheiden folgendermaßen: Die Bennett-Bewegung des Laterotrusionkondylus setzt entweder zu Beginn (immediate side shift) oder gleichmäßig (progressive side shift) in der Lateralbewegung ein.

Die Translationsbewegung des Arbeitskondylus läuft meist ebenfalls nicht als reine Lateralbewegung ab, sie kann als Laterosurtrusion (lateral-kranial), Laterodetrusion (lateral-kaudal), Lateroretrusion (lateral-dorsal) oder Lateroprotrusion (lateral-ventral) vorkommen (Lehmann und Hellwig 2009). Die Betrachtung des Bennett-Winkels (Winkel zwischen der reinen Vorschubbewegung und der Bewegung des schwingenden Kondylus, Lehmann und Hellwig 2009) bzw. der transversalen Bewegungsmöglichkeiten des Kiefergelenks hat einen besonderen Stellenwert innerhalb der Charakterisierung des Bewegungsumfangs des Unterkiefers (Lückerath 1999).

Bei Kombination der Grenzbewegungen in allen drei Raumebenen erhält man ein dreidimensionales Gebilde, die sog. Possel-Banane (Strub et al. 2005).

3. Material und Methode

Die vorliegende Untersuchung wurde von der Ethikkommission der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn am 30. Juli 2008 unter der laufenden Nummer 146/08 genehmigt. Die Probanden wurden schriftlich und im persönlichen Gespräch über den Zweck und das Ziel dieser Untersuchung informiert und ihre Bereitschaft an dieser Untersuchung teilzunehmen schriftlich dokumentiert. Alle erhobenen Daten wurden pseudonymisiert und ohne personengebundene Informationen gespeichert und weiterverarbeitet. Die Zuordnung zwischen Modellen, Testdaten und Registraten erfolgte ausschließlich anhand von Code-Nummern.

3.1. Probanden

Die Untersuchungen wurden an 26 funktionsgesunden Probanden im Durchschnittsalter von 30,6 Jahren ($\pm 9,5$ J.) durchgeführt. Davon waren 18 Probanden weiblich und 8 Probanden männlich. Alle Probanden waren vollbezahlt bzw. festsitzend versorgt. Ausschlusskriterien waren Tiefbiss sowie CMD. Das Nicht-Vorliegen von CMD wurde anhand des CMD-Kurzbefundes (Ahlers und Jakstat 2007) überprüft. Beim sogenannten CMD-Screening, wurden folgende sechs Merkmale der CMD überprüft:

1. Asymmetrie der Mundöffnung
2. Einschränkung der Mundöffnung
3. Kiefergelenksgeräusche
4. Okklusale Geräusche
5. Druckdolenzen/Schmerzen bei Palpation der Muskulatur (M. masseter, M. temporalis, M. digastricus)
6. Traumatische Exzentrik

Bei ≤ 1 positiv beantworteten Frage ist das Vorliegen von CMD unwahrscheinlich, bei ≥ 2 positiven Antworten ist das Vorliegen von CMD wahrscheinlich.

Es wurden nur solche Probanden in die Untersuchung aufgenommen, bei denen keine der oben genannten Merkmale positiv waren. Weiterhin wurde keinem der Probanden im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung Prämolaren entfernt, da das da-

durch resultierende geringer Platzangebot für die Messschablone und den Aufnahme-sensor des DIR[®]-Systems u.U. zu Problemen hätte führen können.

3.2. Versuchsaufbau

3.2.1. Vorbereitende Maßnahmen

Als Vorbereitung wurde zunächst von jedem Probanden ein Alginatabdruck (Aginoplast Fast Set, Fa. Heraeus Kulzer GmbH, Hanau/ Deutschland) von Ober- und Unterkiefer genommen. Desweiteren durch jeweils denselben Behandler ein ZKP-Registat in Beauty-Pink-Wachs (Hydrocarbon-Wachsmischung mit einem Schmelzpunkt zwischen 59 und 60° C, Fa. Ubert GmbH & Co. KG, Lohfelden/ Deutschland) und ein MI-Registat mit Futar D Fast genommen (Vinylpolysiloxan, Fa. Kettenbach GmbH & Co. KG Eschenburg/ Deutschland). Die Technik zur Erlangung des ZKP-Registrats war der Lauritzen-Handgriff, bei dem der Unterarm des Behandlers in der Verlängerung der Medianebene liegt und Zeige- und Mittelfinger einen nach oben gerichteten Druck ausüben, während der Daumen die Mandibula in eine hintere Position lenkt (Koeck und Utz 1995). Anschließend wurde mittels Gesichtsbogenübertragung (Arcus-Bogen, KaVo EWL, Biberach/Deutschland) das Oberkiefermodell (aus Superhartgips) schädelbezüglich einartikulierte. Das Unterkiefermodell (ebenfalls aus Superhartgips) wurde im Labor über das ZKP-Registat dem Oberkiefermodell zugeordnet. Als Artikulatoren wurden ein Protar[®] 7 Artikulator der Firma KaVo EWL (Biberach/Deutschland) verwendet. Mit Hilfe der einartikulierten Modelle wurden im Dentallabor Arnold GmbH, Essen für jeden Probanden individuelle DIR[®]-Messschablonen hergestellt.

Mit Hilfsteilen eines präfabrizierten Trägersystems (DIR[®] System GmbH & Co. KG, Essen/Deutschland) und unter Verwendung von kaltpolymerisierendem C-Plast wurden die entsprechenden Ober- und Unterkieferschablonen (Abb. 3.1 und 3.2) hergestellt. Die im Unterkiefermodell mit Knetsilikon fixierte Schablone für die Sensoraufnahme wurde mit Löffelmaterial C-Plast (Fa. Candulor AG, Wangen/ZH/Schweiz) individuell angepasst und komplettiert. Die Einpassung erfolgte an der vorher im Unterkiefermodell eingezeichneten Medianlinie und einer Senkrechten in Höhe der Unterkiefer 6er. Bei kleinen Unterkieferzahnbögen war unter Umständen ein Abschleifen der vorgefertigten Sensoraufnahme erforderlich, bei großen Unterkieferzahnbögen wurde die Distanz mit Kalt-

polymerisat (C-Plast) aufgefüllt. Nach Fertigstellung und Ausarbeitung der Registrier-schablone für den Unterkiefer wurde ein sog. Sensordummy in die Sensoraufnahme, sowie im Oberkiefer ein Stützstift mit Stützstifträger eingesetzt. Die Modelle wurden so zueinander angeordnet, dass der Stützstift auf dem Sensordummy in die Stützstiftaufnahme einrastete.

Das Anpassen der Stützstiftaufnahme im Oberkiefer, die Fixierung sowie die Komplettierung und palatinale Auslegung mit Kaltpolymerisat (C-Plast) erfolgte analog zu den Arbeitsgängen im Unterkiefer. Nach dem Aushärten wurden die Schablonen ausgearbeitet.

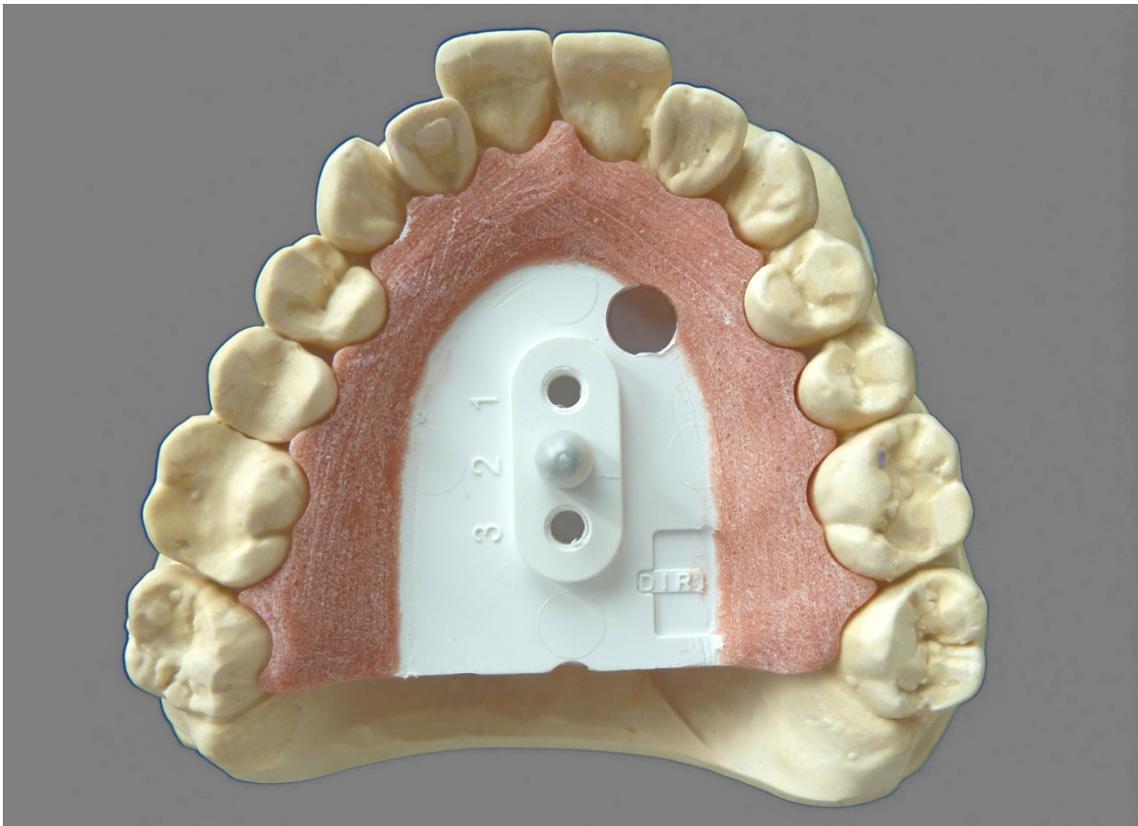


Abb. 3.1 DIR®-Oberkieferschablone mit Stützstift



Abb. 3.2 DIR®-Unterkieferschablone

3.3.2. Probandenvorbereitung

Zunächst wurde bei den Probanden der arbiträre Scharnierachsenpunkt nach Utz 11 mm vor und 3 mm oberhalb einer Verbindungslinie Mitte-Tragus äußerer Augenwinkel (Koeck und Lückerrath 1995) markiert. Anschließend wurde der Kopfumfang in Zentimetern vermessen. Als Nächstes wurde die DIR®-Messschablone mit einem Mess-Sensordummy einprobiert. Dabei wurde auf einen sicheren, wackelfreien Sitz geachtet. Der Stützstift wurde vertikal so ausgerichtet, dass die okklusale Sperrung möglichst gering ausfiel, jedoch eine interferenzfreie Laterotrusion möglich war.

3.2.3. Versuchsablauf

Die Messungen fanden in einer aufrecht sitzenden Position auf einem handelsüblichen Stuhl statt. Dabei sollten die Ober- und Unterschenkel einen 90° Winkel bilden und die

Füße ganzflächig aufgestellt sein. Die Analyse der Bewegungsaufzeichnungen in dieser Position weist die höchste Genauigkeit auf (Roggendorf und Voigt 2008).

3.2.3.1. DIR[®]-Messung

Die Messungen wurden von einem berufserfahrenen Zahnarzt, der routiniert im Umgang mit dem DIR[®]-System war, durchgeführt. Es wurde die DIR[®]-Schablone mit Stützstift und Sensor (Abb. 3.1 und 3.3) intraoral eingesetzt und der Versuchsteilnehmer gebeten als erstes freie Bewegungen des Unterkiefers auszuführen um sich an den Umgang mit den Systemkomponenten zu gewöhnen.

Zu Beginn jeder Messung musste der Mund leicht geöffnet werden, so dass Stützstift und Messsensor sich nicht berührten. Dabei kalibrierte der Rechner das Messsystem während ein akustisches Signal ertönte. Als nächstes sollte der Proband unter Kontakt zwischen Stützstift und Sensor Protrusions-, Retrusions- sowie Unterkieferbewegung nach rechts und links durchführen. Dabei wurde erneut auf eine interferenzfreie Laterotrusion geachtet.

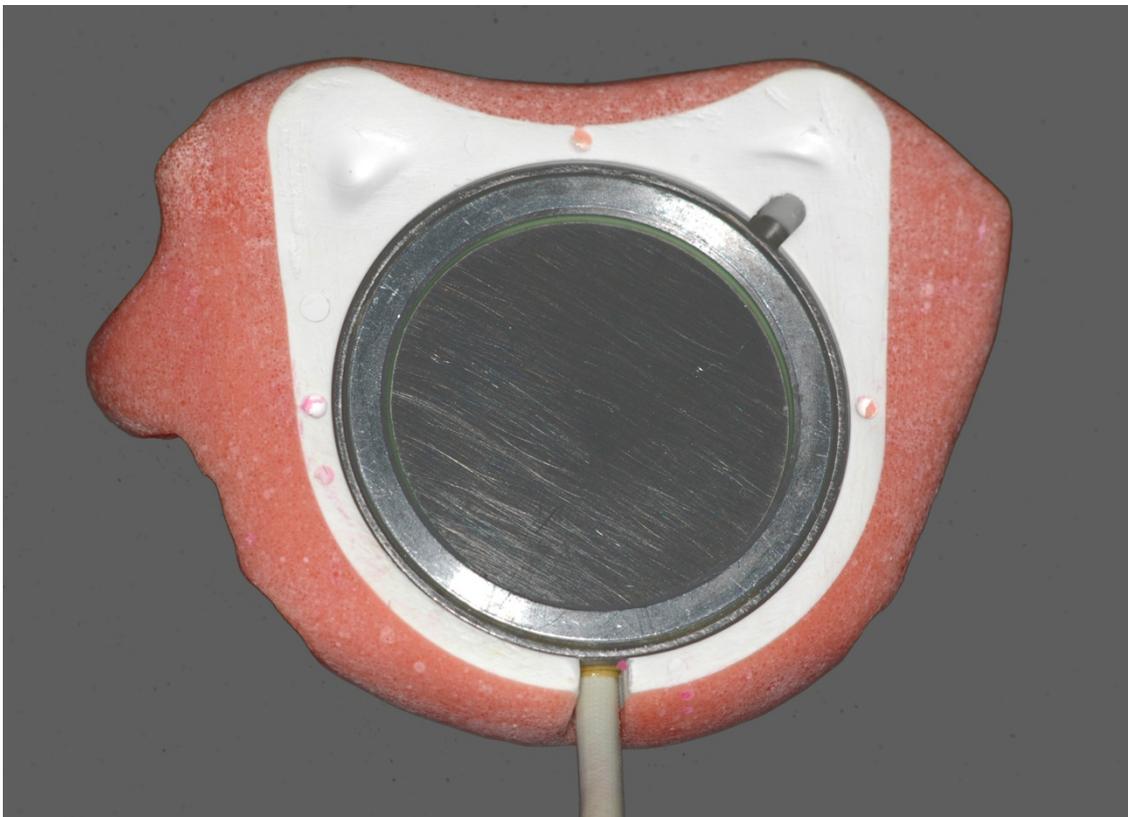


Abb. 3.3 DIR[®]-Unterkieferschablone mit eingesetztem Sensor

Die Bewegungsbahnen des Messprotokolls zeigten, ob die Registrierung in der Mitte eines Messdreiecks erfolgte. Ein Warnsignal ertönte, sobald die Bewegungen außerhalb dieses Dreiecks stattfanden.

Anschließend wurde der Proband gebeten alle Bewegungen noch einmal unter konstanter Kraftausübung von 10-30 N zu vollziehen. Die Kontrolle der Kraft erfolgte über den farbigen Anzegebalken auf der rechten Seite des Computermonitors, der bei zu hohem oder zu niedrigem Druck einen Farbumschlag von Grün auf Rot zeigte. Zuletzt wurde der Unterkiefer vom Behandler durch manuellen Druck auf das Kinn in die retralste Position forciert. Aus dieser maximalen Retrallage führte der Proband die Lateralbewegungen nach rechts und links aus. Anschließend führte der Proband diese Bewegungen noch einmal frei ohne den Behandler aus. Nach dieser Messung wurden die Schablonen aus der Mundhöhle entfernt und es erfolgte die Auswertung des Messprotokolls.

Der Reihenfolge nach wurden mittels mausgesteuertem Cursor und Schnellschaltknöpfen die geometrischen Hilfen angebracht:

1. Retralste Unterkieferlage (Pfeilspitze)
2. Anlegen der Tangenten an die ausgeführten Lateralbewegungen im Sinne des gotischen Bogens und
3. Berechnung der Winkelhalbierenden (vom Computer generiert).

Die intermaxilläre Verschlüsselungsposition wurde mit dem Cursor anterior der Pfeilspitze auf der Protrusionsbahn markiert. Das Ausmaß der anterioren Verschiebung variierte in Abhängigkeit des Kopfumfanges des Probanden zwischen 0,6mm (53cm Kopfumfang) und 1,23mm (62cm Kopfumfang). Die X-Y-Koordinaten der Verschlüsselungsposition wurden auf dem Kreuzmesstisch ausgegeben.

Anschließend wurde eine Exzentrerscheibe (Abb. 3.4) als Verschlüsselungsgrundlage in die Aufnahme des Messtisches gelegt. Ein Fixierplättchen (Abb. 3.4) wurde mit dem Zentrierstift des Kreuzmesstisches nach unten auf die Exzentrerscheibe gedrückt und mit einem heißen Wachsmesser verschweißt. Anschließend wurde die Messschablone mit der Fixierhilfe in den Mund des Probanden zurück gesetzt. Unter manueller Führung des Behandlers wurde der Unterkiefer in die Verschlüsselungsposition (Stützstift rastet im verschweißten Verschlüsselungsplättchen ein) gebracht. Unter visueller Kontrolle der

Kieferschlusskraft (10-30N) wurde zur Gewinnung eines interokklusalen Registrates
wurde Futar D (Fa. Kettenbach GmbH & Co. KG Eschenburg/Deutschland) zwischen die
Zahnreihen eingebracht.

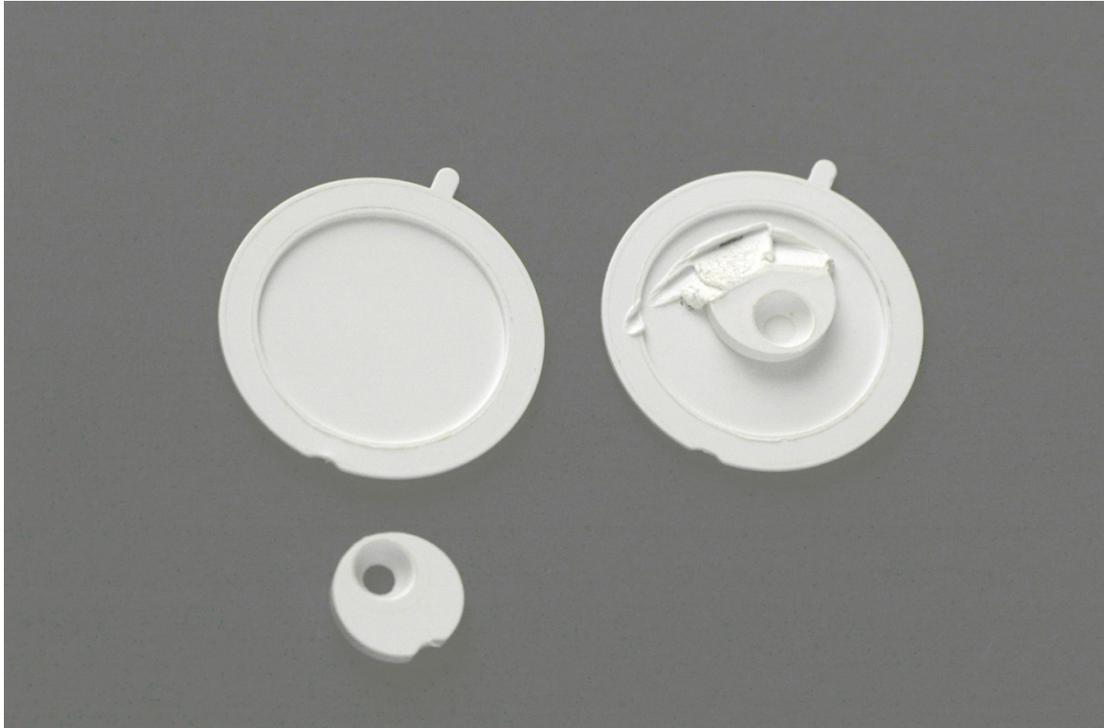
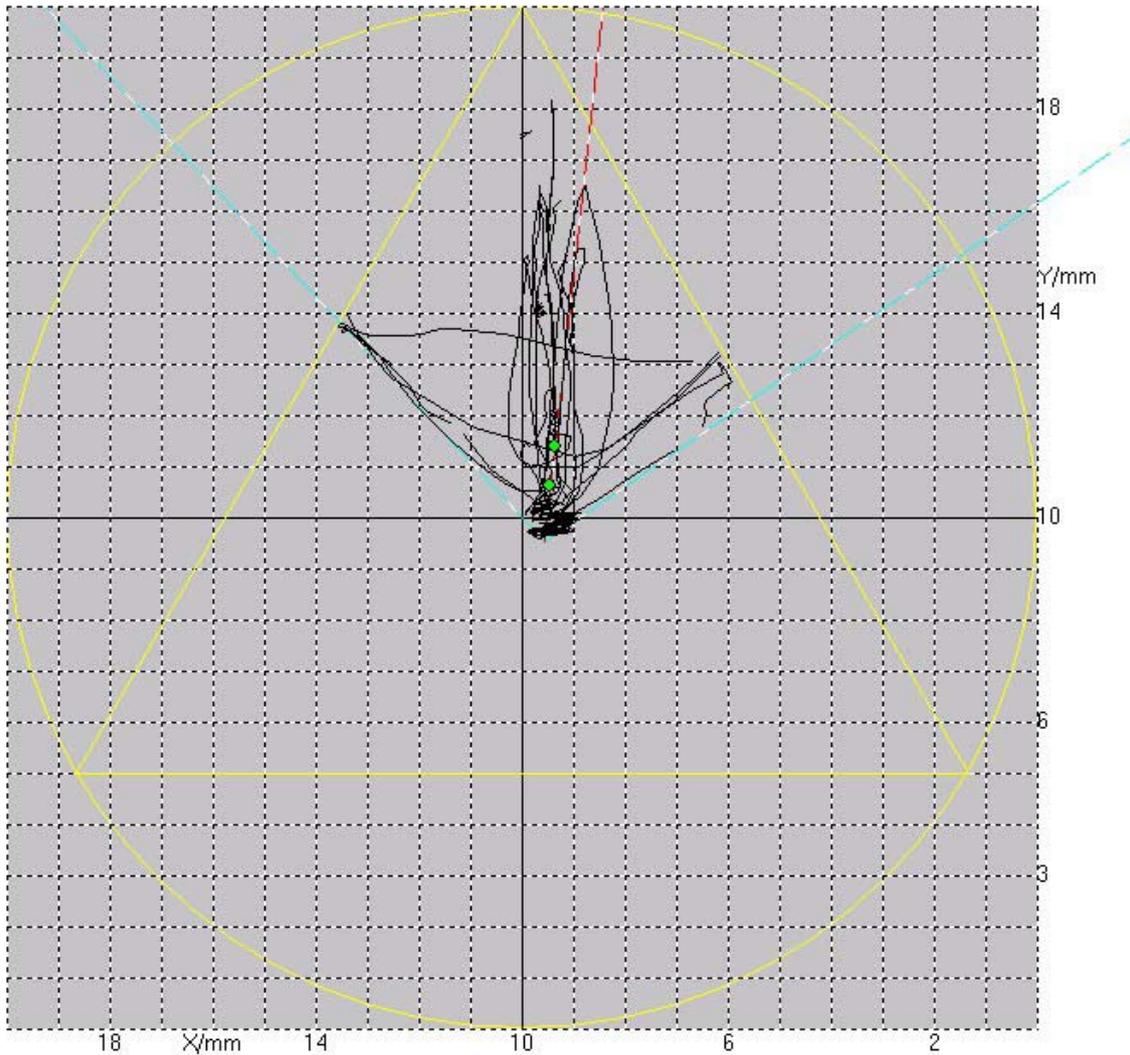


Abb. 3.4 DIR[®]-Exzentrerscheibe und Fixierplättchen vor und nach dem Aufschweißen

Die **Abbildung 3.5** zeigt den aufgezeichneten Pfeilwinkel für einen Probanden:



WinDR Druckprotokoll					
Fraxis Gesellschaft für Funktionsdiagnostik Essen					
Patient					
Name	Vorname	Pat-Nr.		19	
Mess- und Einstellwerte					
Sensor	01132	Vers.	1.1 Patch 02	Datum	07.08.2008 09:4
Kraft	10 - 30 N	Stärke	2 mm	Ringe	3
HR1		X'	09,4 mm	X'	11,4 mm
HR2		X'	09,5 mm	X'	10,6 mm

3.2.3.2. Elektronische Funktionsanalyse

Ein paraokklusaler Löffel wurde zur Aufnahme des Sendersensors mittels Provisorienmaterials (Structur 2 SC, Voco GmbH, Cuxhaven/Deutschland) und Sekundenklebers (Cyanoacrylat mittelviskös, Fa. Pluradent, Offenbach/ Deutschland) an den Labialflächen der Unterkieferfrontzähne befestigt. Zu diesem Zweck wurde das T-förmige, mit Retentionen versehene Metallattachment zunächst der Frontzahnkontur angebogen und mit Provisorienmaterial unterlegt, wobei die Adaptation so erfolgen musste, dass die Funktionsbewegungen aus der habituellen Interkuspitation nicht gestört wurden. Überschüssiger Kunststoff wurde anschließend extraoral entfernt. Die Impressionen im Kunststoff erlaubten eine eindeutige Reposition und Adaptation des Attachments an den Frontzähnen in situ und auch an dem Gipsmodell. Festgeklebt wurde das kunststoffunterlegte Metallattachment möglichst weit inzisal (mit Sicherheitsabstand zur Gingiva) mit Acrylkleber auf die vorher mit Watterollen abgetupften Labialflächen der unteren Frontzähne. Anschließend wurde zunächst der obere Gesichtsbogen (Empfängersensor) des Zebris® CMS20-Systems (Abb. 3.6) angelegt.



Abb. 3.6 JMA-Measuring sensor, oberer und unterer Gesichtsbogen © Fa. Zebris mit freundlicher Genehmigung der Zebris Medical GmbH, Isny/Germany, Bilderpool auf der Homepage.

Dazu wurde er am Nasion mit der sogenannten Glabellastütze aufgesetzt und am Hinterkopf mit einem Gummiband befestigt. Zur Abstützung am Oberkopf wurde ein über den Scheitel verlaufendes Kunststoffband mit den seitlich angebrachten Arretierschrauben auf leichte Spannung gebracht. Dann wurde der untere Gesichtsbogen (Sensorsensor) angelegt. Dieser ist durch einen speziellen Arretierungsmechanismus zur Befestigung am paraokklusalen Löffel ausgestattet. Drei Präzisionskugeln, die an der Unterseite der Sensorik integriert sind, werden mit Hilfe eines Permanentmagneten, der sich ebenfalls im Sensorgehäuse befindet, in die vorgesehenen Vertiefungen am flachen Löffelanteil des Attachments gezogen. In IKP wurden mit Hilfe eines Taststiftes dann die zuvor markierten arbiträren Scharnierachsenpunkte und der rechte Infraorbitalpunkt (tiefster knöcherner Punkt der Augenhöhle im Bereich der Incisura infraorbitalis) an den Computer weitergeleitet. In gleicher Weise wurde der Inzisalpunkt an der Außenseite der Oberkieferfrontzähne am Patienten definiert und so an den Computer weitergegeben. Er dient der Messung der sog. „incisal range of motion“, also der Bewegung des Inzisalpunktes in der frontalen Projektion. auch Aus beiden Kondylenpunkten und dem Orbitalpunkt bildet der Computer eine Referenzebene auf der das in den Ergebnissen verwendete Koordinatensystem (Abb. 3.7) basiert. Die Z-Achse liegt auf der Verbindungslinie von rechtem und linkem Kondylenpunkt. Ihr Nullpunkt ist der Schnittpunkt mit einer, im 90° Winkel schneidenden, Verbindungslinie zum Orbitalpunkt, der X-Achse. Die Z-Achse ist vom Nullpunkt bis zum linken Kondylus negativ und von Nullpunkt zum rechten Kondylus positiv. Die Y-Achse geht vom Nullpunkt aus senkrecht nach unten, dabei steht sie sowohl zur X-Achse als auch zur Z-Achse im rechten Winkel.

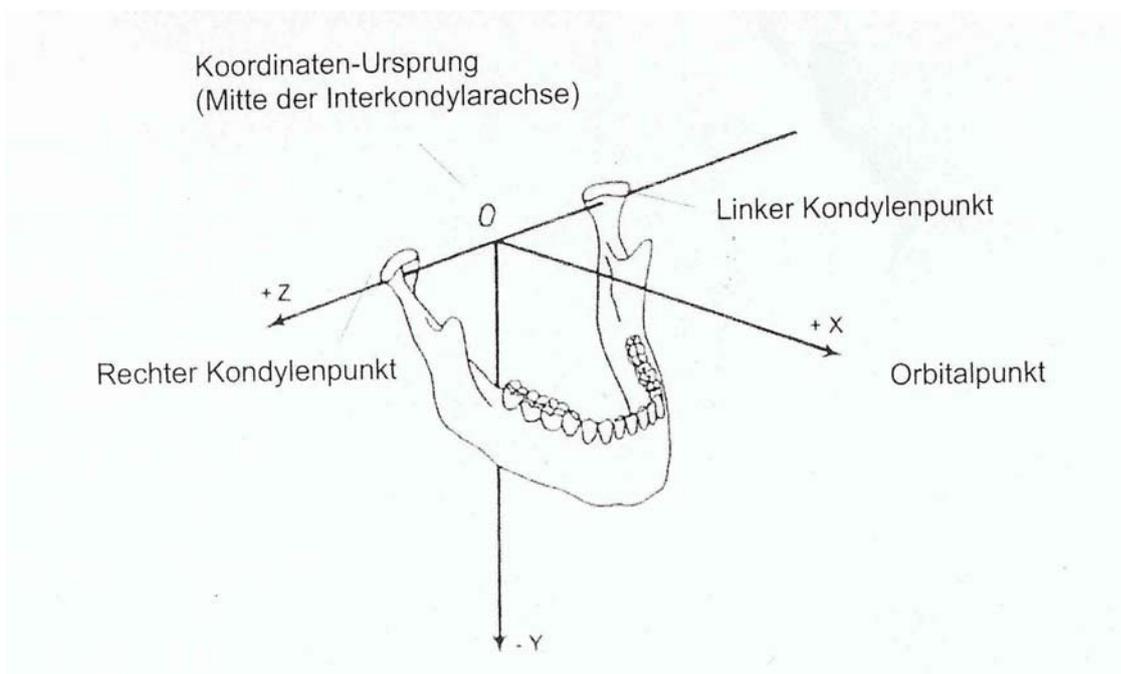


Abb. 3.7 Koordinatensystem bezogen auf Referenzebene gebildet aus Kondylenpunkten und Orbitalpunkt
 © Fa. Zebris mit freundlicher Genehmigung der Zebris Medical GmbH, Isny/Germany.

Zunächst wurde der Proband gebeten den Mund zwei Mal maximal zu öffnen und wieder zu schließen. Danach wurde eine maximale Unterkieferbewegung nach rechts und links auch jeweils zwei Mal durchgeführt, zur besseren Orientierung des Probanden legte der Behandler dabei seine Hand jeweils auf die Schulter der Seite, zu der die Bewegung durchgeführt werden sollte.

Abschließend sollte der Proband seinen Unterkiefer zwei Mal maximal weit nach anterior schieben um so die Protrusionsbewegung aufzuzeichnen. Analog wurde die Aufzeichnung der Posselt Diagramme als Grenzbewegung des Inzisalpunktes bei maximaler frontaler und sagittaler Kieferbewegung (Abb. 3.8) unter Zahnführung durchgeführt. Dabei wurden die Bewegungsspuren des zuvor markierten und an den Computer weitergeleiteten Inzisalpunktes sowie der arbiträren Scharnierachsenpunkte aufgezeichnet.

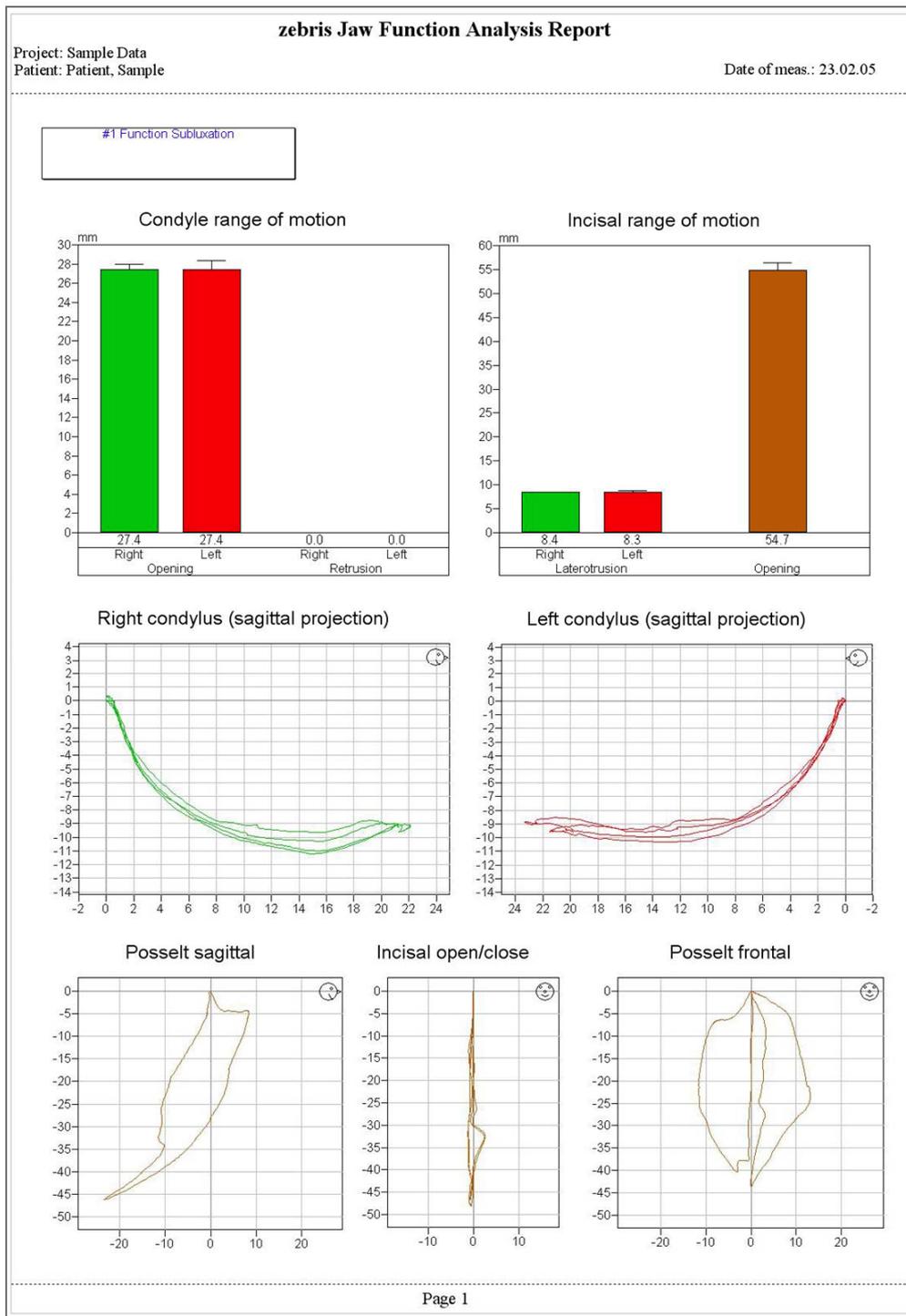


Abb. 3.8 Beispiel Report Elektronische Funktionsanalyse © Fa. Zebris mit freundlicher Genehmigung der Zebris Medical GmbH, Isny/Germany, Bilderpool auf der Homepage.

3.2.3.3. Elektronische Positionsanalyse (EPA)

Der letzte Teil der Messung umfasste die elektronische Positionsanalyse (EPA). Die EPA dient der Darstellung der Position des linken und rechten Kondylus in der sagittalen und frontalen Projektion als „Zielscheibendiagramm“. Die Achs-Orbitalebene wurde automatisch von der Funktionsanalyse übernommen. Die Durchführung der EPA setzt die Bestimmung einer Referenzposition, die als Referenz-Mittelpunkt im Zielscheibendiagramm dargestellt wird, voraus. Entsprechend werden nachfolgende Messpositionen als Abstandsänderungen der rechten und linken Kondylenposition in der frontalen und sagittalen Ebene im Bezug auf die Referenzposition dargestellt (Abb. 3.9). Die Darstellung zeigt die Richtung und den Betrag der jeweiligen Kondylenposition im Bezug zur Referenzebene in X-, Y- und Z-Koordinate. Die Kondylenpositionen von manuelle geführter ZKP, MI und DIR[®]-Position wurden aufgezeichnet. Jede Messung wurde dreimal durchgeführt. Die Kondylenposition der ersten Messung der ZKP diente dabei als Referenzposition. Zur Bestimmung der ZKP wurde der Unterkiefer passiv mit dem Griff nach Lauritzen manipuliert. Der Daumen wurde dazu auf der Kinnmitte platziert, während Zeige- und Mittelfinger den Unterkiefer unterstützten und diesen in einer Scharnierbewegung bis zum ersten Zahnkontakt führten. Zur Bestimmung der IKP schlossen die Probanden aktiv bis in den maximalen Vielpunktkontakt. Die Kondylenposition in der DIR[®]-Position wurde ermittelt indem die Probanden bei eingesetzter Schablone mit dem Stützstift in das Fixierplättchen einrasteten und dabei eine Kraft zwischen 10 und 30 N ausübten.

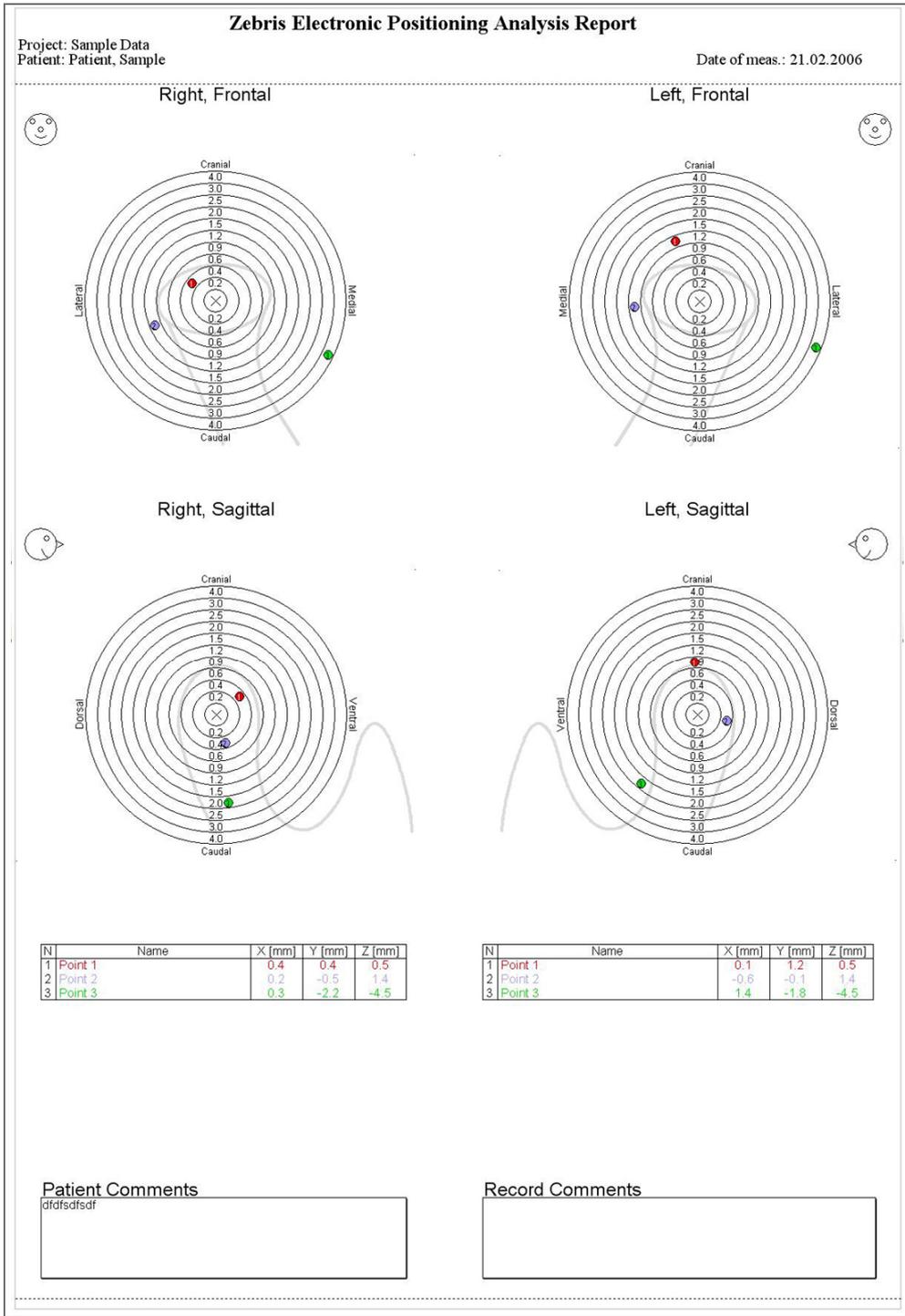


Abb. 3.9 Beispiel Report Elektronische Positionsanalyse © Fa. Zebris mit freundlicher Genehmigung der Zebris Medical GmbH, Isny/Germany, Bilderpool auf der Homepage.

3.2.4. Schienentherapie

Zur Anfertigung der DIR[®]-Schablone erfolgte die intermaxilläre Verschlüsselung in der DIR[®]-Position mit Futar-D (Fa. Kettenbach GmbH & Co. KG Escheburg/Deutschland). Das Unterkiefermodell wurde anhand dieses Registrats dem bereits mit Hilfe des Gesichtsbogens einartikulierten Oberkiefermodell neu zugeordnet. In dieser Relation wurde eine DIR[®]-Schiene (Abb. 3.10) gefertigt, die im Unterkiefer beidseits die Zähne vom ersten Prämolaren bis zur Mitte des zweiten Molaren in Kunststoff (Steady Resin, Scheu Dental GmbH, Iserlohn, Deutschland) fasste. Durch einen individuell angefertigten Sublingualbogen aus einer Chrom-Kobalt-Molybdän-Modellgusslegierung (dg dental, Oberburg, Schweiz) wurden beide Schienenanteile starr miteinander verbunden. Front- und Eckzähne wurden nicht in Kunststoff gefasst um die Ästhetik und Sprache nicht zu behindern. Um die Stabilität der Schiene zu gewährleisten betrug die okklusale Stärke des Kunststoffes im Bereich des ersten Molaren 2mm. Die Schiene wurde anschließend so eingeschliffen, dass in statischer Okklusion alle antagonistischen tragenden Höcker des Oberkiefers in einer punktförmigen Vertiefung auf der zentralen muldenförmigen Leiste der Schiene stabilisiert wurden. Kontakte auf nicht-tragenden Höckern wurden entfernt. Kontakte im Bereich des zweiten Molaren wurden solange beschliffen, bis eine 8µm dicke Shimstockfolie (Hanel, Fa. Roeko, Langenau, Deutschland) zwischen den Antagonisten hindurch gezogen werden konnte. In dynamischer Okklusion wurde eine Eckzahnführung eingestellt. Ein Freiraum für retrusive Unterkieferverlagerungen wurde geschaffen.

Die Herstellung aller Schienen erfolgte im Dentallabor Arnold GmbH, Essen. Das Fundamental Schulungszentrum Arnold & Osten, Essen war behilflich bei der Betreuung und Vermessung der Probanden. Durch die DIR[®] System GmbH & Co. KG, Essen war die Bereitstellung der Geräte und der damit verbundene Service gewährleistet.



Abb. 3.10 DIR[®]-Schiene © DIR[®] System GmbH & Co. KG und Fundamental Schulungszentrum in Essen mit freundlicher Genehmigung.

Die Probanden wurden angewiesen die Schienen nachts zu tragen. Die Reevaluation aller Probanden erfolgte analog zur ersten Messung (DIR[®]-Registrierung, Axiographie und EPA) nach drei Monaten.

3.3. Gerätebeschreibung

3.3.1. Zebris[®]-elektronisches Registrierverfahren CMS20 JMA und WinJaw 10.5

Bei dem vorliegenden System CMS20 handelt es sich um eine PC-gestützte Anlage zur dreidimensionalen Bewegungsanalyse. Die Funktion des Systems basiert auf der Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen zwischen den am Messobjekt angebrachten Sendern und den Mikrofonen der Messeinheit. Während des Betriebes werden von den Ultraschallsensoren fortlaufend Impulse abgegeben, aus deren Laufzeit zwischen Sender und Empfangsmikrofonen die Entfernung zu den Mikrofonen berechnet wird. Über eine Triangulation lassen sich aus der ermittelten Laufstrecke die absoluten Raumkoordinaten ermitteln. Das JMU-3 Empfängermodul verfügt über einen integrierten Gesichtsbogen (Abb. 3.7). In den Messsensor JPS-3 sind vier Marker mit einem Abstrahlungs-Öffnungswinkel von mindestens 180° und einem Frequenzbereich von jeweils 40 kHz eingearbeitet. Die Bedienung erfolgt ausschließlich softwaregestützt mittels handelsübli-

cher PCs. Die Messdaten werden vom System in Echtzeit ausgewertet und am Monitor angezeigt. Die Berechnung der Messkoordinaten und weiterer Messwerte sowie die Kompensation von Störgrößen erfolgt PC-gestützt im Auswertungsprogramm Winjaw 10.5 und 10.5.60. Die Messung und Auswertung dauern nur wenige Minuten und sind beliebig oft wiederholbar. Die Messgenauigkeit des Systems liegt bei 0,1mm (Hugger et al. 2001).

Komponenten(Abb. 3.11):

- CMS20 Grundgerät zum Anschluss über Datenschnittstelle an einen PC inklusive Netzteil und Kabelverbindungen
- Empfängermodul JMU-3 (für die Verwendung mit CMS20JMA)
- Messsensor JPS-3 zur Registrierung von Unterkieferbewegungen
- Ultraschall-Körperoberflächen-Marker und Applikationshilfen (abhängig von der gewählten Konfiguration)
- Diverse Anschlusskabel
- Rechner oder Notebook mit Windows-Betriebssystem
- Benutzerhandbücher



Abb. 3.11 Komponenten des Zebis®-Systems © Fa. Zebis mit freundlicher Genehmigung der Zebis Medical GmbH, Isny/Germany, Bilderpool auf der Homepage.

3.3.2. DIR[®]

Das Messsystem besteht im Wesentlichen aus einer elektronischen Registrierplatte (Messsensor), einem Messverstärker und einem elektronischen Kreuzmesstisch (Abb. 3.12).



Abb. 3.12 Komponenten des DIR[®]-Systems: Laptop, Kreuzmesstisch, Stützstift, Sensor, Messverstärker © DIR[®] System GmbH & Co. KG und Fundamental Schulungszentrum in Essen mit freundlicher Genehmigung.

Der Messsensor trägt drei Druckaufnehmer in sich, die in einem gleichseitigen Dreieck mit 10 mm Kantenlänge angeordnet sind. Eine kreisrunde elastisch befestigte Schreibplatte aus Stahl, verteilt die Kraft des Stützstiftes auf diese unter ihr liegenden Druckaufnehmer. Der Sensor (Abb. 3.12) wird in den Unterkiefer eingesetzt und ermöglicht eine kontinuierliche, interferenzfreie zweidimensionale Aufzeichnung der horizontalen Unterkieferbewegungen bei gleichzeitiger Reproduktion der aufgetragenen Kieferschlusskraft.

Messsensor und Messverstärker bilden die Messeinheit, welche an die serielle Schnittstelle des Laptops angeschlossen wird. Die Messverstärkereinheit erhält ihre Spannung über Einphasen-Wechselspannung 230 Volt, 50 Hertz und nimmt eine Stromstärke von maximal 100 mA auf. Das Gehäuse des Messensors ist wasser- und gasdicht. Seine Reinigung erfolgt durch Abwischen mit desinfizierenden Tüchern. Die Desinfektion erfolgt durch Tauchdesinfektion. Der Messsensor wandelt die analogen Signale des mechanischen Sensors in digitale Messwertinformationen um und ist gegen elektrische Spannungsausfälle gesichert.

Eine Anwendersoftware (WinDIR 1.1 Software 2006) erfasst die eingehenden Sensormesswerte und wandelt die Signale linear und geometrisch korrigiert um. Der Kräfteinleitungspunkt erscheint nach seiner von der Software durchgeführten Berechnung auf dem Monitor in einem durch Kästchen gerasterten X-Y-Koordinatensystem mit einer Auflösung von einem mm² pro Kästchen. Der während der Aufzeichnung des gotischen Bogens entstehende Pfeilwinkel ist nach Entwicklerangaben für die bessere Nachvollziehbarkeit der retralen Bewegung analog zu einem Pfeilwinkel im Oberkiefer horizontal gespiegelt und deshalb zwischen links- und rechtslateraler Bewegung seitenkongruent zu interpretieren. Der elektronische Kreuzmesstisch wird über ein USB-Verbindungskabel an den Laptop und über das Netzkabel an das Stromnetz (230V) angeschlossen. Die Positioniereinheit des Messtisches besteht im Wesentlichen aus schrittmotorgesteuerten X-Y-Verschiebetischen. Die Positioniereinheit übernimmt über die USB-Schnittstelle des Laptops die zuvor berechneten Daten der Soll-Position des Unterkiefers. Ein Messdongle, über den die Software freigeschaltet wird, wird in die USB-Schnittstelle des Laptops eingesetzt.

Die Messgenauigkeit des Systems liegt nach Angaben des Herstellers während der Messung der Kraft bei 0,1 N. Messtoleranzen bei der Lagebestimmung liegen diesen Angaben zufolge unter einem Wert von 10 µm, weil die Schrittmotoren des elektronischen Kreuzmesstisches die Positioniereinheit in 80.000 Einzelschritten entlang der X-Y-Achsen verschieben. Die Schrittmotoren werden von hochleistungsfähigen Controllern angesteuert. Die Messwerte werden über den Messwertverstärker als kontinuierlicher Datenstrom mit einer Messrate von 50 Messungen pro Sekunde zur Schnittstelle des Laptops gesendet. Die korrekte Einstellung der Positioniereinheit wird durch permanenten Datenaustausch zwischen Laptop und Controllern sowie von Lichtsensoren überwacht. Durch die softwaregeregelt elektronische Steuerung des Kreuzmesstisches werden laut Hersteller manuelle Bedienfehler ausgeschlossen.

3.3.3. Messartikulator

Die Vermessung der einzelnen Registrate erfolgte mittels eines Messartikulators (Abb. 3.13). Dieser Messartikulator basiert ebenfalls auf dem Protar[®]-Artikulator-System. Daher ist er in der Bauhöhe mit dem verwendeten KaVo Protar[®] 7-Artikulator identisch. Das Unterteil des Messartikulators entspricht nahezu dem des Serien-Artikulators. Le-

diglich die Gelenkkugeln (Abb. 3.14) wurden in ihrem Durchmesser vergrößert. Im Artikulator-Oberteil wurden die Kondylenboxen durch je zwei Wegaufnehmer (TWK-Elektronik GmbH, Modell IW 10) am rechten und linken Artikulorgelenk ersetzt.



Abb. 3.13 Messartikulator basierend auf dem KaVo® System, mit auf dem Oberteil angebrachten Gewicht, zur Sicherstellung einer gleichbleibenden Belastung bei allen Messungen und eingesetztem Distanzstück

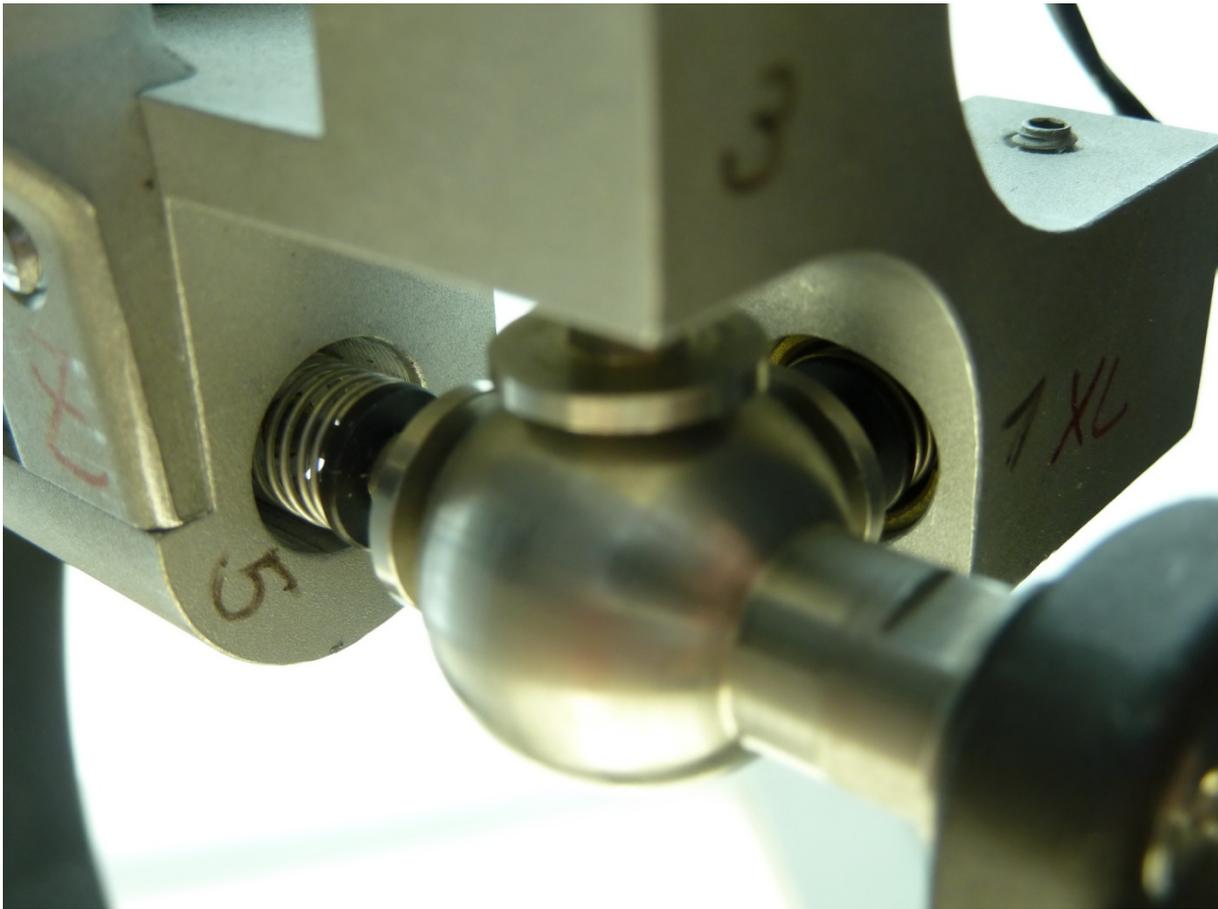


Abb. 3.14 Gelenkkugel des Messartikulators mit Wegaufnehmern in allen drei Raumebenen

Dabei wurde je ein Wegaufnehmer in der Vertikalachse (Y-Achse), sowie einer in der Sagittalachse (X-Achse) angebracht um entsprechende Bewegungen der Kiefergelenke in diesen beiden Hauptachsen ermitteln zu können. Ein zusätzlicher Wegaufnehmer wurde in der Transversalachse (Z-Achse, Artikulatorachse) angebracht um eine evtl. Verschiebung des Unterkiefers in der Transversalen darstellen zu können. Diese Wegaufnehmer wurden über ein Flachbandkabel mit dem Verstärker verbunden und von diesem an den Computer weitergeleitet (Abb. 3.15).

Die eigentliche Aufzeichnung der Messwerte erfolgte durch einen Computer über das DASYLab 7.00.05 Programm. Der Zeitraum der Messung war auf 0,01 s eingestellt. In diesem Zeitraum wurden rechts und links jeweils 3 Messwerte für alle drei Achsen aufgezeichnet. Wobei der Z-Wert links und rechts vom selben Wegaufnehmer stammt und deshalb identisch ist. Aus diesem Grund wird er in der Auswertung nur einmal aufgeführt. Die Streuung der Messwerte innerhalb dieser Zeitspanne war sehr gering, und

wenn vorhanden, auf kleinste Bewegungen der Modelle während der Messphase zurückzuführen.

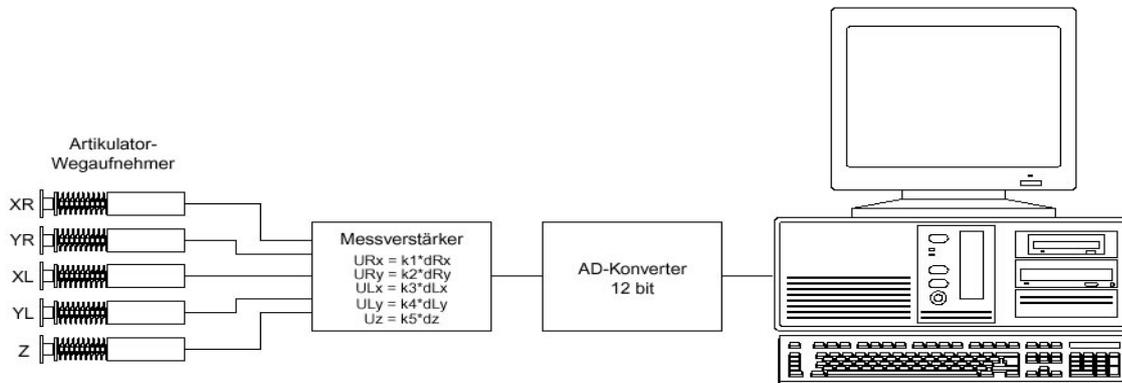


Abb. 3.15 schematische Darstellung der Verbindung zwischen den Artikulator-Wegaufnehmern und einem Computer

3.4. Auswertung

3.4.1. Elektronische Funktionsanalyse

Die Auswertung der durch den elektronischen Gesichtsbogen gewonnenen Daten erfolgte unmittelbar im Anschluss an die Messung über das Computerprogramm Winjaw 10.5 für Windows. Die Ergebnisse sind in graphischer Darstellung und farbig ausdrückbar (Abb. 3.8)

Im „Zebri-Function-Analysis-Report“ wird die Längen der Bewegungsspuren des linken und rechten Kondylus (Condyle Range of Motion, CRoM) bei der Öffnungs- und Retrusionsbewegung und die Beweglichkeit des Inzisalpunktes (Incisal Range of Motion, InRoM) in der frontalen Projektion, bei der Laterotrusionsbewegung nach links und rechts sowie bei der Mundöffnung als Bilddiagramm dargestellt. Die Nullposition wird in beiden Diagrammen bei der Kalibration der Interkuspitation berechnet. Zusätzlich zu den Mittelwerten wird die Standardabweichung als Zahlenwert und als Liniengrafik ge-

zeigt. Die Einheit aller Messwerte ist Millimeter. Die Messung wurde vor und drei Monate nach Schienentherapie durchgeführt.

3.4.2. Elektronische Positionsanalyse (EPA)

Die Auswertung der EPA erfolgte über das Software-Zusatzmodul Winjaw 10.5.60. Der Report zur EPA beinhaltet die Darstellung der Positionen des linken und rechten Kondylus in der sagittalen und frontalen Projektion als „Zielscheibendiagramm“. Zusätzlich wird tabellarisch der Abstand der Kondylen im Bezug zur Referenzebene in X-, Y- und Z-Koordinate dargestellt (Abb. 3.9). Die ermittelten Werte wurden in mm angegeben. Als Referenzmessung diente die erste Messung der Kondylenposition in ZKP. Die Kondylenposition wurde jeweils drei Mal bilateral in ZKP, MI und in der DIR[®]-Position gemessen. Die Messung erfolgte vor und nach dreimonatiger Schienentherapie.

3.4.3. Messartikulator

Als Nullposition diente ein auf Splitcast-Platten angefertigtes Distanzstück aus Blaugips (Abb. 3.13). Mit eingesetztem Distanzstück verlaufen Artikulatorober- und -unterteil parallel. Alle vier Registrate (ein ZKP-Registat, ein MI-Registat, ein DIR[®]-Registat vor Therapie und ein DIR[®]-Registat nach Therapie) wurden jeweils drei Mal im Messartikulator vermessen. Vor jeder Messung wurde der Komplex aus unterem Modell, Registat und oberem Modell neu zusammengesetzt. Dazu wurden die Modell mit den Splitcast-Platten in den Artikulator eingesetzt und mittels des jeweiligen Registrats einander zugeordnet. Um einen eindeutigen Sitz der Registrate zu gewährleisten, wurden sämtliche Silikon-Registrate im Vorfeld soweit reduziert, dass sie nur der Zahnhartsubstanz anlagen. Auf diese Weise konnten Passungenauigkeiten aufgrund unterschiedlicher Schleimhautresilienz weitgehend ausgeschlossen werden. Die DIR[®]-Registrate wurde mit den Messschablonen eingesetzt, da sich diese bei der Anfertigung der Registrate auch im Probandenmund befanden und eine eindeutige Positionierung des Registrats erleichterten. Um das Artikulator-Oberteil mit einem definierten Gewicht oberhalb des Registratschwerpunkts zu belasten, wurde ein rundes Gewicht in Höhe von 1kg am Messartikulatoroberteil angebracht (Abb. 3.13). Die Angabe der Messergebnisse erfolgte in mm.

3.5. Statistische Auswertung

Insgesamt wurden 4.420 Datensätze ausgewertet (pro Proband jeweils 60 Datensätze des Messartikulators und 110 Datensätze aus Funktionsanalyse und EPA).

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe von SPSS 17 für Windows (Chicago, IL, USA). Die deskriptive Statistik wurde als Mittelwert, als Standardabweichung des Mittelwertes und als niedrigster (Minimum) und höchster Wert (Maximum) berechnet. Die Daten der Beweglichkeit der Kondylen (CRoM) und des Inzisalpunktes (InRoM) vor und nach Schienentherapie wurden mit Hilfe des Student's T-Test von zwei abhängigen Stichproben (p (T<t) two tail) verglichen. Ob das Registrierverfahren (ZKP, MI, DIR[®]) bei dem jeweiligen Probanden einen signifikanten Einfluss auf die Kondylenposition hat und die Reproduzierbarkeit des Verfahrens wurde mit Hilfe der Varianzanalyse untersucht. Als Analyseverfahren wurde die Varianzanalyse oneway (Anova) gewählt. Die Analyse von Differenzen zwischen den einzelnen Registrierverfahren erfolgte mit der Bonferroni-Korrelation. Die Ergebnistabellen der Varianzanalyse und der p-Wert des Tests geben das 95% Konfidenzintervall des Koeffizienten und den p-Wert des Tests, dass der Koeffizient gleich Null ist, an. Alle Tests erfolgten zweiseitig zum Signifikanzniveau $p < 0.05$.

Um die Reproduzierbarkeit der Messungen zu analysieren, wurde pro Proband und Registrierverfahren die Standardabweichung der drei Messwiederholungen berechnet. Alle Tests erfolgten zweiseitig zum Signifikanzniveau 0.05. Ein Faktor hat also genau dann zum Niveau 0.05 einen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit, wenn der p-Wert kleiner 0.05 ist.

4. Ergebnisse

4.1. Auswertung der Ergebnisse der elektronischen Funktionsanalyse

4.1.1. Allgemeiner und statistischer Vergleich von Condyle Range of Motion und Incisal Range of Motion vor und nach Schienentherapie

Die Condyle Range of Motion (CRoM) entspricht der Länge der Bewegungsspur des Kondylus. Sie wurde bei der Öffnungsbewegung sowie bei der Retrusion in beiden Kondylen (rechts und links) gemessen. Die Incisal Range of Motion (InRoM) beschreibt die Beweglichkeit des Inzisalpunktes in der frontalen Projektion, sie wurde bei der Laterotrusion nach rechts und links gemessen, außerdem bei der Mundöffnung.

	Vor Schienentherapie (T0)				Nach Schienentherapie (T1)			
	MW	StAb	Min	Max	MW	StAb	Min	Max
CRoM re.	18,84	7,86	8,9	49,3	17,25	3,78	11,4	24,0
Op								
CRoM li.	18,78	6,27	8,1	42,3	18,52	3,77	11,2	25,1
Op								
CRoM re.	0,82	0,76	0	2,8	0,57	0,57	0	1,8
Ret								
CRoM li.	0,41	0,63	0	2,3	0,42	0,34	0	1,7
Ret								
InRoM re.	7,23	2,69	2,6	13,7	7,99	3,65	0	15,5
Lat								
InRoM li.	7,32	2,48	3,9	12,6	7,61	3,14	0	13,8
Lat								
InRoM	48,64	8,51	33,2	66,5	51,05	7,28	38,1	70,4
Op								

Tabelle 4.1: Deskriptive Statistik der Länge der Bewegungsspur des Kondylus (CRoM) und des Inzisalpunktes (InRoM). Mittelwert (MW), Standardabweichung (StAb), Minimum (Min) und Maximum (Max) der CRoM des rechten (re) und linken (li) Kondylus und der InRoM während der Mundöffnung (Opening/Op), der Retrusionsbewegung (Ret) und Laterotrusionsbewegung (Lat) nach rechts (re) bzw. links (li) gemessen in mm.

Der Mittelwert der CRoM des rechten Kiefergelenks bei der Öffnungsbewegung lag vor der Therapie bei 18,84mm ±7,86mm (Minimum 8,9mm und Maximum 49,3mm) und nach der Therapie bei 17,25mm ±3,78mm (Min. 11,4mm und Max. 24mm). Ähnlich verhält es sich mit der CRoM des linken Kiefergelenks bei der Öffnungsbewegung. Ihr Mittelwert lag vor der Therapie bei 18,78mm ±6,27mm (Min. 8,1mm und Max. 42,3mm) und

nach der Therapie bei 18,52mm \pm 3,77 (Min. 11,2mm und Max. 25,1mm), siehe auch Abb. 4.1.

Der Mittelwert der CRoM des rechten Kiefergelenks bei der Retrusion lag vor der Schienentherapie bei 0,82mm \pm 0,76mm (Min. 0mm und Max. 2,8mm) und nach Therapie bei 0,57mm \pm 0,57mm (Min. 0mm und Max. 1,8mm). Bei der CRoM des linken Kiefergelenks während der Retrusion lag der Mittelwert vor Therapie bei 0,41mm \pm 0,63mm (Min. 0mm und Max. 2,3mm) sowie nach Therapie bei 0,42mm \pm 0,34mm (Min. 0mm und Max. 1,7mm). Zwischen den Werten der 1. und 2. Messung bestand weder im linken noch im rechten Kiefergelenk ein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0.166$).

Der Mittelwert der InRoM bei der Unterkieferbewegung nach rechts lag vor der Therapie bei 7,23mm \pm 2,69mm (Min. 2,6mm und Max. 13,7mm) und nach der Therapie bei 7,99mm \pm 3,65mm (Min. 0mm und Max. 15,5mm), für die InRoM zur linken Seite lagen die Mittelwerte bei 7,32mm \pm 2,48mm (Min. 3,9mm und Max. 12,6mm) vor der Therapie sowie bei 7,61mm \pm 3,14mm (Min 0mm und Max. 13,8mm) nach der Therapie. Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Differenzen ($p=0.274$) zwischen den Untersuchungszeitpunkten.

Vor- (T0) versus nach Schienentherapie (T1)	P-Wert
CRoM rechts Opening	0,227
CRoM links Opening	0,799
CRoM rechts Retrusion	0,166
CRoM links Retrusion	0,921
InRoM rechts Laterotrusion	0,274
InRoM links Laterotrusion	0,572
InRoM Opening	0,044

Tabelle 4.2: Statistischer Vergleich der Länge der Bewegungspur des Kondylus Condyle Range of Motion (CRoM) und des Inzisalpunktes (InRoM) vor (T0) und nach Schienentherapie (T1). Gemessen in mm für die CRoM des rechten und linken Kondylus und die InRoM gemessen in mm. Zur Analyse der statistischen Unterschiede vor und nach Schienentherapie wurde der T-Test mit einem Signifikanzniveau $p \leq 0.05$ verwendet. Fett: statistisch signifikanter Unterschied

Der Mittelwert der InRoM bezüglich der Mundöffnung lag vor der Schienentherapie bei 48,64mm \pm 8,51mm (Max. 66,5 und Min. 33,2mm) und nach der Therapie bei 51,05mm \pm 7,28mm (Max. 70,4mm und Min. 38,1mm) siehe auch Abb. 4.1. Dies äußerte sich im Test mit einem Wert von $p=0.044$ als statistisch signifikant.

Maximal- und Minimalwerte vor und nach der Therapie stammen nicht von denselben Probanden.

4.1.2. Graphischer Vergleich der Condyle Range of Motion und Incisal Range of Motion vor und nach Schienentherapie

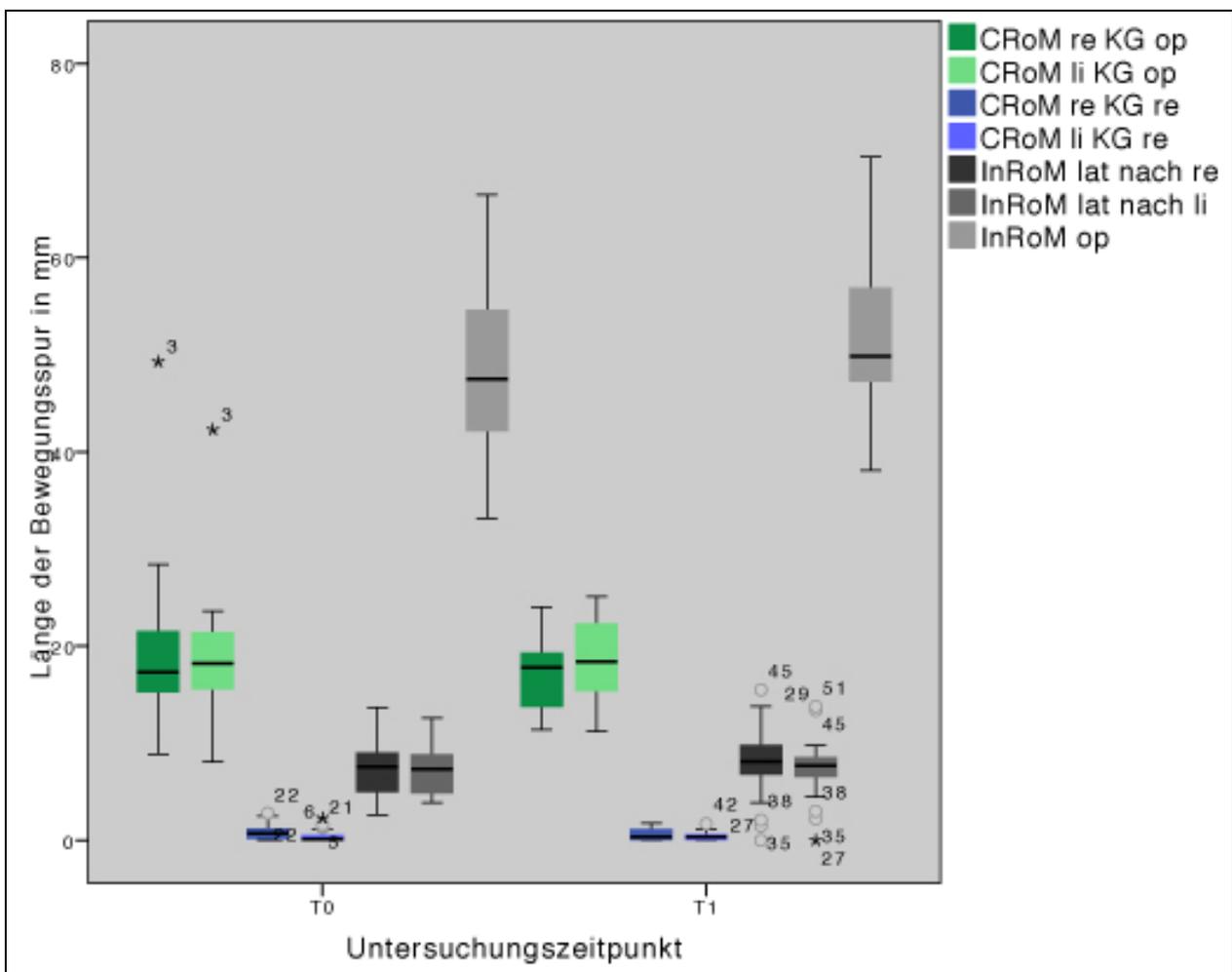


Abb. 4.1 Boxplots der Werteverteilung für die Messung der Länge der Bewegungsspur des Kondylus Condyle Range of Motion (CRoM) des rechten (re) und linken (li) Kiefergelenks (KG) und des Inzispunktes (InRoM) bei der Laterotrusion (lat) und Öffnung/Opening (op) vor (T0) und nach Schienentherapie (T1). Der farbige Balken umfasst die mittleren 50%, die dünne schwarze Linie darüber begrenzt die oberen 25%, die Linie darunter die unteren 25%. Die dicke schwarze Linie innerhalb des farbigen Bal-

kens markiert den Median, darüber liegt das obere, darunter das untere Quartil. Die Punkte über und unter den Boxplots beschreiben einzelne Messergebnisse, die weit vom Durchschnitt abweichen.

Die Abbildung 4.1 zeigt, dass die CRoM des rechten Kiefergelenks im Median bei 17,35mm vor und bei 17,8mm nach der Schienentherapie lag. Im linken Kiefergelenk betrug der Median 18,25mm vor und bei 18,4mm nach der Schienentherapie. Bei der Retrusion lag der Median der CRoM des Kiefergelenks zum Voruntersuchungszeitpunkt rechts bei 0,7mm und links bei 0,1mm. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt lag der Median sowohl rechts und links bei 0,35mm.

Die InRoM bei der Laterotrusion zur rechten Seite lag im Median zum Voruntersuchungszeitpunkt bei 7,6mm und zum Nachuntersuchungszeitpunkt bei 8,1mm. Der Median der InRoM bei der Laterotrusion zur linken Seite veränderte sich von 7,35mm vor Therapie zu 7,7mm nach Therapie. Die InRoM bei der Mundöffnung lag bei der ersten Messung im Median bei 47,5mm, bei der zweiten Messung lag sie bei 49,84mm.

4.2. Auswertung der Ergebnisse der elektronischen Positionsanalyse

4.2.1. Allgemeiner Vergleich der Ergebnisse der EPA

	Rechtes Kiefergelenk			Linkes Kiefergelenk		
	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse
ZKP T0						
Mittelwert	0,06	0,09	0,05	0,08	-0,45	0,05
Standardabweichung	0,48	0,33	0,21	0,47	0,41	0,21
Minimum	-0,9	-0,8	-0,5	-1,3	-1,4	-0,5
Maximum	2,2	1,4	0,7	1,6	1,7	0,7
ZKP T1						
Mittelwert	-0,05	0,07	0	-0,02	0,03	0
Standardabweichung	0,29	0,31	0,17	0,34	0,44	0,18
Minimum	-1,5	-1	-0,8	-1,8	-1,3	-0,8
Maximum	0,4	1	0,6	0,7	1,4	0,7
MI T0						
Mittelwert	1,21	0,56	0,19	0,82	-0,67	0,2
Standardabweichung	0,84	0,52	0,35	0,75	1,01	0,35
Minimum	-0,2	-1,6	-0,5	-0,6	-3,4	-0,5
Maximum	3,6	1	1	2,5	2,8	1
MI T1						
Mittelwert	0,66	-0,31	0	0,7	-0,3	0
Standardabweichung	0,57	0,51	0,21	0,46	0,74	0,2
Minimum	-0,6	-1,4	-0,5	-0,7	-1,4	-0,5
Maximum	1,8	1,1	0,5	1,5	1,9	0,5
DIR® T0						
Mittelwert	1,7	-1,26	0,37	1,39	-1,9	0,38
Standardabweichung	1,27	1,25	0,46	1,07	1,14	0,46
Minimum	-0,1	-6	-0,8	0,0	-5,7	-0,8
Maximum	4,6	0,0	1,1	3,6	0,2	1,1
DIR® T1						
Mittelwert	0,74	-0,51	0	0,88	-0,77	0,01
Standardabweichung	0,57	0,64	0,28	0,62	0,97	0,28
Minimum	-0,4	-1,8	-0,7	-0,7	-3	-0,7
Maximum	2,1	1	0,6	2,6	1,1	0,6

Tabelle 4.3 Deskriptive Statistik der Ergebnisse der Elektronische Positionsanalyse bei unterschiedlichen Registrierverfahren, Mittelwert (MW), Standardabweichung (StAb), Minimum (Min) und Maximum (Max) der Kondylenpositionen gemessen in mm für die zentrische Kondylenposition (ZKP), maximale Interkuspitation (oder habituelle Interkuspitation) (MI) und die DIR®-Position, vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie.

Die mit Hilfe der EPA gewonnenen Messwerte beschreiben auf der X-Achse (Sagittal-Achse) als positive Werte eine ventrale, als negative Werte eine dorsale Kondylenverlagerung. In der Y-Achse (Vertikal-Achse) beschreiben sie als positive Werte eine Kondylenbewegung nach kranial und als negative Werte eine Bewegung nach kaudal

und in der Z-Achse (Transversalachse) bei einem positiven Wert eine Bewegung des rechten Kondylus nach lateral bzw. nach medial (negativer Wert).

Beim Vergleich der drei Kondylenpositionen vor Schienentherapie lagen rechter und linker Kondylus in ZKP auf der X-Achse am weitesten dorsal ($0,06\text{mm} \pm 0,48\text{mm}$ rechts und $0,08\text{mm} \pm 0,47$ links), in MI lagen die Kondylen weiter ventral (rechts $1,21\text{mm} \pm 0,84\text{mm}$ und links $0,82\text{mm} \pm 0,75\text{mm}$). Am weitesten ventral lag die DIR[®]-Position (rechts $1,7\text{mm} \pm 1,27\text{mm}$ und links $1,39\text{mm} \pm 1,07\text{mm}$). Auf der Y-Achse lag der rechte Kondylus in MI am kranialsten ($0,56\text{mm} \pm 0,52\text{mm}$) und in DIR[®]-Position am kaudalsten ($-1,26\text{mm} \pm 1,25\text{mm}$), in der ZKP lag der Kondylus mittig der beiden Werte ($0,09\text{mm} \pm 0,33\text{mm}$). Beim linken Kondylus war die ZKP die kranialste Position ($-0,45\text{mm} \pm 0,41\text{mm}$), die MI lag in der Mitte ($-0,67\text{mm} \pm 1,01\text{mm}$) und die DIR[®]-Position lag auch hier am weitesten kaudal ($-1,9\text{mm} \pm 1,14\text{mm}$). Auf der Z-Achse kam es in der DIR[®]-Position zur größten Verschiebung nach rechts aus Patientensicht (rechter Kondylus $0,37\text{mm} \pm 0,46\text{mm}$, linker Kondylus $0,38\text{mm} \pm 0,46\text{mm}$), bei MI kam es ebenfalls zu einem leichten Rechtsversatz (rechts $0,19\text{mm} \pm 0,35\text{mm}$, links $0,2\text{mm} \pm 0,35\text{mm}$), am geringsten fiel diese Seitenverschiebung in ZKP aus (rechts und links jeweils $0,05\text{mm} \pm 0,21\text{mm}$).

Nach der Schienentherapie lag auf der X-Achse weiterhin die ZKP am weitesten dorsal (rechts $-0,05\text{mm} \pm 0,29\text{mm}$ und links $-0,02\text{mm} \pm 0,34\text{mm}$), die MI lag weiter ventral (rechts $0,66\text{mm} \pm 0,57\text{mm}$, links $0,7\text{mm} \pm 0,46\text{mm}$) und die DIR[®]-Position lag nach wie vor am weitesten ventral (rechts $0,74\text{mm} \pm 0,57\text{mm}$, links $0,88\text{mm} \pm 0,62\text{mm}$). Die Werte von MI und DIR[®] haben sich jedoch angenähert. Auf der Y-Achse lag die ZKP am weitesten kranial (rechts $0,07\text{mm} \pm 0,31\text{mm}$, links $0,03\text{mm} \pm 0,44\text{mm}$), die MI lag weiter kaudal (rechts $-0,31\text{mm} \pm 0,51\text{mm}$, links $-0,3\text{mm} \pm 0,74\text{mm}$), am weitesten kaudal lag die DIR[®]-Position mit Werten von $-0,51\text{mm} \pm 0,64\text{mm}$ auf der rechten Seite und $-0,77\text{mm} \pm 0,97\text{mm}$ auf der linken Seite.

4.2.2. Graphischer Vergleich der Registrierverfahren (-techniken) mit der EPA separat für X-, Y- und Z-Achse

4.2.2.1. X-Achse

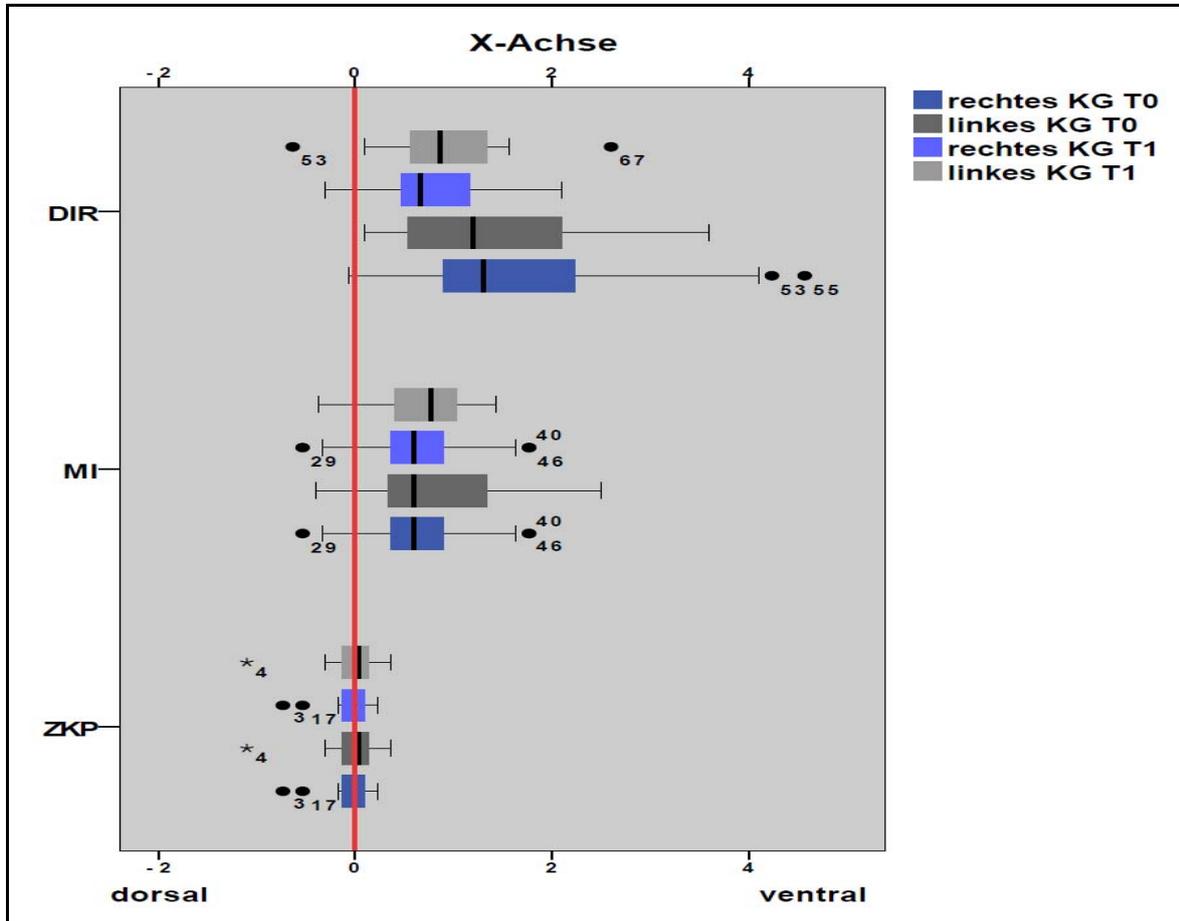


Abb. 4.2 Boxplots der Werte Verteilung (in mm) für die elektronische Positionsanalyse der Kondylen des rechten und linken Kiefergelenks (KG) in der X-Achse von zentraler Kondylenposition (ZKP), maximaler Interkuspidation (MI) und DIR®-Position, vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie, die rote Linie markiert die Nullposition. Der farbige Balken zeigt das Bewegungsspektrum aller Probanden, die schwarze Linie markiert den Mittelwert aller Messungen. Der farbige Balken umfasst die mittleren 50%, die dünne schwarze Linie rechts begrenzt die oberen 25%, die Linie links die unteren 25%. Die dicke schwarze Linie innerhalb des farbigen Balkens markiert den Median, rechts davon liegt das obere, links davon das untere Quartil. Die Punkte seitlich des Boxplots beschreiben einzelne Messergebnisse, die weit vom Durchschnitt abweichen.

Die graphische Darstellung in Form von Boxplots (Abb. 4.2) zeigt dass sich der Median der ZKP vor und nach Schienentherapie nicht verändert hat. Er lag vor und nach Schienentherapie für das rechte Kiefergelenk bei 0,00mm und für das linke Kiefergelenk bei 0,03mm. Die MI wies vor und nach Schienentherapie im Vergleich mit der ZKP einen

Versatz nach ventral auf. Im Median lag dieser Versatz vor der Therapie für beide Kiefergelenke bei 0,6mm. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt lag der Median für das rechte Kiefergelenk weiterhin bei 0,6mm, für das linke Kiefergelenk betrug der Median 0,78mm. Am weitesten ventral lag die DIR®-Position vor Schienentherapie mit Werten von 1,3mm für das rechte und 1,29mm für das linke Kiefergelenk. Nach der Therapie wurden Werte von 0,67mm für das rechte und 0,9mm für das linke Kiefergelenk gemessen.

4.2.2.2. Y-Achse

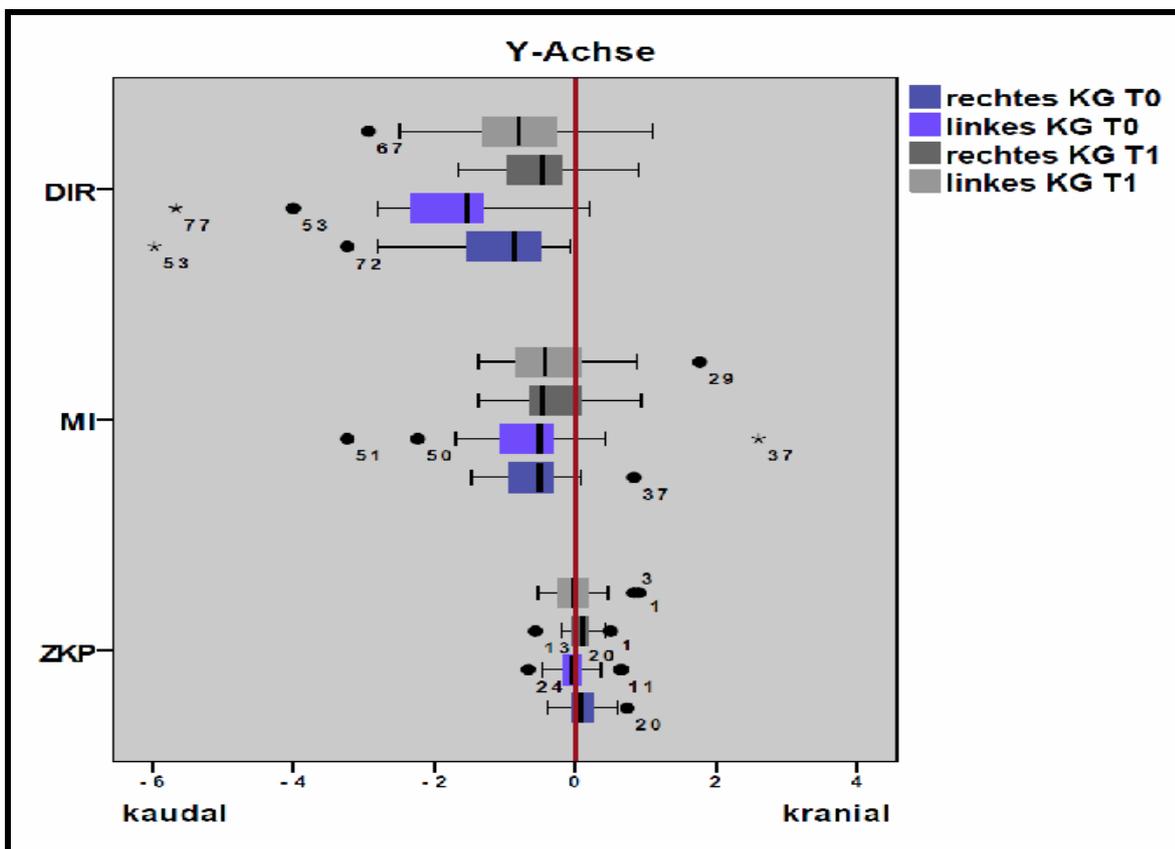


Abb. 4.3 Boxplots der Werte Verteilung (in mm) für die elektronische Positionsanalyse der Kondylen des rechten und linken Kiefergelenks (KG) in der Y-Achse von zentrischer Kondylenposition (ZKP), maximaler Interkuspidation (MI) und DIR®-Position, vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie, die rote Linie markiert die Nullposition. Der farbige Balken zeigt das Bewegungsspektrum aller Probanden, die schwarze Linie markiert den Mittelwert aller Messungen. Der farbige Balken umfasst die mittleren 50%, die dünne schwarze Linie rechts begrenzt die oberen 25%, die Linie links die unteren 25%. Die dicke schwarze Linie innerhalb des farbigen Balkens markiert den Median, rechts davon liegt das obere, links davon das untere Quartil. Die Punkte seitlich des Boxplots beschreiben einzelne Messergebnisse, die weit vom Durchschnitt abweichen.

Die Abb. 4.3 zeigt für die ZKP Werte des Medians vor Therapie von 0,08mm für das rechte und -0,05mm für das linke Kiefergelenk. Nach der Therapie lag der Medianwert

des rechten Kiefergelenks bei 0,1mm und der des linken Kiefergelenks bei -0,02mm. Im Vergleich dazu lag die MI weiter kaudal. Vor der Schienentherapie betrug der Median beider Kiefergelenke -0,05mm, nach der Schienentherapie lag der Median des rechten Kiefergelenks bei -0,38mm und der des linken bei -0,4mm. Am weitesten kaudal lag die DIR®-Position mit Medianwerten von -0,87mm für das rechte und 1,53mm für das linke Kiefergelenk zum Voruntersuchungszeitpunkt. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt wurden Medianwerte von -0,47mm rechts und -0,73 links gemessen.

4.2.2.3. Z-Achse

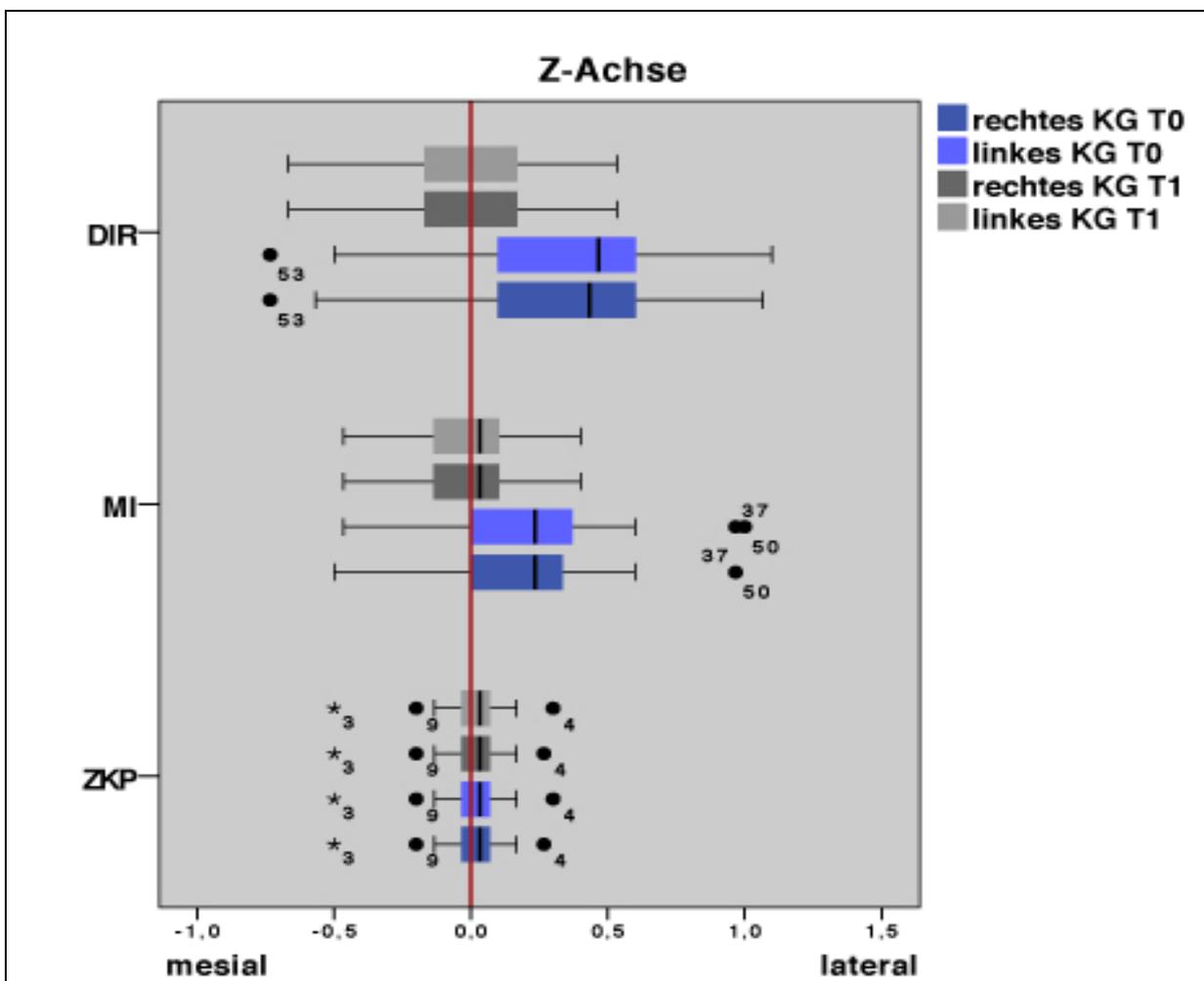


Abb. 4.4 Boxplots der Wertevertelung (in mm) für die elektronische Positionsanalyse der Kondylen des rechten und linken Kiefergelenks (KG) in der X-Achse von zentrischer Kondylenposition (ZKP), maximaler Interkuspitation (MI) und DIR®-Position, vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie, die rote Linie markiert die Nullposition. Der farbige Balken zeigt das Bewegungsspektrum aller Probanden, die schwarze Linie markiert den Mittelwert aller Messungen. Der farbige Balken umfasst die mittleren 50%, die dünne schwarze Linie rechts begrenzt die oberen 25%, die Linie links die unteren 25%. Die dicke schwarze Linie innerhalb des farbigen Balkens markiert den Median, rechts davon liegt das obere, links davon das untere

Quartil. Die Punkte seitlich des Boxplots beschreiben einzelne Messergebnisse, die weit vom Durchschnitt abweichen.

Die Boxplots (Abb. 4.4) der Z-Achse zeigen für die MI vor Schienentherapie einen Medianwert für beide Kiefergelenke von 0,23mm. Sie lag damit weiter lateral als die ZKP, welche mit leichtem Lateralversatz gemessen wurde (alle Mediane 0,03mm vor und nach Therapie). Nach der Therapie stimmen die Medianwerte von MI und ZKP überein (0,03mm). Die DIR[®]-Position lag vor der Schienentherapie am weitesten lateral (Medianwert rechtes Kiefergelenk 0,43mm, linkes Kiefergelenk 0,47mm). Nach der Therapie lag die DIR[®]-Position für beide Kiefergelenke synchron ohne Lateralversatz (Medianwerte 0,00mm).

4.2.3. Statistischer Vergleich der Registriertechniken (-verfahren) mit der EPA

Zum Voruntersuchungszeitpunkt hatte das Registrierverfahren einen signifikanten Einfluss ($p \leq 0.001$) auf die Kondylenposition in allen drei Raumebenen. Der Post-Hoc Test zeigte eine signifikante Verlagerung der Kondylen nach ventral und kaudal ($p \leq 0.04$) in der DIR[®]-Position verglichen mit der Registrierung in ZKP und MI. In MI konnte ebenfalls eine hoch signifikante ($p = 0.001$) ventral-kaudal Verlagerung der Kondylen im Vergleich zur ZKP beobachtet werden. In der Y-Achse wurden statistisch signifikante Unterschiede zwischen allen Registrierpositionen festgestellt ($p \leq 0.002$). In der Z-Achse wurden hoch signifikante Unterschiede ($p \leq 0.001$) zwischen der DIR-Position und der ZKP detektiert, während sich die Kondylenposition in maximaler Interkuspidation nicht signifikant von der DIR-Position unterschied. Signifikante Unterschiede ($p = 0.03$) wurden zwischen MI und ZKP im rechten Kiefergelenk gefunden.

Zum Nachuntersuchungszeitpunkt beeinflusste das Registrierverfahren die Kondylenposition in der X- und Y-Achse hoch signifikant ($p \leq 0.001$). Während in der Z-Achse keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten. In ZKP befanden sich die Kondylen signifikant ($p \leq 0.002$) weiter dorsal und kranial als in MI und DIR-Position (Ausnahme Differenz ZKP:MI in der Y-Achse des linken Kiefergelenks). Differenzen zwischen den Kondylenpositionen in MI und DIR-Position waren in der X-Achse nicht signifikant, während in der Y-Achse die DIR-Position zu einer signifikanten ($p \leq 0.05$) kaudalen Kondylenposition führte.

	Vor Schienentherapie (T0)						Nach Schienentherapie (T1)					
	X-Achse		Y-Achse		Z-Achse		X-Achse		Y-Achse		Z-Achse	
	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
Anova												
F-ratio	23,33	25,39	20,54	42,18	10,18	8,01	33,62	35,5	16,21	14,85	0,001	0,002
P-Wert	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1
MI:ZKP												
P-Wert	0,001	0,001	0,001	0,03	0,03	0,08	0,001	0,001	0,002	0,07	1	1
MI:DIR®												
P-Wert	0,01	0,04	0,02	0,001	0,14	0,14	1	0,16	0,05	0,004	1	1
DIR®:ZKP												
P-Wert	0,001	0,001	0,001	0,001	0,02	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1

Tabelle 4.4 Statistischer Vergleich der Ergebnisse der elektronischen Positionsanalyse bei unterschiedlichen Registrierverfahren, vor (T0) und nach Schienentherapie (T1) (R-rechtes, L-linkes Kiefergelenk). Zur Analyse der Differenzen zwischen den Kondylenpositionen wurde die einfaktorische oneway ANOVA Analyse mit einem Signifikanzniveau $p \leq 0.05$ verwendet. Zur Analyse zwischen den Differenzen der Techniken wurde die Post-Hoc Bonferroni-Korrelation verwendet. Fett: statistisch signifikanter Unterschied

4.2.4. Auswertung der Reproduzierbarkeit unterschiedlicher Registriertechniken

	Rechtes Kiefergelenk			Linkes Kiefergelenk		
	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse
ZKP T0						
Mittelwert	0,46	0,45	0,29	0,55	0,4	0,3
Standardabweichung	0,58	0,35	0,19	0,55	0,48	0,24
Minimum	0	0	0,1	0	0	0
Maximum	2	1,4	0,7	2	1,7	1
ZKP T1						
Mittelwert	0,28	0,42	0,18	0,31	0,46	0,18
Standardabweichung	0,41	0,28	0,17	0,39	0,33	0,17
Minimum	0	0,1	0	0	0	0
Maximum	2	1	0,8	2	1,3	0,44
MI T0						
Mittelwert	0,18	0,25	0,1	0,18	0,2	0,1
Standardabweichung	0,2	0,26	0,8	0,21	0,17	0,08
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0,8	1,1	0,3	1	0,8	0,3
MI T1						
Mittelwert	0,15	0,22	0,1	0,13	0,18	0,1
Standardabweichung	0,37	0,17	0,07	0,14	0,1	0,06
Minimum	0	0	0	0	0,1	0
Maximum	1	0,9	0,3	0,6	0,5	0,15
DIR® T0						
Mittelwert	0,06	0,24	0,84	0,07	0,08	0,08
Standardabweichung	0,6	0,14	0,06	0,09	0,28	0,08
Minimum	0	0,1	0	0	0	0
Maximum	0,2	0,6	0,2	0,3	1	0,2
DIR® T1						
Mittelwert	0,62	0,12	0,25	0,09	0,1	0,25
Standardabweichung	0,06	0,09	0,17	0,06	0,08	0,17
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0,2	0,3	0,6	0,2	0,3	0,1

Tabelle 4.5 Deskriptive Statistik, Differenzen der in der elektronischen Positionsanalyse gemessenen einzelnen Werte der Kondylenpositionen für die jeweilige Registratposition, von zentrischer Kondylenposition (ZKP), maximaler Interkuspitation (oder habitueller Interkuspitation) (MI) sowie DIR®-Position, vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie, gemessen in mm

Die geringsten Standardabweichungen sind zu finden bei den Differenzen der Z-Werte von MI rechts vor Therapie (0,08), Differenzen der X- und Z-Werte DIR® rechts vor Therapie (beide 0,06), Differenzen der X-Werte DIR® links vor Therapie (0,09), Differenzen der Z-Werte MI rechts nach Therapie (0,07), sowie bei den DIR®-Werten für X und Y rechts und links nach Therapie (0,06/0,09/0,06/0,08).

Die geringsten Differenzen bezüglich der Mittelwerte weist ebenfalls die DIR[®]-Messung auf. Nur beim Z-Wert rechts ist es die MI, die die geringste Differenz der Mittelwerte aufweist.

	Vor Schienentherapie (T0)						Nach Schienentherapie (T1)					
	X-Achse		Y-Achse		Z-Achse		X-Achse		Y-Achse		Z-Achse	
	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
Anova												
F-ratio	8,74	16,71	16,4	13,41	4,42	26,88	12,58	10,18	18,31	26,2	5,65	5,25
P-Wert	0,003	0,001	0,001	0,001	0,03	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,02	0,02
MI:ZKP												
P-Wert	0,22	0,004	0,08	0,02	0,19	0,001	0,02	0,02	0,01	0,001	0,23	0,23
MI:DIR[®]												
P-Wert	0,01	0,16	0,01	0,02	1	0,4	0,03	0,43	0,05	0,02	0,19	0,3
DIR[®]:ZKP												
P-Wert	0,002	0,001	0,001	0,001	0,06	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,02	0,001

Tabelle 4.6 Statistischer Vergleich der Differenzen der in der elektronischen Positionsanalyse gemessenen einzelnen Werte der Kondylenpositionen für die jeweilige Registratposition, vor (T0) und nach Schienentherapie (T1) (R-rechtes, L-linkes Kiefergelenk). Zur Analyse der Differenzen zwischen den Kondylenpositionen wurde die einfaktorielle oneway ANOVA Analyse mit einem Signifikanzniveau $p \leq 0.05$ verwendet. Zur Analyse zwischen den Differenzen der Techniken wurde die Post-Hoc Bonferroni-Korrelation verwendet. Fett: statistisch signifikanter Unterschied

Zum Voruntersuchungszeitpunkt konnten signifikante Unterschiede in der Reproduzierbarkeit der Kondylenposition mit unterschiedlichen Registrierverfahren festgestellt werden ($p \leq 0.03$). Mittels Post Hoc Test wurde eine signifikant ($p \leq 0.002$) höhere Reproduzierbarkeit der Kondylenposition in der DIR[®]-Position verglichen mit der ZKP nachgewiesen (Ausnahme Z-Achse des rechten Kiefergelenks). Ebenso war die Reproduzierbarkeit in DIR[®]-Position höher als in MI (signifikant $p \leq 0.02$ für die X-Achse und die Y-Achse). Variable Ergebnisse wurden für den Vergleich ZKP:MI gefunden. Die Unterschiede in der X-, Y- und Z-Achse im rechten Kiefergelenk waren nicht signifikant, während die MI in der Y- und Z-Achse im jeweils linken Kiefergelenk eine signifikant ($p \leq 0.02$) höhere Reproduzierbarkeit aufwies und die ZKP in der X-Achse im linken Kiefergelenk.

Zum Nachuntersuchungszeitpunkt wies die Wiederholbarkeit der Kondylenpositionen ebenfalls signifikante ($p \leq 0.02$) Unterschiede zwischen den Registrierverfahren auf. Die Reproduzierbarkeit der DIR[®]-Position erwies sich als signifikant ($p \leq 0,02$) höher als die der manuell geführten ZKP. Der Vergleich MI und DIR ergab analoge Ergebnisse zur Voruntersuchung. Auch zum Nachuntersuchungszeitpunkt wurden variable Ergebnisse für die Reproduzierbarkeit zwischen MI und ZKP gefunden. In der Z-Achse konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, in der X-Achse in beiden Gelenken und in der Y-Achse im linken Kiefergelenk zeigt die MI eine signifikant ($p \leq 0.02$) höhere Wiederholbarkeit, in der Y-Achse im rechten Kiefergelenk die ZKP ($p = 0.01$).

4.3. Auswertung der Ergebnisse des Messartikulators

4.3.1. Allgemeiner und statistischer Vergleich der Ergebnisse des Messartikulators

Die Achsen im Messartikulator entsprechen den Achsen der EPA, d.h. die X-Achse liegt auf der Sagittalen und positive Werte bedeuten eine Verschiebung nach ventral, negative Werte eine Verschiebung nach dorsal. Verschiebungen auf der Y-Achse spielen sich in der Vertikalen ab, positive Werte liegen weiter kranial, negative Werte weiter kaudal. Die Z-Achse liegt horizontal auf einer Verbindungslinie der Kondylen, sind die Werte positiv, so bedeutet dies für das rechte Kiefergelenk eine Verschiebung nach lateral, negative Werte liegen für das rechte Kiefergelenk weiter medial.

	Rechtes Kiefergelenk			Linkes Kiefergelenk	
	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse	X-Achse	Y-Achse
ZKP T0					
Mittelwert	-1,35	-1,54	0,13	-1,17	-0,82
Standardabweichung	1,17	1,16	0,72	1,22	1,66
Minimum	-4	-3,1	-1,26	-3,99	-3,96
Maximum	2,18	1,76	1,65	2,61	2,48
MI T0					
Mittelwert	-0,9	-1,27	0,03	-0,76	-0,62
Standardabweichung	0,78	0,79	0,62	0,68	0,94
Minimum	-2,49	-2,55	-1,27	-2,45	-2,55
Maximum	0,62	0,12	1,86	0,1	1,79
DIR® T0					
Mittelwert	-0,46	-0,59	0,18	-0,15	-0,89
Standardabweichung	0,43	0,47	0,34	0,50	0,59
Minimum	-1,4	-1,36	-0,65	-1,03	-2,35
Maximum	1,79	1,03	0,84	0,91	0,22
DIR® T1					
Mittelwert	-0,48	-0,55	0,04	-0,38	-0,56
Standardabweichung	0,3	0,53	0,19	0,24	0,44
Minimum	-1,02	-2,62	-0,24	-0,75	-1,6
Maximum	0,21	0,52	0,43	0,23	0,36

Tabelle 4.7 Deskriptive Statistik der Ergebnisse des Messartikulators bei Vermessung der Kondylenposition unterschiedlicher Registrierverfahren, gemessen in mm für die zentrische Kondylenposition (ZKP), maximale Interkuspitation (oder habituelle Interkuspitation) (MI) und die DIR®-Position vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie.

In ZKP liegen beide Kondylen dorsaler (rechts -1,35mm und links -1,17mm) als in MI (rechts -0,9 und links -0,76) und DIR®-Position sowohl vor (rechts -0,46mm und links -0,15mm) als auch nach der Schienentherapie (rechts -0,48mm und links -0,38mm). Auf der Y-Achse (Verschiebung nach kranial-kaudal) liegt rechts die ZKP am kaudalsten (-1,54mm) gefolgt von MI (-1,27mm), DIR® T0 (-0,59mm) und DIR® T1 (-0,55mm). Auf der linken Seite zeigt sich ein abweichendes Bild. Dort liegt DIR® T0 am kaudalsten (-0,89mm), gefolgt von ZKP (-0,82mm), MI (-0,62mm) und DIR® T1 (-0,56mm), welche damit am kranialsten liegt. Auf der Z-Achse liegt die DIR®-Position T0 am weitesten zur rechten Patientenseite verschoben (0,18mm), dann folgt die ZKP (0,13mm), am wenigsten lateralen Versatz weisen DIR® T1 (0,04mm) und MI (0,03mm) auf. Beim Vergleich von MI und ZKP zeigt sich also, dass in MI beide Kondylen weiter ventro-kranial liegen als bei ZKP. In MI liegt der rechte Kondylus weiter dorso-kaudal, der linke Kondylus weiter dorso-kranial im Vergleich zur DIR®-Position T0. In der DIR®-Position befindet sich der rechte Kondylus ventro-kranial, der linke Kondylus ventral und leicht kaudal im Verhältnis zur ZKP. Bezüglich der DIR®-Position zeigt sich, dass der rechte Kondylus vor

und nach Therapie nahezu in der gleichen Position liegt, wohin gegen sich der linke Kondylus nach der Therapie weiter dorso-kranial befindet.

	Rechtes Kiefergelenk			Linkes Kiefergelenk	
	X-Achse	Y-Achse	Z-Achse	X-Achse	Y-Achse
MI:ZKP					
P-Wert	0,026	0,303	0,482	0,121	0,532
MI:DIR[®] T0					
P-Wert	0,005	0,001	0,251	0,001	0,18
DIR[®] T0:ZKP					
P-Wert	0,001	0,001	0,727	0,001	0,838
DIR[®] T0:DIR[®] T1					
P-Wert	0,776	0,776	0,032	0,25	0,01
MI: DIR[®] T1					
P-Wert	0,01	0,001	0,918	0,11	0,762
ZKP: DIR[®] T1					
P-Wert	0,001	0,001	0,53	0,005	0,441

Tabelle 4.8 Deskriptive Statistik und statistische Auswertung der Ergebnisse des Messartikulators bei Vermessung der Kondylenposition unterschiedlicher Registrierverfahren, gemessen in mm für die zentrische Kondylenposition (ZKP), maximale Interkuspitation (oder habituelle Interkuspitation) (MI) und die DIR[®]-Position vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie. Zur Analyse der statistischen Unterschiede zwischen den vermessenen Kondylenpositionen wurde die Bonferroni Korrelation mit einem Signifikanzniveau $p \leq 0.05$ verwendet, * statistisch signifikanter Unterschied

In der Bonferroni Korrelation zeigt sich der Vergleich von MI und DIR[®] T0 auf der X-Achse rechts als statistisch signifikant ($p=0.005$) und links als statistisch hoch signifikant ($p \leq 0.001$). Ebenfalls statistisch hoch signifikant ($p=0.001$) ist die Verschiebung nach kranial von DIR[®] T0 im Vergleich zu MI. Die gleichen Kondylenpositionen (RX, LX und RY) zeigen sich beim Vergleich von DIR[®] T0 und ZKP als statistisch hoch signifikant ($p \leq 0.001$). Der Vergleich von MI und DIR[®] nach Therapie zeigt sich auf der rechten Patientenseite statistisch auffällig. Der X-Wert weicht statistisch signifikant ab ($p=0.01$), der Y-Wert sogar hoch signifikant ($p=0.001$). Auch beim Vergleich ZKP mit DIR[®] nach Therapie sind der rechte X- und Y-Wert hoch signifikant ($p=0.001$ und $p \leq 0.001$) sowie der linke X-Wert signifikant ($p=0.005$). Im Vergleich DIR[®] T0 und T1 ist die Abweichung des linken Y-Wertes statistisch signifikant ($p=0.01$). Bezüglich der Z-Achse zeigen sich keine Signifikanzen hinsichtlich der unterschiedlichen Registriertechniken. Einzige Ausnahme ist die DIR[®]-Position vor und nach Schienentherapie ($p=0.032$).

4.3.2. Graphischer Vergleich der Ergebnisse des Messartikulators

Die graphische Darstellung der Werteverteilung in Form von Boxplots für den Messartikulator (Abb. 4.5) zeigt auf der X-Achse ein zu den Ergebnissen der EPA analoges Bild. Auch hier lag die ZKP im Vergleich zu MI und DIR[®]-Position am weitesten dorsal mit einem Medianwert von -1,45mm für das rechte Kiefergelenk und -1,4mm für das linke Kiefergelenk. Im Vergleich dazu Median MI rechtes KG: -0,81mm, linkes KG: -0,94, DIR[®] vor Therapie rechtes KG -0,58mm und linkes KG -0,37. Am wenigsten weit dorsal lag die DIR[®]-Position nach Schienentherapie mit Medianwerten für das rechte Kiefergelenk von -0,52mm und -0,42mm für das linke Kiefergelenk.

Auf der Y-Achse lag die ZKP am weitesten kaudal, der Median beträgt für das rechte Kiefergelenk -1,87mm und für das linke Kiefergelenk -0,66mm. Die MI lag im Vergleich zur ZKP weiter kranial (Median rechtes KG -1,47 linkes KG -0,63mm). Am weitesten kranial lagen die DIR[®]-Positionen vor und nach Therapie. Der Medianwert für das rechte Kiefergelenk beträgt -0,85mm vor und 0,57mm nach Schienentherapie. Für das linke Kiefergelenk beträgt der Median vor Therapie -1,08mm und -0,59mm nach Therapie.

Auf der Z-Achse weist der Median von ZKP und MI einen einheitlichen Wert auf (0,05mm). Der Lateralversatz war in der DIR[®]-Position vor Therapie am größten (Median 0,22mm), nach der Therapie dagegen am geringsten (Median -0,02mm).

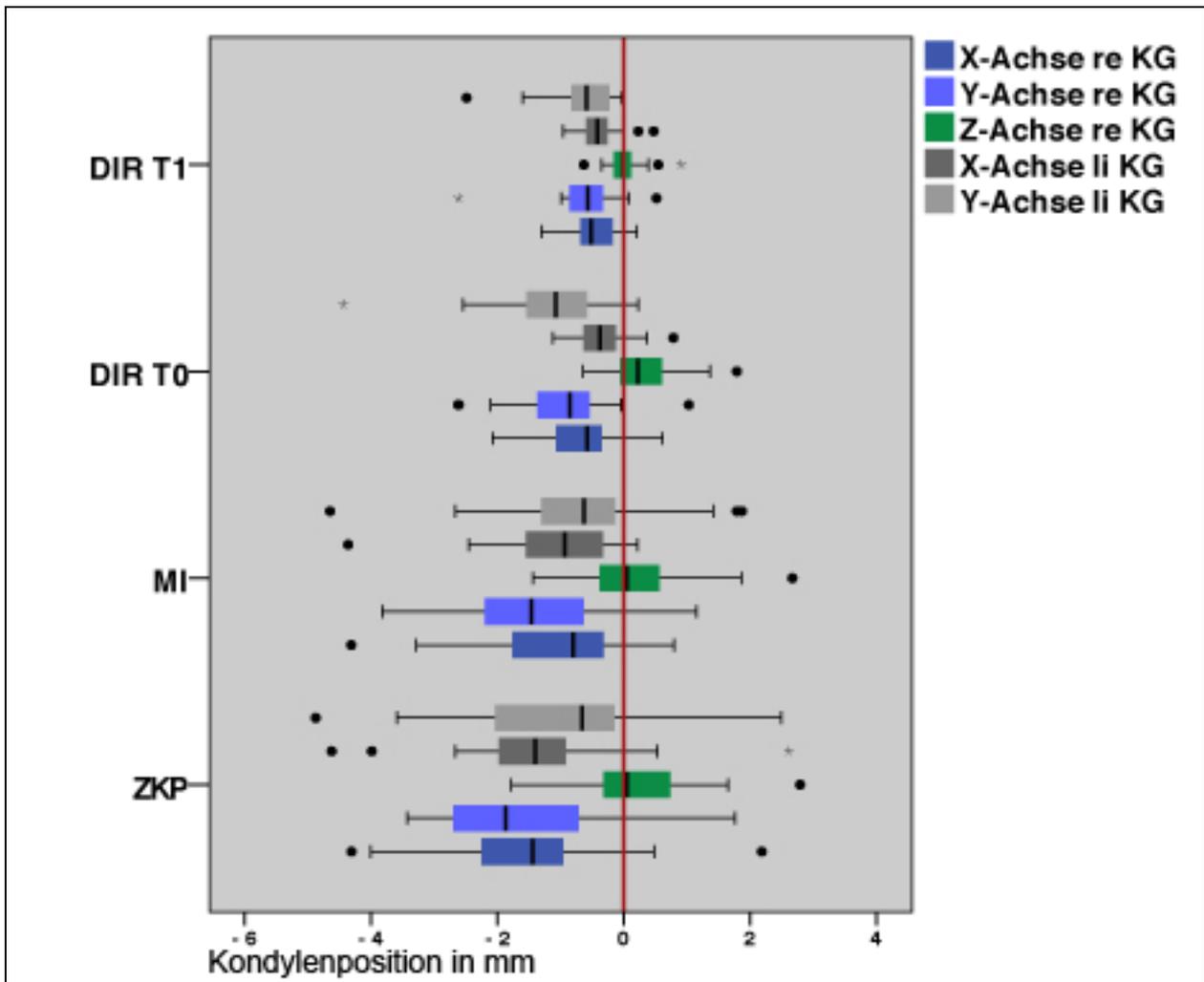


Abb. 4.5 Boxplots der Werteverteilung (in mm) für die Vermessung der Kondylen des rechten und linken Kiefergelenks (KG) im Messartikulator in zentrischer Kondylenposition (ZKP), maximaler Interkuspidation (MI) und DIR[®]-Position, vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie, die rote Linie markiert die Nullposition. Der farbige Balken zeigt das Bewegungsspektrum aller Probanden, die schwarze Linie markiert den Mittelwert aller Messungen. Der farbige Balken umfasst die mittleren 50%, die dünne schwarze Linie rechts begrenzt die oberen 25%, die Linie links die unteren 25%. Die dicke schwarze Linie innerhalb des farbigen Balkens markiert den Median, rechts davon liegt das obere, links davon das untere Quartil. Die Punkte seitlich des Boxplots beschreiben einzelne Messergebnisse, die weit vom Durchschnitt abweichen.

5. Diskussion

5.1. Elektronische Funktionsanalyse

5.1.1. Condyle Range of Motion und Incisal Range of Motion

In der durchgeführten Studie waren die Werte für die Condyle Range of Motion, die Bewegungsspur des Kondylus, nach der Schienentherapie etwas geringer als vor der Schienentherapie. Der Vergleich der Werte vor und nach Schienentherapie war statistisch jedoch nicht signifikant. Die Verminderung der Condyle Range of Motion könnte darin begründet liegen, dass der Anstieg der Kontraktionsstärke der Mundöffner, insbesondere der suprahyoidalen Muskulatur, zu einem erhöhten Anteil der rotierenden Komponente an der Mundöffnung geführt hat. Mehr Rotation bedeutet im Umkehrschluss weniger Translation und damit auch weniger Bewegung des Kondylus.

In der vorliegenden Studie lag die Mundöffnung vor Schienentherapie im Mittel bei 4,86cm und nach der Therapie bei 5,1 cm. Dieser Zuwachs ist statistisch signifikant ($p=0.044$).

Das Ausmaß einer „normalen Mundöffnung“ beträgt nach Bumann und Lotzmann (2000) durchschnittlich 53-58mm, nach Ottl et al. (2005) ist eine maximale aktive Kieferöffnung von mehr als 40mm regulär und Werte über 50mm weisen auf eine Hypermobilität hin, die in der Regel mit einer Bindegewebsschwäche korreliert. Obwohl Frauen generell mobilere Gelenke besitzen, weisen Männer eine 3-5mm weitere Mundöffnung auf. Sie ist weiterhin von Körpergröße und Alter abhängig (nimmt im Alter ab) (Bumann und Lotzmann 2000). Als grober Richtwert für eine eingeschränkte Mundöffnung gelten alle Werte < 4 cm. Unabhängig von wissenschaftlichen Grenzen (40-42mm) liegt immer dann eine Mundöffnungseinschränkung vor, wenn die Unterkieferbeweglichkeit eines Patienten objektiv (im Vergleich zu früheren Befunden) reduziert ist (Bumann und Lotzmann 2000). Ursachen für eine reduzierte Kieferöffnung sind gemäß Ottl et al. (2005) kurz zurückliegende entzündliche Veränderungen, Traumata bzw. operative Eingriffe im Mund-, Kiefer-, Gesichtsbereich, Musclesplinting (Muskelschienung = starre Schonhaltung zur Vermeidung von Schmerzen), ein-/beidseitige Muskelkontraktur (chronischer Wider-

stand gegen passive Dehnung), anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition, Adhäsion zwischen Diskus und Schädelbasis, aber auch Tumore und Metastasen im Bereich des Kiefergelenks und des Mittelgesichts. Ash und Schmidtsieder (2005) fordern als Minimalziel einer als erfolgreich zu bezeichnende Therapie bei schmerzhaft eingeschränkter Kiefergelenkbeweglichkeit, eine Erhöhung der Mundöffnung um 9mm.

Mundöffnungseinschränkungen gehen stets mit einer Verkürzung einer oder mehrerer Strukturen (Ligamente, Kapsel, intraartikuläre Strukturen, Muskeln, Faszien und Haut) einher (Bumann und Lotzmann 2000). Verkürzungen insbesondere von Muskeln können durch Dehnung therapiert werden, durch Überdehnung oder passive Dehnung kann es allerdings auch zu Muskelspasmen oder Muskelkontraktur kommen (Lotzmann 2006).

In der vorliegenden Studie waren sämtliche Probanden funktionsgesund, die Mundöffnung also nicht eingeschränkt. Trotzdem vergrößerte sich die Mundöffnung nach dreimonatiger Schienentherapie signifikant.

Die Mundöffnung wird durch die Aktivität der suprahyoidalen Muskulatur (Rotation) und des M. pterygoideus lateralis (Translation) ermöglicht. Mit der Mundöffnung steigt die Spannung im Stratum superius der bilaminären Zone und in der vorderen unteren Gelenkkapsel. Das Stratum superius kann zwar die Ventralbewegung des Diskus hemmen, nicht jedoch die Mundöffnung. Diese wird von der Gelenkkapsel und dem Ligamentum laterale begrenzt (Bumann und Lotzmann 2000).

Da in der vorliegenden Studie lediglich die Position der Kondylen bei Durchführung der Stützstiftregistrierung ermittelt wurde, kann über die tatsächliche Gelenkstellung beim Tragen der Schiene keine Aussage gemacht werden. Schienen die zu einer Dehnung bzw. Distraction der Kiefergelenkkapsel führen sollen, werden als Dekompressionschienen bezeichnet und weisen ein Hypomochlion auf. Dies trifft auf die DIR[®]-Schiene nicht zu. Es kann auch nicht evaluiert werden, ob die an der Mundöffnung beteiligte Muskulatur durch Tragen der Schiene unter Umständen eine Dehnung erfahren hat. Unter Dehnung versteht man die maximale Entfernung von Ursprung und Ansatz eines Muskels (Hüter-Becker und Dölken 2005). Da die DIR[®]-Schiene eine maximale Bissperrung von 2,5mm verursacht, ist eine Dehnung per Definition nicht denkbar. Hüter-Becker und Dölken (2005) betonen aber, dass es um den Muskel so weit zu verlängern,

dass seine bindegewebigen Anteile gedehnt werden können, nötig ist, den Muskeltonus zu senken, d.h. den Muskel zu entspannen. Es wäre also denkbar, dass es durch das Tragen der Schiene zu einer Entspannung der Kaumusculatur und anderer an der Mundöffnung beteiligten Strukturen gekommen ist und dann beim Kauen, Gähnen oder ausdrucksstarkem Sprechen doch eine Dehnung der entsprechenden Gewebe stattgefunden hat.

Die Kraft der Kaumuskeln hängt sowohl von ihrer Größe als auch von der Länge des Hebelarms ab (van Spronsen et al. 1992). Um therapeutisch die Kraft eines Muskels zu erhöhen sind isometrische (Spannung/Kraft verändert sich bei konstanter Muskellänge) und isotonische (Muskel verändert seine Länge, nicht aber seine Spannung) Übungen sinnvoll. Über isometrische Kontraktionen funktioniert nach Dahan (1983) auch die Funktionskieferorthopädie. Er überprüfte dies mit Schienen, die eine Kontraktion der Antagonisten verursachten. Diese Kontraktionen erzeugten zunächst eine maximale Muskelkraft, ein längeres Fortbestehen führte allerdings zu Abschwächungsphänomenen. Besonders beim Distalbiss zeigte sich durch Schwächung der Antagonisten eine Stärkung der Agonisten und damit eine Verschiebung des muskulären Gleichgewichts zu Gunsten der Agonisten.

Eine gemischt isotonisch-isometrische Form des Kaumuskeltrainings überprüfte Regber (2002). Sie stellte fest, dass sich nach speziellem Kautraining mit standardisiertem Kaugummi das Volumen des Musculus pterygoideus medialis nicht veränderte. Der Musculus pterygoideus lateralis vergrößerte zwar in den ersten zwei Wochen des Trainings sein Volumen signifikant, bildete sich jedoch bereits während der dritten und vierten Woche des Kautrainings wieder zurück. Der Zusammenhang zwischen Muskelkraft und anatomischer Dimension eines Muskels ist allgemein bekannt. Dabei ist die maximale Kraft, die ein Muskel aufbringen kann, proportional zu seinem physiologischen Querschnitt, welcher dem gesamten Querschnitt aller Muskelfasern dieses Muskels entspricht (Weijs und Hillen 1984). Das differierende Verhalten der Flügelmuskeln erklärte sich Regber mit Variationen im Adaptationsverhalten durch unterschiedliche Bewegungen beim Kauakt und durch ihre anatomische Lage in der Tiefe des Kieferwinkels, welche eine hypertrophische Anpassung nicht zulässt.

Untersuchungen zeigen, dass grundsätzlich eher Fasern des schnellen Typs II durch Training hypertrophieren. Diese Fasern finden sich hauptsächlich im Musculus pterygoideus medialis.

Da alle Probanden der Studie funktionsgesund waren, kann die gesteigerte Mundöffnung nicht auf Muskeldysfunktionen zurückgeführt werden. Rückwirkend kann nicht festgestellt werden, ob Muskeln die an der Mundöffnung beteiligt sind oder Ligamente die die Mundöffnung limitieren, durch die Schienentherapie dilatiert wurden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen vermuten, dass eine Zunahme der Kontraktionsfähigkeit der Mundöffner (M. pterygoideus lateralis und suprahyoidale Muskulatur) zu einer signifikanten Vergrößerung der Mundöffnung nach Schienentherapie geführt hat.

Bei Retrusion und Laterotrusion zeigten sich keine statistischen Auffälligkeiten.

5.2. Elektronische Positionsanalyse

5.2.1. Vergleich der Kondylenpositionen bei unterschiedlichen Registriertechniken

Die Unterkieferposition in MI ist über die maximale Verzahnung der vorhandenen Zähne dreidimensional festgelegt, welche nach dem gewohnheitsmäßigen Schluss der Kiefer erreicht wird (Lückerath 1999). Die MI ist also unabhängig von einer Kondylenposition. Das Erreichen von maximalen Zahn-zu-Zahn-Kontakten kann zu einer Verschiebung der Kondylen in allen drei Raumebenen führen. Bei gesunden Patienten korrespondiert die MI idealerweise mit der zentrischen Relation (Bumann und Lotzmann 2000). Häufig wurde allerdings festgestellt, dass die MI weiter ventral und kaudal liegt als die ZKP (Bumann und Lotzmann 2000, Keshvad und Winstanley 2003, Wood und Elliot 1994). Diese Beobachtung kann durch die vorliegende Studie bestätigt werden. Die MI zeigte vor und nach der Schienentherapie eine statistisch hoch signifikante ventro-kaudal Verschiebung im Vergleich zur ZKP. In der Literatur werden Abweichungen zwischen MI und ZKP mit 1,5mm auf der X- und Y-Achse sowie mit 0,5mm auf der Z-Achse angegeben (Cordray 1996, Kulbersh et al. 2003). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen auf der X-Achse Abweichungen von 1,72mm \pm 0,51mm rechts und von 0,88mm \pm 0,78mm links vor Schienentherapie und 0,72mm \pm 0,51mm (rechts) und 0,71mm \pm 0,54mm (links) nach

Schientherapie. Die Differenzen in der Y-Achse waren $-0,68\text{mm} \pm 0,49\text{mm}$ (rechts) und $-0,79\text{mm} \pm 0,69\text{mm}$ (links) vor respektive $-0,37\text{mm} \pm 0,49\text{mm}$ (rechts) und

$-0,33\text{mm} \pm 0,7\text{mm}$ (links) nach Schientherapie. Die Mittelwerte in der Z-Achse lagen bei $0,31\text{mm} \pm 0,25\text{mm}$ vor und $0,00\text{mm} \pm 0,17\text{mm}$ nach Schientherapie.

In der DIR[®]-Position wurden die größten Abweichungen nach kaudal gefunden. Die DIR[®]-Position zeigte weiterhin den größten Versatz nach ventral im Vergleich zu MI und ZKP.

Obwohl die ZKP per Definition die kranioventrale, nicht seitenverschobene Position bei der Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe (DGZMK 1992) ist, hat die vorliegende Studie gezeigt, dass die Kondylenpositionen bei MI und DIR[®]-Registrierung in der EPA signifikant weiter ventral lagen als in der ZKP. Durch die konkave Anatomie der Gelenkgrube ergibt sich dadurch auch eine weiter kaudal liegende Position der Kondylen.

Ähnliche Beobachtungen haben auch Bumann und Lotzmann (2000) gemacht, die angeben, dass nicht manipulierte Unterkieferpositionen in der Regel vor der manuell geführten Zentrik liegen. Sie empfehlen grundsätzlich die Verwendung der neuromuskulären Zentrik. Dies ist die Kondylenposition, die sich zwangsläufig für den individuellen Patienten ergibt, wenn die antagonistischen Muskelgruppen des Unterkiefers symmetrisch mit individuell minimalem Tonus aktiv sind. Diese Zentrik ist identisch mit der neuromuskulären Position des Unterkiefers und befindet sich am Ende der muskelgeführten Schließbewegung. Sie fällt häufig nicht mit der ventrokraniellen Referenzposition zusammen.

Weiterhin verweisen Bumann und Lotzmann (2000) auch auf die bereits im Kapitel „Grundlagen“ näher eingegangene Myozentrik nach Jankelson. Auch diese Position liegt nach ihren Beobachtungen in der Mehrzahl der Fälle deutlich ventro-kaudal der ZKP. Dies bestätigt Losert-Bruggener (2004) der IKP, RKP, Myozentrik und IPR[®]-Position (Intraoral Pressuredependent Registration, Vorgängermodell des DIR[®]-Systems) verglichen. Myozentrik und IPR[®]-Position lagen wesentlich weiter anterior als die IKP, therapeutisch erfolgreiche Schienenpositionen lagen im Durchschnitt $2,7\text{mm}$ vor der RKP und $1,8\text{mm}$ vor der IKP. Kubein-Meesenburg (1985) sieht Positionsveränderungen die über

1,5 bis 2mm hinausgehen allerdings als kritisch an, und weist darauf hin, dass sie schrittweise vollzogen werden müssen.

Demling et al. stellten 2008 fest, dass es sowohl bei Eingliederung einer Pivotschiene als auch bei Eingliederung einer Stabilisierungsschiene bei normaler Kaukraft zu einer anterior-kaudal gerichteten Verlagerung des kondylären Referenzpunktes kommt. Maximale Kaukraft führte zu einer signifikanten Verstärkung der Verlagerung in anteriorer Richtung und signifikanter Reduzierung der Verlagerung in kaudaler Richtung.

Am weitesten ventro-kaudal lag bei den Messungen der vorliegenden Studie die DIR[®]-Position. Als Grund dafür kommt infrage, dass die DIR[®]-Position als einzige mittels Sperrung durch das intraorale Stützstiftregistrat ermittelt wurde. Auch Weber (2006) bemerkte bei der Stützstiftregistrierung häufig Verlagerungen der Kondylen nach ventral im Vergleich zur MI. Diese Abweichungen bestätigen sowohl Hillgärtner (2000) als auch Hugger (1995). Hugger überprüfte die Ergebnisse von Stützstiftregistraten durch kernspintomographische Aufnahmen und stellte häufig antero-kaudale Verlagerungen der Kondylen gegenüber der habituellen Interkuspitation fest. Ursächlich hierfür könnte die bei Stützstiftregistrierung immer erforderliche Sperrung (Fröhlich und Körber 1978) sein. Diese ist nötig, damit es zu einer interokklusale Entkoppelung und dadurch zu einer interferenzfreien Aufzeichnung kommen kann. Nach Utz et al. 1994 beträgt diese Sperrung im Mittel 3,4mm, nach Fröhlich und Körber (1978) 2-4mm, sie liegt also im Bereich der physiologischen Ruhelage des Unterkiefers. Bei der DIR[®]-Messung wird das Ausmaß der Sperrung mittels Distanzringen eingestellt, die Anzahl dieser Distanzringe wird dokumentiert und der Oberkiefer im Artikulator über den Stützstift um diesen Betrag abgesenkt. Die Absenkung der Vertikaldistanz um den Betrag der Sperrung fordern auch Bumann und Lotzmann (2000) sowie Fröhlich und Körber (1978). Möglicherweise liegt aber genau dort eine Fehlerquelle, denn im Artikulator wird eine Absenkung in Form einer reinen Rotationsbewegung vollzogen, nach dem heutigen Stand der Forschung besteht eine solche reine Rotationsbewegung im Kiefergelenk aber nicht einmal auf den ersten Millimetern der Bewegung (Ferrario et al. 1996).

Als weiteres Problem der Stützstiftregistrierung sehen Utz et al. (1994) die Tatsache, dass die Registrierplatten im Mund die Zunge verdrängen und Einfluss auf die neuromuskuläre Koordination des stomatognathen Systems nehmen. Sie stellen in Frage, ob

eine Registrierung mit zentralem Stützstift wirklich eine „unbeeinflusste“ Aufzeichnung einer muskeldominierten Unterkieferhaltung erlaubt.

Um die mit dem DIR[®]-System ermittelte therapeutische Kondylenposition ohne Sperrung zu evaluieren, wäre eine Messung in abgesenkter Position zu überlegen. Dies könnte Inhalt einer weiteren Studie sein.

Auch der Einwurf von Lotzmann und Kobes (1988) die auf den Gewichtseinfluss des Registrierbogens auf den Verlauf achsiographischer Spuren hinweisen, wäre zu überdenken.

Da für die Herstellung der Schienen die Gesichtsbogenübertragung mittels arbiträrer Scharnierachse herangezogen wurde und diese Modelle auch für die Vermessung im Messartikulator verwendet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass Toleranzen berücksichtigt werden müssen, die beim Herstellungsprozess der Modelle, beim Einartikulieren und auch bei der Übertragung der Scharnierachse in den Artikulator auftreten. Lückerrath (1999) betont, dass klar sein muss, dass Modellpaare im Artikulator nie der tatsächlichen intraoralen Situation bei Kieferschluss des Patienten entsprechen. Gründe hierfür können sein: laterales Verschieben der Modelle gegeneinander, Störung durch das Registratmaterial und die Verwindung der Unterkieferspange bei zu festem Zubeißen während der Abdrucknahme.

Die Ventralverlagerung der DIR[®]-Position im Vergleich zu MI und ZKP resultiert auch aus der Technik mit der das DIR[®]-Registrat gewonnen wird. Zunächst wird der Proband passiv vom Zahnarzt in die retrale Kontaktposition (RKP) geführt, dann wird in einer Position verschlüsselt, welche (abhängig vom Kopfumfang des Patienten) weiter ventral als die RKP liegt. Diese Ventralverschiebung beruht laut Hersteller auf dem Zusammenhang zwischen Kopfumfang und Interkondylarabstand. Im statistischen Vergleich liegt die DIR[®]-Position signifikant weiter ventral als MI und ZKP sowohl vor und nach Schienentherapie. Einzige Ausnahme ist der rechte Kondylus nach Schienentherapie im Vergleich DIR[®] versus MI, hier konnte keine statistisch signifikante Differenz festgestellt werden. Ein solches Ausmaß an Ventralverlagerung wirft die Frage auf, ob es nicht sinnvoller wäre, nicht in einem individuellen sondern in einem standardisierten Maß von 0,5mm vor der RKP zu verschlüsseln (Gerber 1970). Die Auswahl der RKP als Start-

bzw. Ausgangsposition hat den Vorteil, dass sie allgemein als reproduzierbar akzeptiert ist (Helkimo und Ingervall 1978). Daneben scheint es, als wären aktive (patientengeführte) Aufzeichnungen der Unterkieferbewegungen in einem höheren Ausmaß von Dysfunktionssymptomen beeinflussbar, als passive (behandlergeführte) Aufzeichnungen (Helkimo und Ingervall 1978).

In der horizontalen Z-Achse zeigten sich statistisch hoch signifikante Unterschiede zwischen allen Techniken vor der Schienentherapie, aber nicht mehr nach Schienentherapie. Die Kippung des Kiefers bei der intraoralen Stützstiftregistrierung zu einer bevorzugten Seite bemerkte auch Weisbach (2005). Er begründete dies mit Unterschieden in der Aktivität der Kaumuskulatur bzw. mit Unterschieden im Muskelvolumen der Kaumuskulatur beider Seiten, hervorgerufen durch das Kauen auf einer präferierten Seite. Einseitiges Kauen gilt als weniger effektiv als bilateral alternierendes Kauen (Ramfjord und Ash 1971). Wobei Müller et al. (1984) feststellten, dass sich sogar die linke und die rechte Kaubewegung ein und desselben Probanden voneinander unterscheiden kann. Einseitiges Kauen ist assoziiert mit CMD (Miyake et al. 2004, Reinhard et al. 2006), es kann sowohl als Ursache als auch als Folge von CMD angesehen werden (Diernberger 2007). Ursachen für einseitiges Kauen wurden bisher auf zwei Ebenen diskutiert. Einerseits auf dem Gebiet der zentralen Steuerung durch das Gehirn und im Zusammenhang mit anderen Seitigkeiten des Körpers, wie zum Beispiel der Rechts-/Linkshändigkeit (Miyake et al. 2004, Nissan et al. 2004). Auch andere Faktoren wie beispielsweise einseitige Kiefergelenksschmerzen, verminderte Kaueffizienz auf einer Kieferseite aufgrund gelockerter Zähne, Zahnverlust/Stützzonenverlust oder insuffizienter prothetischer Versorgung (Diernberger 2007) können eine Rolle spielen, fallen aber in der vorliegenden Studie nicht ins Gewicht, da sämtliche Probanden funktionsgesund sowie vollbezahlt bzw. suffizient festsitzend versorgt waren. Eine bevölkerungsrepräsentative Studie von Diernberger (2007) zeigte, dass 45,5% des Teilnehmergeuts eine bevorzugte Kauseite aufwies. Meist ist es die rechte Seite (64%). Dies deckt sich mit Angaben zur Rechts-handedigkeit in der Bevölkerung, nach Stein und Stoodley (2006) liegt sie bei 90%. Kleinrok (1986) bemerkte beispielsweise auch, dass Fingernägelknabbern, unabhängig davon ob es an der rechten oder linken Hand geschieht, bevorzugt auf der rechten Kieferseite vollzogen wird. Auch Böhm et al. (1995) bemerkte bei der elektronischen Kondylenpositionsanalyse von RKP und IKP einen Versatz des Unterkiefers mit eindeu-

tiger Vorzugsrichtung. Er begründetes dies jedoch nicht mit einer bevorzugten Kauseite, sondern mit der Art des gewählten Handgriffs, am Führen mit der rechten Hand und am Standort neben der Versuchsperson. Da die Probanden im vorliegenden Fall jedoch ungeführt in MI glitten, kann diese Theorie hier nicht bestehen.

Folgen von einseitigem Kauen, bzw. von einer bevorzugten Kauseite (engl. preferred chewing side) sind in letzter Instanz u. A.: ein erhöhtes Risiko für Kiefergelenksschmerzen und –geräusche sowie Mundöffnungseinschränkungen (Diernberger 2007). Zunächst hypertrophieren jedoch die entsprechenden Muskeln als Anpassungsreaktion auf eine funktionelle oder dysfunktionelle Mehrbelastung. Hypertrophie der Kaumuskulatur ist meist schmerzfrei und schränkt die Unterkieferbeweglichkeit nicht ein (Lotzmann 2006). Unter Muskelhypertrophie versteht man die Erhöhung der Anzahl der Myofibrillen bei konstanter Zellzahl. Sie setzt voraus, dass der Muskel über mehrere Wochen mehrmals am Tag etwa 50% seiner Maximalkraft entwickelt (Klinke, Silbernagel 2003). Die Zunahme an Muskelmasse eines Kaumuskels hat nach Ernst und Freesmeyer (2008) zwei Ursachen. Entweder die Erhöhung reflektorischer Impulse zur Kontraktion oder die Zunahme isometrischer Muskelarbeit (Pressen, Knirschen). Sie äußert sich häufig in einer sogenannten Masseterhypertrophie oder im Musculus temporalis. Eine signifikante Dickenzunahme durch Kautraining des Musculus masseters und des Musculus digastricus stellte auch Regber (2002) fest. Eine Hypertrophie der Musculi pterygoidei lateralis und medialis beobachtete er jedoch nicht.

Eine Hypertrophie auf der einen Kauseite kann zu einer Atrophie der Muskeln der Gegenseite führen. Diese geht auch immer mit einer verminderten Muskelkraft einher, welche im Hinblick auf die Kondylenpositionierung insbesondere für den M. pterygoideus lateralis bedeutsam ist. Je schwächer der Muskel ist, desto schwieriger gestaltet sich eine vetrokraniale Einstellung der Kondylen (Bumann und Lotzmann 2000).

Daraus lässt sich schließen, dass die Abweichungen zur rechten Seite im Vergleich bei MI und DIR®-Position mit der ZKP darin begründet liegen, dass ein Großteil der Probanden bevorzugt auf der rechten Kieferseite kaut. Durch die manuelle Führung durch den Behandler und Zentrierung der Kondylen beeinflusste diese Tatsache die ZKP-Registrierung jedoch nicht. Da die MI behandlerunabhängig vom Probanden alleine herbeigeführt wurden, spielte die bevorzugte Kauseite hier allerdings doch eine Rolle, was

sich in der Abweichung zur rechten Seite vor der Schienentherapie äußerte. Bei der DIR[®]-Position wird auf einer idealisierten Protrusionsbahn verschlüsselt, welche durch den Computer generiert wird und zwar als Winkelhalbierende der aufgezeichneten Schenkel bei der Lateralbewegung. Sie ist also eine idealisierte Bewegungsbahn, d.h. die infolge des ungleichen Muskelzugs lateral versetzt verlaufende Protrusionsbahn wird so gelegt, wie sie bei synchronem Muskelzug verlaufen müsste. Die Verschlüsselung erfolgt demnach auch in Z-Achsen-Richtung versetzt. Diese Tatsache bestätigt sich auch bei der Vermessung im Messartikulator. Die vor und nach Schienentherapie im Messartikulator vermessenen DIR[®]-Positionen sind die einzigen Registrate, die auch auf der Z-Achse auffällige Verschiebungen aufweisen. Vor der Therapie weicht die DIR[®]-Position als einzige deutlich ab, nach der Therapie liegt sie für alle Probanden mit den geringsten Abweichungen um die, durch das absolut symmetrische Distanzstück bestimmte, Nullposition herum. Der Wert nach Therapie ist der kleinste gemessene für alle Registrate. Da die Nullposition im Messartikulator durch das Distanzstück gegeben wurde, welches exakt mittig im Messartikulator platziert ist, bedeutet diese kleinste Abweichung, dass beide Kiefergelenkköpfe in dieser Position am zentralsten in der Gelenkgrube liegen. Durch dreimonatiges Tragen der DIR[®]-Schiene, konnten sich also die Muskelaktivitäten beider Seiten wieder synchronisieren. Aus einem symmetrischen Muskelzug und einer damit einhergehenden Zentrierung der Kondylen resultiert dann eine geringere Abweichung auf der Z-Achse nach der Therapie.

Direkte Vergleiche zwischen den EPA-Werten vor und nach Therapie sind nicht zulässig, da sie sich auf unterschiedliche Nullpositionen beziehen. Als Nullposition wurde in der EPA jeweils die erste von drei gemessenen ZK-Positionen definiert.

Auch der direkte Vergleich der Ergebnisse von EPA und Messartikulator ist nicht möglich, da auch hier die Nullpositionen nicht übereinstimmen. Beim Messartikulator wurde die Nullposition durch ein Distanzstück definiert, bei der EPA durch die erste ZKP-Registrierung.

5.2.2. Vergleich der Reproduzierbarkeit unterschiedlicher Registriertechniken

Reproduzierbarkeit ist die Wiederholbarkeit von technischen oder wissenschaftlichen Versuchen bzw. Messungen mit möglichst geringen Abweichungen (also Streuungen)

der Einzelergebnisse. Die Reproduzierbarkeit wird wiedergegeben durch den „coefficient of variation“ (CV) oder durch die relative Standardabweichung (SD). Die Reproduzierbarkeit ist die Intra-Untersucher-Übereinstimmung (Malerba et al. 1993) wohin gegen die Objektivierbarkeit die Inter-Untersucher-Übereinstimmung ist (Lagerstrom und Nordgren 1998).

In der vorliegenden Studie ist die DIR[®]-Position, die Position mit der höchsten Reproduzierbarkeit für maxillomandibuläre Aufzeichnungen mit EPA, gefolgt von MI und ZKP.

Lentner et al. bemerkten schon 1997 dass die ZKP eher eine vom Behandler beeinflusste, als eine von physiologisch-anatomischen Gegenständen bestimmte Position ist. Sie zeigt bei mehrfacher Registrierung eine große intra- und interindividuelle Variabilität (Türp et al. 2006) und ist um den Faktor 10 schlechter reproduzierbar als die MI (Lentner et al. 1997). In der Literatur ist die Reproduzierbarkeit der zentralen Stützstiftregistrierung einerseits nachgewiesen (Utz et al. 2002), vergleichende Studien zeigen andererseits jedoch abweichende Ergebnisse. Bimandibuläre Manipulation mit einem sog. jig stellte sich als konstanter heraus als aktive Führung am Kinn mit jig. Der sog. Gotische Bogen war in dieser Studie die Technik mit der niedrigsten Reproduzierbarkeit (Keshwad und Winstanley 2003). In einer anderen Studie (Utz et al. 2002) zeigte die am Kinn geführte Technik, abhängig vom Registratmaterial, eine höhere Genauigkeit als die passive zentrale Stützstiftregistrierung. In beiden Studien war die Kaukraft während der Pfeilwinkelaufzeichnung nicht überprüft worden und zur Auswertung der Kondylenpositionen Messartikulatoren verwendet worden. Die besseren Resultate für die zentrale Stützstiftregistrierung in der vorliegenden Studie könnten also auf die Kaukraft-abhängige Aufzeichnung zurück zu führen sein und auf das Verfahren der EPA.

In einer anderen Studie wiesen Vahle-Hinz et al. 2009 nach, dass die Reproduzierbarkeit von Kondylenpositionen auch vom Untersucher abhängt. Bei Messungen durch mehrere Untersucher nahm der mittlere Fehler im Vergleich zu den Ergebnissen eines Untersuchers signifikant zu. Ein unterschiedlicher Ausbildungshintergrund führte nicht zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen.

Die höhere Reproduzierbarkeit der MI gegenüber der ZKP ist nachgewiesen worden (Utz et al. 2007). Die MI ist reproduzierbar in einem Bereich von 0,14-0,42mm in der X-

Achse, 0,11-0,56mm in der Y-Achse und 0,09-0,41mm in der Z-Achse (Utz et al. 2007), während manipulierte Unterkieferpositionen mit einer Genauigkeit von 0,05-0,4mm reproduzierbar sind (Piehlsinger et al. 1993, Shafagh et al. 1975, Tarantola et al. 1997, Utz et al. 2007, Wood und Elliot 1994). Übereinstimmende Ergebnisse zeigte die vorliegende Studie. Diese Ergebnisse könnten damit zu erklären sein, dass die MI bestimmt wird durch die Okklusion (Schmelz und interokklusale taktile Sensivität von 0,01-0,1mm Ramfjord und Ash 1971, Utz et al. 2007), während die ZKP von weniger festen Strukturen bestimmt wird, wie Knochen, Knorpel, Ligamenten und Muskeln. Generell zeigen wiederholte ZKP-Registrierungen hohe inter- und intra-individuelle Variabilität (Piehlsinger et al. 1993, Shafagh et al. 1975). Daraus ergibt sich, dass die ZKP weniger eine statische fixierte Position ist, als ein Feld möglicher Positionen (Piehlsinger et al. 1993, Rinchuse 2006, Utz et al. 2002, Woda et al. 2001), welches sich daraus ergibt, dass die antagonistischen Muskelgruppen des Unterkiefers symmetrisch mit individuell minimalem Tonus aktiv sind (Bumann und Lotzmann 2000). Neben dem Behandler beeinflussen auch die Tageszeit, der Muskeltonus, die Körperhaltung, emotionaler Stress und Schmerzen die Reproduzierbarkeit der ZKP (Latta 1992, Shafagh et al. 1975, Obrez und Türp 1998). Vorbehandlungen mit Schienen haben ebenfalls einen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit (Calagna et al. 1973, Kinderknecht et al. 1992). Ein gut reproduzierbares Registrierverfahren muss nicht zwangsläufig zur Einstellung einer physiologischen Unterkieferposition führen (Woda et al. 2001), anhand reproduzierbarer Ergebnisse lässt sich keine Aussage über den klinischen Wert einer Registrierverfahrens treffen (Schulz-Bongert 1985). Ein wichtiger Faktor der bei jedem Registrierverfahren berücksichtigt werden sollte, ist die aufgebrauchte Kaukraft. Weder bei MI noch bei ZKP ist die Kaukraft objektivierbar oder kontrollierbar. In dieser Studie bietet nur die DIR[®]-Methode die Möglichkeit die Kaukraft in einem definierten, physiologischen Bereich von 10-30 N zu halten. Die Kontrolle der Kaukraft während der Registrierung kann solche Abweichungen des Unterkiefers reduzieren, welche durch eine bevorzugte Kauseite, anatomische rechts-links Asymmetrien oder einen erhöhten Muskeltonus ausgelöst werden (Hickmann und Cramer 1998, Jiang 1992). Lundeen 1974 fand heraus, dass unterschiedlich starke Muskelaktivität zu unterschiedlichen ZKP-Registralen führt. Omar und Wise (1981) bemerkten die Verwindung der Unterkieferspange in einer Größenordnung von $0,073 \pm 0,028$ mm in der Horizontalen, als Resultat einer erhöhten Kaukraft während

der ZKP-Registrierung. Wood et al. (1994) untersuchten die Beziehung zwischen unterschiedlichen inzisalen Kaukräften (keine Kraft; 4,5 kg; 7,5kg und ein komfortables Maximum) und der Stellung der Kondylen. Er stellte fest, dass eine Erhöhung der Kaukraft zu einer Bewegung der Kondylen nach anterior-superior (ventral-kranial) führt.

Dietzel wies 2009 nach, dass sich mit dem DIR[®]-System reproduzierbare Stützstiftregistratur herstellen lassen, wobei sich der Einfluss des Registriermaterials und der Registrierzeitpunkts signifikant auf die Genauigkeit auswirken. Der Einfluss des Registriermaterials konnte bei der vorliegenden Studie bei der EPA außer Acht gelassen werden, da die Kondylenpositionen elektronisch, direkt am Patienten bestimmt wurden, ohne die Zwischenschaltung einer Bissnahme oder ähnlichem. Die Behandler haben laut Dietzel keinen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit.

5.3. Messartikulator

Vorangegangene Studien (Keshvad und Winstanley 2003, Wood und Korne 1992) haben gezeigt, dass die Position der Artikulorkondylen in der zentrischen Relation dorso-kaudal im Vergleich zur MI liegt. Die Abweichungen nach dorsal werden mit 0,26-0,4mm (Keshvad und Winstanley 2003), die nach kaudal mit 1-2mm (Crawford 1999) angegeben. Diese Werte finden sich auch in der vorliegenden Studie. In dieser Studie ist die ZKP die Position die am weitesten dorso-kaudal liegt im Vergleich zu MI und DIR[®]. Das Ergebnis der Verlagerung nach dorsal korreliert mit den Ergebnissen der EPA. Differenzen auf der Y-Achse resultieren aus zweilagigem Beauty Pink Wachs als Registratmaterial, welches in der ZKP zu einer geringen Bissperrung und damit zur einer weiter kaudal liegenden Kondylenposition als MI führt.

Allgemein können im Vergleich mit der EPA abweichende Ergebnisse damit erklärt werden, dass ein Messartikulator weder die Verwindung der Unterkieferspange, noch die Resilienzen von Knorpel, Ligamenten und Muskeln imitieren kann. Ungenaue Impressionen im Wachsregistrat können dazu führen, dass die Gipsmodelle nicht präzise einander zugeordnet werden können und somit zu ungenauen Messergebnissen führen.

Die EPA ist ein gutes Verfahren um Kondylenpositionen zu evaluieren. Vor allem weil solche Einflüsse wie Expansion des Gipses und des Registratmaterials, welche die Ergebnisse bei Evaluationen im Messartikulator beeinflussen, ausgeschlossen werden können. Um die EPA-Ergebnisse vor und nach Schienentherapie besser objektivierbar zu machen, wäre es sinnvoll gewesen, statt der jeweils ersten ZKP-Messung als Nullposition eine für die 1. und 2. Messung einheitliche Nullposition zu wählen. Einige Einflüsse auf die Registrierung hätten weiterhin ausgeschlossen werden können. Beispielsweise hätten die Probanden sowohl bei der 1. als auch bei der 2. Messung zur exakt gleichen Tageszeit vermessen werden können, um tageszeitliche Schwankungen auszuschließen. Andere Faktoren wie beispielsweise emotionaler Stress entziehen sich der Beeinflussbarkeit durch den Behandler und können deswegen nicht ausgeschlossen werden.

Generell muss bedacht werden, dass die EPA die Veränderung der Kondylenposition als Positionsänderung gegenüber der Referenzposition ausdrückt. In der vorliegenden Untersuchung diente die manuell geführte ZKP als Referenzposition. Die Symmetrie einer Kondylenverlagerung während der Durchführung verschiedener Registrierungsverfahren oder auch ein Vergleich der Kondylenposition zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten ist daher nicht zulässig. Die Verifizierung der Kondylenposition ist mit Hilfe der EPA generell schwierig, da klinisch nicht festgestellt werden kann in welcher Position sich der Kondylus-Diskus-Komplex räumlich zu den Strukturen des Kiefergelenks befindet. Aussagen über eine bzw. die „richtige“ Kondylus-Fossa- und Kondylus-Diskus-Beziehung bleiben ungelöst. Entsprechende Aussagen könnten nur durch bildgebende Verfahren, die beide Kiefergelenke zeitgleich und sowohl Hart- und Weichgewebe gleichermaßen darstellen, getroffen werden.

Wie bereits erwähnt, ist ein direkter Vergleich der Werte von EPA und Messartikulator ist nicht möglich, da sich die Ergebnisse auf unterschiedliche Nullpositionen beziehen.

Da vor im Vorfeld der Studie nicht davor ausgegangen werden konnte, dass sich auch bei funktionsgesunden Patienten die Mundöffnung statistisch signifikant erhöhen würde, wurden die an der Mundöffnung beteiligten Muskeln nicht speziell untersucht. Dieses Phänomen könnte in einer weiteren Studie erneut untersucht werden und dann im Vor-

feld eine intensive Diagnostik, an den an der Mundöffnung beteiligten Strukturen, vorgenommen werden.

Weiterhin wäre es interessant gewesen, die Kondylenposition zu evaluieren, die der Proband tatsächlich beim Tragen der DIR[®]-Schiene aufweist. In dieser Position wäre das Ausmaß der Sperrung auf die Dicke der Schiene (ca. 2,5mm) reduziert. Diese ist geringer als die Sperrung durch den Stützstift.

Abschließend ist zu sagen, dass die vorliegenden Ergebnisse aufgrund der geringen Probandenzahl nicht vorbehaltlos zu interpretieren sind. Bei einem größeren Patientengut könnten die Ergebnisse aussagefähiger sein. Aufgrund der umfassenden Datenerhebung stellt die vorliegende Studie jedoch einen ersten aussagefähigen Anhaltspunkt dar.

6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es die Kondylenposition und die Reproduzierbarkeit verschiedener Registrierverfahren vor und nach Schienentherapie zu evaluieren.

Mit Hilfe eines ultraschallbasierten Messsystems zur berührungslosen Analyse der Unterkieferbewegung (Win Jaw, Zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) wurden die Bewegungsspur des Kondylus und des Inzisalpunktes als auch eine elektronische Kondylenpositionsanalyse (EPA) während der intermaxillären Registrierung durchgeführt. Es wurden die Kondylenpositionen in zentrischer Kondylenposition (ZKP), maximaler Interkuspitation (MI) und der sogenannten DIR[®]-Position vor (T0) und nach (T1) Schienentherapie evaluiert. Das in der vorliegenden Untersuchung eingesetzte DIR[®]-System (Dynamics in Intraoral Registration, Essen, Deutschland) ermöglicht es, intraorale Stützstiftregistrare elektronisch positions- und kraftabhängig in Echtzeit visualisiert auf dem Monitor eines Laptops aufzuzeichnen. Laut Angaben des Herstellers dient das Gerät dem Zweck, die individuelle neuromuskulär geführte Unterkieferposition zu bestimmen. Zusätzlich wurde die Kondylenposition mit Hilfe eines Messartikulators (Protar[®], KaVo EWL, Biberach, Deutschland) gemessen. Die Patienten wurden mit einer Entspannungsschiene auf Basis der DIR[®]-Registrierung versorgt. Die Nachuntersuchung erfolgte nach drei Monaten. 26 funktionsgesunde Probanden (18 weiblich, 8 männlich) mit einem Durchschnittsalter von 30,6 ($\pm 9,5$) Jahren nahmen an der Untersuchung teil. Zur statistischen Auswertung wurden die einfaktorielle ANOVA Analyse und die Post Hoc Bonferroni Korrelation und der Student t-Test verwendet.

Die Länge der Bewegungsspur des Kondylus ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen der Vor- und Nachuntersuchung. Die Beweglichkeit des Inzisalpunktes bei der Mundöffnung war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung signifikant größer als zum Voruntersuchungszeitpunkt. Die elektronische Kondylenpositionsanalyse zeigte einen signifikanten Einfluss der Registriertechnik (ZKP, MI und DIR[®]-Position) auf die Kondylenposition in allen Achsen vor (T0) und in der X- und Y-Achse nach (T1) Schienentherapie. In der DIR[®]-Position lagen die Kondylen am weitesten ventro-kaudal, gefolgt von der MI. In

ZKP lagen die Kondylen am weitesten dorso-kranial. In Abhängigkeit der Registriertechnik wurden signifikante Unterschiede in der Reproduzierbarkeit des Verfahrens, sowohl vor (T0) als auch nach (T1) Schienentherapie gefunden. Die DIR[®]-Position zeigte die höchste Reproduzierbarkeit gefolgt von der MI und der ZKP. Der Untersuchungszeitpunkt hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit. Im Messartikulator war die ZKP die Position, die am weitesten dorso-kaudal lag, sowohl vor als auch nach Schienentherapie.

Die Registriertechnik (MI, ZKP, DIR[®]) beeinflusst sowohl die Kondylenposition als auch die Reproduzierbarkeit signifikant. Die Kontrolle der Kaukraft bzw. des Kaudrucks scheint ein wichtiger Faktor zu sein, der bei jeder Registriermethode berücksichtigt werden sollte. Anhand der Ergebnisse der EPA kann vermutet werden, dass die Schienentherapie auch bei funktionsgesunden Probanden zu einem physiologischeren Verhaltensmuster der beteiligten neuromuskulären Gewebe bei der Ausübung verschiedener Registriertechniken führte. Auswirkungen der Schienentherapie auf die Reproduzierbarkeit der Verfahren konnte jedoch nicht festgestellt werden. Generell muss gefordert werden, mehrere intermaxilläre Registerate mit einer Registriertechnik zu nehmen um die Wiederholbarkeit der horizontalen Relationsbestimmung zu verifizieren.

7. Summary

This study aims to analyze and quantify the effects of different registration techniques on reproducibility of condyle position and the influence of relaxation splint therapy on the technique's reproducibility.

An ultrasound-based jaw-tracking system (Win Jaw, Zebris Medical GmbH, Isny, Germany) was used to record condyle and incisal range of motion as well as three-dimensional electronic-condylar-position analysis (EPA) during intermaxillary registration of manually guided centric relation (CR), maximal intercuspation (MI), and clenching-force-dependent Gothic arch tracing guided centric relation (DIR method) before (T0) and after (T1) splint therapy. The DIR[®]-System (Dynamics in Intraoral Registration, Essen, Germany) is based on the central bearing point method. Intraoral Gothic arch tracing is carried out electronically and computer supported as well as chewing-force dependent. According to the manufacturer, this system allows to determine the individual neuromuscular condyle position. Additionally condyle position was measured with a measuring articulator (Protar-system, KaVo EWL, Biberach, Germany). Patients were supplied with a stabilization splint for three months on the basis of the DIR registration. Participants were 26 asymptomatic volunteers (18 females, 8 males) with a mean age of 30.6 ± 9.5 years. Data were analyzed using student's t-test, repeated measures ANOVA and post-hoc Bonferroni-correction.

Results for condyle range of motion (length of the movement track of both condyles) were statistically non-significant before and after splint therapy. The mean values of incisal range of motion (mobility of the incisor point in frontal projection) increased significant after splint therapy. Registration technique was found to have a significant effect on condylar displacement (measured with EPA) in all axes before, and in X- and Y-axes after, splint therapy. Condyles in DIR were found to be in a more anterior-inferior position compared with CR and MI, with the condyles in the latter position being likewise more anterior-inferior than in CR. There were significant differences in reproducibility of the condyle position dependent on the technique, both before and after splint therapy.

DIR method showed the highest reproducibility, followed by MI and CR. Time of examination influenced reproducibility non-significantly. The measuring articulator found condyles in CR in the most posterior-inferior position compared with MI and DIR[®] (both before and after splint therapy).

In conclusion, results of the present study suggest, that registration technique influences condyle position and reproducibility even in functional healthy test patients significant. Controlling bite force seems to be an important factor that should be considered in every registration method. Generally should be recommended to compare different recordings of one technique to determine repeatability of maxillomandibular positioning.

8. Literaturverzeichnis:

1. **Ahlers MO, Freesmeyer WB, Göz G, Jakstat HA, Koeck B, Meyer G, Ottl P, Reiber T, Seeher WD**, Klinische Funktionsanalyse. Stellungnahme der DGZMK und der FDT (2003)
2. **Ahlers MO, Freesmeyer WB, Göz G, Jakstat HA, Koeck B, Meyer G, Ottl P, Reiber T, Seeher WD**, Instrumentelle, bildgebende und konsiliarische Verfahren zur CMD-Diagnostik. Stellungnahme der DGZMK und der FDT (2003b)
3. **Ahlers MO, Freesmeyer WB, Fussnegger M, Göz G, Jakstat HA, Koeck B, Neff A, Ottl P, Reiber T**, Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems. Stellungnahme der DGZMK (2005)
4. **Ahlers MO, Jakstat HA**, In: Klinische Funktionsanalyse, Interdisziplinäres Vorgehen mit optimierten Befundbögen, 3. Auflage, dentaConcept Verlag GmbH, Hamburg, 2007
5. **Angyal J, Mezei S, Keszthelyi G**, Reproducibility of the centric relation mandibular position. Fogorv Sz 2001; 94: 191-195
6. **Ash MM Jr**, Philosophy of occlusion: past and present, Dent Clin North Am 1995; 39: 233-255
7. **Ash MM, Schmidseher J**, Schienentherapie, 3. Auflage, Elsevier, Urban & Fischer, München, 2005, 171
8. **Baker PS, Parker MH, Ivenhoe JR, Gardner FM**, Maxillomandibular relationship philosophies for prosthodontics treatment: A survey of dental educators, J Prosthet Dent 2005; 93: 86-90
9. **Besimo CE**, Systematischer Aufbau der therapeutischen Okklusion bei Äquilibrationsschienen, ZWR, 2003; 10: 443-447
10. **Böhm A, Rammelsberg P, May HC, Pho Duc JM, Pospiech P, Gernet W**, Direkte dreidimensionale elektronische Kondylenpositionsanalyse zur Bestimmung von RKP-IKP-Diskrepanzen, Dtsch Zahnärztl Z 1995; 50: 35-39
11. **Brehnan K, Boyd RL, Laskin JL, Gibbs CH, Mahan PE**, Direct measurement of loads at the temporomandibular joint in macaca arctoides. J Dent Res 1981; 60: 1820
12. **Bumann A, Lotzmann U**, Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien, In: Farbatlanten der Zahnmedizin, Rateitschak und Wolf (Hrsg.), Band 12, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2000
13. **Calagna LJ, Silverman SI, Garfinkel L**, Influence of neuromuscular conditioning on central relation registration, J Prosthet Dent 1973; 30: 598
14. **Chuang SY**, Incidence of temporomandibular disorders (TMDs) in senior dental students in Taiwan. J Oral Rehabil 2002; 29: 1206-1211

15. **Christensen GJ**, Attitudes of Colorado dentists concerning expanding the functions of dental auxiliaries. J Colorado Dent Assoc 1975; 53: 15-20
16. **Cordray FE**, Centric relation treatment and articulator mountings in orthodontics. Angle Orthod 1996; 9 (2): 153-158
17. **Costen JB**, Syndrom of ear and sinus symptoms dependent upon disturbed function of the temporomandibular joint. Ann Otol Rhinol Laryngol 1934; 43: 1-15
18. **Crawford SD**, Condylar axis position, as determined by the occlusion and measured by the CPI instrument, and signs and symptoms of temporomandibular dysfunction. Angle Orthod 1999; 69 (2): 109-116
19. **Dahan J**, Die isometrische Muskelkontraktion: Eine Wirkungskraft in den funktionskieferorthopädischen Geräten, Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 1983; 44, 4
20. **Dauber W**, Anatomische Grundlagen der Funktionsdiagnostik. In: Götz W. Siebert, Atlas der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1995: 20-39
21. **Dawson PE**, Grundzüge der Okklusion. Auswertung, Diagnose und Behandlung okklusaler Problemfälle. Zahnärztlich-Medizinisches Schrifttum, München 1978
22. **Dawson PE**, New definition for relating occlusion to varying conditions of the TMJ. J Prosth D 1995; 74: 619-627
23. **Delbach HA**, Klinisch-experimentelle Evaluation des Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-Systems zur maxillomandibulären Relationsbestimmung, Med Diss Marburg 2005
24. **Demling A, Ismail F, Fauska K, Schwestka-Polly R, Stiesch-Scholz M**, Änderung der Kondylenposition nach Eingliederung verschiedener Okklusionsschienen, Deutsch Zahnärztl Z 2008; 63 (11): 749-754
25. **Diedrichs G, Kordaß B**, Behandlungskonzept der Funktionsstörungen des Kausystems. Dt Zahnärztebl 1993; 193: 70-75
26. **Diernberger S**, Zur Lateralität der Kaufunktion – Untersuchungen zum Einfluss sozialer, funktionell/dysfunktioneller und okklusaler Faktoren sowie zum Einfluss der prothetischen Versorgung anhand der Daten der bevölkerungsrepräsentativen Basisstudie SHIP-0, Med Diss, Greifswald, 2007, www.ub-ed.uni-greifswald.de/opus/volltexte/2007/417/
27. **Dietzel A**, Zur Lagebestimmung des Unterkiefers in zentrischer Relation mit dem DIR-System, Med Diss, Witten/Herdecke, 2009
28. **Engelhardt JP**, Kieferrelationsbestimmung beim teilbezahnten Patienten, In: Koeck B (Hrsg.) PDZ Bd. 6: Teilprothesen. München, Stuttgart, Jena Lübeck, Ulm: Urban & Fischer, 1996: 57-75
29. **Engelhardt JP, Hugger A, Jakstat HA, Kordaß B**, Instrumentelle Funktionsanalyse – Prinzipien und Anwendung. Stellungnahme der DGZMK (2002)
30. **Ernst A, Freesmeyer WB**, Funktionsstörungen im Kopf-Hals-Bereich, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 2008, 38-39

31. **Fallschlüssel GKH**, Psychische Disposition und Stress als ätiologische Faktoren stomato-gnathaler Funktionsstörungen. Dtsch Zahnärztl Z 1984; 39: 441-451
32. **Ferrario VF, Sforza C, Miani A, Serrao G, Tartaglia G**, Open- close movements in the human temporomandibular joint, does a pure rotation around the intercondylar hinge axis exist? J Oral Rehabil 1996; 23: 401-408
33. **Freesmeyer WB**, Was man vom Kiefergelenk des Menschen wissen sollte, Manuelle Medizin 2000; 38: 316-321
34. **Freesmeyer WB**, Terminologieliste der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFD) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW). Stellungnahme der DGZMK 2005
35. **Fröhlich E, Körber E**, Die prothetische Versorgung des Lückengegebisses – Befunderhebung und Planung. 2. Aufl. (Nachdruck), Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1978, 84-96
36. **Fuhr K, Reiber T**, Die Totalprothese. Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1993, 41-53
37. **Fuhr K, Reiber T**: Klinische Funktionsdiagnostik. In: Praxis der Zahnheilkunde, Band 8, Funktionsstörungen des Kauorgans, 3. Auflage, Koeck B (Hrsg.), Urban & Schwarzenberg, München, 1995; 75-113
38. **Gabler M, Reiber T, John M**, Die mehrdimensionale Charakterisierung einer Patientenpopulation mit kranio-mandibulären Dysfunktionen. Deutsch Zahnärztl Z 2001; 5: 332-334
39. **Gerber A**, Registriertechnik für die Prothetik, Okklusionsdiagnostik, Okklusionstherapie. Condylator-Service Zürich, Ausgabe Juli 1970
40. **Gerber A**, Kiefergelenk und Zahnokklusion, Dtsch. Zahnärztl. Z. 1971; 26: 119-141
41. **Gesch D, Bernhardt O, Alte D**, Prevalence of sign and symptoms of temporomandibular disorders in an urban and rural German population: Results of a population-based study of health in Pomerania (SHIP). Quintessence int 2004; 35: 143-150
42. **Goulet JP, Lavigne GJL und JP**, Jaw pain prevalence among French-speaking Canadians in Quebec and related symptoms of temporomandibular disorders. J Dent Res 1995; 74: 1738-1744
43. **Greene CS**, The etiology of temporomandibular disorders: implications for treatment, J Orafac Pain, 2001; 15: 93-116
44. **Gühning W, Barth J**, Anatomie: spezielle Biologie des Kausystems. In: Grundwissen für Zahntechniker Band 3, Verlag Neuer Merkur, 1992:
45. **Gysi A**, Artikulation. In: Handbuch der Zahnheilkunde, Band 3, Zahnärztliche Prothetik, C. Bruhn, A. Kantorowitz, C. Partsch (Hrsg.), J.F. Bergmann, München, 1930
46. **Hamata MM, Zuim PRJ, Garcia AR**, Comparative evaluation of the efficacy of occlusal splints fabricated in centric relation or maximum intercuspation in temporomandibular disorders patients, J Appl Oral Sci 2009; 17 (1): 8-32
47. **Hansson T, Honée W, Hesse J**, In: Funktionsstörungen des Kausystems, 2. Aufl., Hüthig, Heidelberg, 1987

48. **Helfgen EH, Koeck B, Grüner M**, Muskulär bedingte Krafteinwirkungen auf die Unterkieferzahnreihe bei horizontalen Mandibularbewegungen. Dt Zahnärztebl 1993; 102: 261-266
49. **Helkimo M, Ingervall B**, Recording of the retruded position of the mandible in patients with mandibular dysfunction. Acta Odontol Scand 1978; 36: 167-174
50. **Hickmann DM, Cramer R**, The effect of different condylar positions on masticatory muscle electromyographic activity in humans. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1998; 85: 18-23
51. **Hillgärtner J**, Elektronische Kondylenpositionsanalyse zentrischer Registrate im Vergleich zur Interkuspitationsposition unter Berücksichtigung des klinischen Funktionsstatus. Med Diss Münster 2000
52. **Hirsch C, John MT**, Szenarien zu Krankheitskosten in der Diagnostik und Therapie kraniomandibulärer Dysfunktionen in Deutschland. DZZ 2005; 60/2: 108-111
53. **Hohoff A**, Neues Paradigma der KFO, ZM, 2000; 90 (521): 5
54. **Hollender L**, Imaging the temporomandibular joint: the value of the conventional radiography standard views and tomograms, In: Controversies in oral and maxillofacial surgery, Hrsg. Worthington P, Evans JR, Saunders, Philadelphia 1994, 25-40
55. **Hotta PTH, Hotta TH, Bataglion C, Pavao RF, Siessere S, Regalo SCH**, Bite force in temporomandibular dysfunction (TMD) and healthy complete denture wearers, Braz Dent J 2008; 19 (4)
56. **Hüter-Becker A, Dölken M**, Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2005, 106-109
57. **Hugger A, Kordaß B, Assheuer J, Stüttgen U**, Auswirkungen stützstiftgeführter Unterkieferbewegungen auf Strukturen des Kiefergelenkes. Deut Zahnärztl Z 1995; 50: 536-539
58. **Hugger A, Bölöni E, Berutien U, Stüttgen U**. Accuracy of an ultrasonic measurement system for jaw movement recording. [Abstract 202] J Dent Res 2001; 80: 1226
59. **Hupfauf L**, Vergleichende Untersuchungen verschiedener Registrierverfahren. Dtsch Zahnärztl Z 1971; 26: 158-162,
60. **Hupfauf L**, Einführung in die Problematik funktionsbedingter Erkrankungen, In: Praxis der Zahnheilkunde Band 8, Funktionsstörungen des Kauorgans, Koeck B (Hrsg.), Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 1995: 3-9
61. **Hylander WL**, An experimental analysis of temporomandibular joint reaction forces in macaques. Am J Phys Anthropol 1979; 51: 433-456
62. **Jäger K, Schneider M**, Wie beeinflussen Okklusionsstörungen und Stress die kybernetische Kraftsteuerung? Schweiz Monatsschr 1992; 102: 536-540
63. **Jakstat H**, Über das Kaudifferenzierungsvermögen im Biofeedbackversuch. Dtsch Zahnärztl Z 1991; 46: 766-768
64. **Jakstat H, Gutschow F**, Messung der aufgewendeten Kieferschlusskraft während der Stützstiftregistrierung bei vollbezahnten Patienten. Dtsch Stomatol 1991; 41: 117-120

65. **Jiang T**, Condylar displacement and mandibular bending deformation due to bite force. *J Stomatol Soc Jpn* 1992; 59: 142-159
66. **John M**, Prävalenz von kranio-mandibulären Dysfunktionen (CMD). *Dtsch Zahnärztl Z* 1999a; 54: 302-308
67. **John M, Wefers KP**, Orale Dysfunktionen bei Erwachsenen. In: Micheelis W, Reich E (Hrsg.): Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Deutscher Ärzteverlag, Köln, 1999b, 316-329
68. **John M, Wefers KP**, Orale Dysfunktionen bei Senioren. In: Micheelis W, Reich E (Hrsg.): Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Deutscher Ärzteverlag, Köln, 1999c, 412-426
69. **John M, Hirsch C, Reiber T**, Häufigkeit, Bedeutung und Behandlungsbedarf kranio-mandibulärer Dysfunktionen. *Zeitschr f Gesundheitswissenschaften* 2001; 9: 136-155
70. **Jordan T, Kern M**, Vergleich eines computergestützten Registrierungs-Systems mit dem klassischen Stützstiftregistrat nach Gerber, *Dtsch Zahnärztl Z* 2001; 56: 612-615
71. **Jüde HD, Vogel A, Jakstat H, Genieser A**, Über den Einfluss der Kieferschlusskraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in der Sagittalen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1990; 45: 561-563
72. **Jüde HD, Jakstat H, Vogel A, Genieser A**, Das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in Abhängigkeit von Kraft und veränderter Stiftposition in der Transversalen. *Dtsch Stomatol* 1991; 41: 273-275
73. **Keshvad A, Winstanley RB**, An appraisal of the literature on centric relation. Part I. *J Oral Rehabil* 2000a; 27: 823-833
74. **Keshvad A, Winstanley RB**, An appraisal of the literature on centric relation. Part II. *J Oral Rehabil* 2000b; 27: 1013-1023
75. **Keshvad A, Winstanley RB**, An appraisal of the literature on centric relation. Part III. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 55-63
76. **Keshvad A, Winstanley RB**, Comparison of the replicability of routinely used centric relation registration techniques. *J Posthodont* 2003; 12: 90-101
77. **Kinderknecht KE, Wong GK, Billy EJ, Li SH**, The effect of a deprogrammer on the position of the terminal transverse horizontal axis of the mandible. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 123-131
78. **Kleinrok M**, In: Diagnostik und Therapie von Okklusionsstörungen, Quintessenzverlag, Berlin, 1986
79. **Klineberg I**, Interarch relationships of teeth. In: Klineberg I, Jager R (Hrsg.): Occlusion und Clinical Practice – An evidence-bases aproach. Wright, Edinburgh, 2004, 3-12
80. **Klinke R, Silbernagel S**, Lehrbuch der Physiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 2003, 105

81. **Koeck B, Lückerath W**, Instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: Praxis der Zahnheilkunde, Band 8, Funktionsstörungen des Kauorgans, Koeck B (Hrsg.), 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 1995: 127
82. **Koeck B, Utz KH**, Rekonstruktive Maßnahmen. In: Praxis der Zahnheilkunde, Band 8, Funktionsstörungen des Kauorgans, Koeck B (Hrsg.), 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 1995: 289-290
83. **Koeck B, Utz KH**, Orale Rehabilitation mit festsitzend-abnehmbarem Zahnersatz. In: Praxis der Zahnheilkunde, Band 6, Teilprothesen, Koeck B (Hrsg.), 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 1996: 195-233
84. **Köneke C**, CMD als Differenzialdiagnose zu pulpitischem Schmerz, ZWR Das deutsche Zahnärzteblatt, 2008; 117 (11)
85. **Kopp S**, Orientierende Untersuchung des Cranio-Mandibulären Systems (CMD) – Teil 1, ZMK 1999; 15 (9): 532-9
86. **Kordaß B, Hugger A**, Bildgebende Untersuchungsverfahren, In: Klinische Funktionsanalyse, Ahlers und Jakstat (Hrsg.), dentaConcept Verlag GmbH, Hamburg, 2007; 435-464
87. **Krogh-Poulsen W**, Die Bewegungsanalyse. Deutsche Zahnärztl Zeitschr 1971; 21: 142
88. **Kubein-Meesenburg D**, Die kraniale Grenzfunktion des stomatognathen Systems des Menschen, Carl Hanser Verlag, München, 1985
89. **Kulbersh R, Kaczynski R, Freeland T**, Orthodontics and gnathology: introduction. SEmin Orthod 2003; 9 (2) 93-95
90. **Lagerstrom C, Nordgren B**, On the reliability and usefulness of methods for grip strength measurement. Scand J Rehabil Med 1998; 30: 113-119
91. **Latta GH**, Influence of circadian periodicity on reproducibility of centric relation records for edentulous patients. J Prosthet Dent 1992; 68: 780-783
92. **Lauritzen A**, Arbeitsanleitung für die Lauritzentechnik, Hamburg, Carsten & Homvoc, 1972
93. **Lauritzen AG**, Atlas of occlusal analysis. HAH Publications, Coloradosprings 1974
94. **Lehmann KM, Hellwig E, Wenz HJ**, Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde, Deutscher Zahnärzterverlag, Köln, 2009
95. **Lentner E, Rammelsberg P, Böhm A, Pospiech P, Gernet W**, Zum Untersucher-einfluss auf Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition. Dtsch Zahnärztl Z 1997; 52: 411-415
96. **Le Resche L, Saunders K, Von KM, Barlow W, Dworkin SF**, Use of exogenous hormones and risk of temporomandibular disorder pain. Pain 1997; 69: 153-160
97. **Le Resche L**, Changes in temporomandibular pain and other symptoms across the menstrual cycle. Pain 2003; 106: 253-261
98. **Linsen S, Weisbach M, Grüner M, Koeck B**, Über den Einfluss der Kieferschließkraft und der Verschiebung des Stützstiftes in der Transversalen auf die intraorale Stützstiftregistrierung. Dtsch Zahnärztl Z 2006; 61: 286-290
99. **Lippert H**, Lehrbuch Anatomie, Elsevier GmbH, München, 2003, 608-609

100. **Locker D, Slade G**, Prevalence of symptoms associated with temporomandibular disorders in a Canadian population. *Community Dent Oral Epidemiol* 1988; 16: 310-313
101. **Long JH**, Location of the terminal hinge axis by intraoral means, *J Prosthet Dent* 1970; 23: 11-24
102. **Losert-Bruggener B**, Vergleich unterschiedlicher Techniken zur therapeutischen Lagebestimmung des Unterkiefers, ICCMO Kompendium, 2005
103. **Lotzmann U, Kobes LW**, Zum Einfluss von Gewicht und Schwerpunktlage des Unterkiefer-Registrierbogens auf den Verlauf axiographischer Spuren. *Dtsch Zahnärztl Z* 1988; 43: 67
104. **Lotzmann U**, In: Okklusionsschienen und andere Aufbissbehelfe – Grundlagen zur Theorie und Praxis, Verlag Neuer MERKUR, München, 1993
105. **Lotzmann U**, Entwicklung und Anwendung des Temporo-Mandibular-Positions-Comparator (TMPC) zur dreidimensionalen Erfassung statischer Verlagerungen der Mandibula. Untersuchungen zur mandibulären Autoreposition im Verlauf der okklusalen Initialtherapie dysfunktionsbedingter Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems. *Med Habilsch Göttingen* 1994
106. **Lotzmann U**, Die Prinzipien der Okklusion 5. Aufl. München, Neuer Merkur, 1998: 33-49
107. **Lotzmann U**, Studie zum Einfluss der okklusalen Prä-Therapie auf die zentrische Kieferrelation, Quintessenz, Berlin 1999
108. **Lotzmann U**, Skript zur zahnärztlichen Funktionsdiagnostik, 2006, www.aachener-fortbildung.de/SKRIDIAG.pdf
109. **Lückerath W, Leiendecker U, Krahe T, Gieseke J, Dewes W**, Zur Diagnostik funktioneller Störungen des Kiefergelenkes. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 1988; 43: 71-78
110. **Lückerath W**, Die Relationsbestimmung, In: Koeck B (Hrsg.) PDZ Bd. 5: Kronen- und Brückenprothetik. München, Stuttgart, Jena Lübeck, Ulm: Urban & Fischer, 1999: 167-191
111. **Lückerath W**, Das okklusale Konzept, In: Koeck B (Hrsg.) PDZ Bd. 5: Kronen- und Brückenprothetik. München, Stuttgart, Jena Lübeck, Ulm: Urban & Fischer, 1999: 223-251
112. **Lund JP, Donga R, Widmer CG, Strohler CS**, The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Can J Physiol Pharmacol* 1991; 69: 683-694
113. **Lundeen HC**, Centric relation records: the effect of muscle action. *J Prosthet Dent* 1974; 31: 244
114. **Magnusson T, Egermark I, Carlsson GE**, A longitudinal epidemiologic study of signs and symptoms of temporomandibular disorders from 15 to 35 years of age. *J Orofac Pain* 2000; 14: 310-319
115. **Malerba JL, Adam ML, Harris BA, Krebs DE**, Reliability of dynamic and isome

- tric testing of shoulder, external and internal rotators, *J Orthop Sports Phys Ther* 1993; 18: 543-552
116. **Mayer K**, Die Reproduzierbarkeit der instrumentellen Funktionsanalyse am Beispiel der Remontage nach Gerber. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992; 47: 107-108
 117. **McGrane HF**, Five basic principles on the McGrane full denture procedure. *J Fla dent Soc* 1949; 20: 5
 118. **McKee JR**, Comparing condylar position repeatability for standardized versus nonstandardized methods of achieving centric relation. *J Prosthet Dent* 1997; 77: 280-284
 119. **Miyake R, Ohkubo R, Takehara J, Morita M**, Oral parafunctions and association with symptoms of temporomandibular disorders in Japanese university students, *J Oral Rehabil*, 2004; 31 (6): 855-860
 120. **Müller T, Luckenbach A, Körber E**, Untersuchungen zur Kaubewegung, *Dtsch Zahnärztl Z*, 1984; 39: 452-455
 121. **Nissan J, Gross MD, Shifman A, Tzadok L, Assif D**, Chewing side reference as a type of hemispheric laterality, *J Oral Rehabil*, 2004; 31 (5): 412-416
 122. **Obrez A, Türp JC**, The effect of musculoskeletal facial pain on registration of maxillomandibular relationships and treatment planning: a synthesis of the literature. *J Prosthet Dent* 1998; 79: 439-445
 123. **Omar R, Wise MD**, Mandibular flexure associated with muscle force applied in the retruded axis position. *J Oral Rehabil* 1982; 8: 209-221
 124. **Okeson JP**, Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion, 5th ed. Mosby, St. Louis, 2003; 278: 111-113
 125. **Ott KHR, Olavarria LE, Bose M**, Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit von Registrierungen mit dem Condylcop LR 2. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991; 46: 596-598
 126. **Ottl P, Reiber T, Lange M, Lauer HC**, Der klinische Funktionsstatus der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie in der DGZMK, www.dgfdt.de/uploads, 2005
 127. **Palla S**, Bestimmung der Kieferrelation In: Praxis der Zahnheilkunde, Diedrich, Heidemann, Horch, Koeck (Hrsg.), 4. Aufl., Elsevier Verlag München, 2005, 96-148
 128. **Pereira LJ, Gavião MBD, Bonjardim LR, Castelo PM, van der Bilt A**, Muscle thickness, bite force, and craniofacial dimensions in adolescents with signs and symptoms of temporomandibular dysfunction, *European Journal of Orthodontics* 2007; 29: 72-78
 129. **Pescheck A, Riegler H, Bantleon HP**, Die Anwendung des Myomonitors in der Kieferorthopädie, *Inf Orthod Kieferorthop* 2004; 36(1): 9-14
 130. **Piehslinger E, Celar A, Celar R, Jager W, Slavicek R**, Reproducibility of the condylar reference position, *J Orofacial Pain*, 1993; 7: 75-101
 131. **Pierce CJ, Weyant RJ, Block HM, Nemir DC**, Dental splint prescription patterns: a survey. *J Am Dent Assoc* 1995; 126: 248-254

132. **Posselt U**, Physiology of occlusion und rehabilitation, 2nd edition, Blackwell Scientific Publications, Oxford-Edinburgh, 1968, 25-64; 121-173
133. **Probst GM**, Über Kaukraftmessungen an implantatverankertem Zahnersatz im Vergleich zu konventionellen Prothesen. Med Diss München 1977
134. **Ramfjord SP, Ash MM**, Occlusion, WB Saunders Company, Philadelphia, 1971
135. **Ramfjord SP, Ash MM**, Individuell optimale Okklusion. Quintessenz Verlag GmbH, Berlin, 1992,
136. **Regber K**, Auswirkungen eines Kautrainings auf die Kaumuskulatur, Med Diss, Freiburg, 2002, www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/609/
137. **Reinhard R, Tremel T, Wehrbein H, Reinhard W**, The unilateral chewing phenomenon, occlusion and TMD, Cranio 2006; 23 (3): 166-170
138. **Rinchuse DJ**, Centric Relation. A historical and contemporary orthodontic perspective. J Am Dent Assoc 2006; 137: 494-501
139. **Roggendorf H, Voigt V**, Präzision bei der intraoralen Stützstiftregistrierung: Vergleich der Messergebnisse in Abhängigkeit von der Registrierposition, Zahn Prax 2008; 11, 4: 282-287
140. **Saha FJ**, CMD als Ursache von Kopf- und Rückenschmerzen. ZAHN PRAX 2008; 6: 418-421
141. **Schilcher C von**, Die Position des Condylus Mandibulae – eine kritische Literaturübersicht. Med Diss Würzburg 2004
142. **Schindler HJ, Stengel E, Spieß WEL**, Neuromuskuläre Wirkungen von Aufbisschienen, Dtsch Zahnärztl Z 1999; 54, 5: 332-337
143. **Schindler HJ, Türp JC**, Myoarthropathien des Kausystems: VI – Die Kaumuskulatur. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse, ZAHN PRAX, 2005; 8,9: 426-430
144. **Schmidt-Beer U**, Funktionsbedingte Beschwerden im Bereich des stomatognathen Systems – Ein Überblick und Untersuchungen zur Bewertung der Muskelpalpation, Med Diss Bonn 1985
145. **Schulz-Bongert J**, Konzept der restaurativen Zahnheilkunde – Angewandte gnathologische Systematik. Siegfried Klages Verlag, Berlin, 1985, 93-97
146. **Seedorf H, Toussaint R, Jakstat HA, Ahlers O, Liebs T, Göhring T, Jüde HD**, Zusammenhänge zwischen Wirbelsäulen-funktion, Beckentiefstand und kranio-mandibulärer Dysfunktion, Dtsch Zahnärztl Z 1999; 54 (11): 700-703
147. **Sehrer GM**, Bruxismus als Risikofaktor für kranio-mandibuläre Dysfunktionen (CMD) bei Kindern und Jugendlichen. Med Diss Halle-Wittenberg 2006
148. **Shafagh I, Yoder JL, Thayer KE**, Diurnal variance of centric relation position, J Prosthet Dent 1975; 34: 574-582
149. **Siebert G**, Zahnärztliche Funktionsdiagnostik mit und ohne Hilfsmittel, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1984
150. **Siebert G**, Atlas der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1995
151. **Sobotta J**, In: Atlas der Anatomie Band 1 Kopf, Hals, obere Extremität, 21. Aufl., Putz H, Pabst R (Hrsg.), Urban & Fischer, München Jena, 2000

152. **Spronsen van PH, Weijs WA, Valk J, Prah-Andersen B, Ginkel van FC**, A comparison of jaw muscle cross-sections of long face and normal adults. *J Dent Res*, 1992; 71: 1279-1285
153. **Stachniss V**, Diagnostik und Therapie okklusionsbedingter Störungen der Kiefergelenkfunktion – Möglichkeiten und Grenzen, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1984
154. **Stein JF, Stoodley CJ**, Neuroscience: An introduction, John Wiley & Sons, Chichester, 2006
155. **Steinbock C**, Kraniomandibuläre Dysfunktionen und chronische, unspezifische Rückenschmerzen, *ZWR – Das deutsche Zahnärzteblatt* 2008; 117 (9): 400-408
156. **Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M**, Einführende anatomisch prothetische Grundlagen, In: Curriculum Prothetik Band I, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 2005
157. **Suckert R**, Okklusionskonzepte, Verlag Neuer Merkur GmbH, München, 1992
158. **Tarantola GJ, Becker IM, Gremillion H**, The reproducibility of centric relation: a clinical approach. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 1245-1251
159. **The Academy of Prosthodontics**: The Glossary of Prosthodontic Terms, Eighth Edition (GPT-8), *J Prosthet Dent* 2005; 94: 10-92
160. **Troest T**, Form und Funktion im stomatognathen System, In: Praxis der Zahnheilkunde Band 8, Funktionsstörungen des Kauorgans, Koeck B (Hrsg.), Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 1995: 13-26
161. **Türp JC, Schindler HJ, Rodiger O, Smeekens S, Marinello CP**, Vertikale und horizontale Kieferrelation in der rekonstruktiven Zahnmedizin – eine kritische Literaturübersicht, *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2006; 4: 403-411
162. **Utz KH, Bernard N, Hültenschmidt R, Kurbel R**, Differenzen zwischen myozentrischer und zentrischer Kondylenposition bei Totalprothesenträgern. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 557-562
163. **Utz KH, Müller F, Lückerath W, Fuß E, Koeck B**, Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 458-466
164. **Utz KH, Müller F, Lückerath W, Schwarting P, Noethlichs W, Büttner R, Fuß E, Grüner M, Koeck B**, The lateral leeway in the habitual intercuspitation: experimental studies and literature review, *J Oral Rehabil* 2007; 34: 406-413
165. **Vahle-Hinz K, Rybczynski A, Jakstat H, Ahlers MO**, Kondylenpositionsanalyse mit einem neuen elektronischen Kondylenpositionsmessinstrument E-CPM: Einfluss unterschiedlicher Untersucher und eines Konstruktionsbisses auf die Reproduzierbarkeit. *Int Journal of Computerized Dentistry* 2009; 12: 235-246
166. **Van Blarcon CW**, Glossary of prosthodontics, 6th edition, *J Prosth D* 1994; 71: 43-104
167. **Venkatesh N, Puneet B, Kruthika G, Krishna B**, Soft occlusal splint therapy in the management of myofascial pain dysfunction syndrome: A follow-up study. *Indian Journal of dental Research* 2008 (19); 3: 196-203
168. **Vogel A**, Konzept für die Bestimmung der Unterkieferposition Teil 1-4, ZWP

- 2007; 9-12: 110-111, 110-111, 82-83, 108-109
169. **Vogel A**, Verhalten der Kaumuskulatur – ein Überblick, ZAHN PRAX 2008; 6: 412-417
170. **Waltimo A, Könönen M**, A novel bite force recorder and maximal isometric bite force values for healthy young adults, Scand J Dent, 1993; 101: 171-175
171. **Walton T**, Occlusion and fixed prothodontics. In: Klineberg I, Jagger R (Hrsg.): Occlusion und clinical practice – An evidence-bases Approach, Wright, Edinburgh, 2004, 103-109
172. **Weber NA**, Untersuchung zur Präzision des intraoralen Stützstiftregistrats bei der Ermittlung der zentrischen Kondylenposition verglichen mit der maximalen Interkuspitationsposition funktionsgesunder Patienten, Med Diss, Münster, 2006
173. **Weijs W, Hillen B**, Relationship between masticatory muscle cross-section and skull shape, J Dent Res, 1984; 63: 1154-1157
174. **Weisbach M**, Über den Einfluss der Kieferschließkraft und der Verschiebung des Stützstiftes in der Transversalen auf die intraorale Stützstiftregistrierung, Med Diss, Bonn, 2005
175. **Wiesemann-Penkner K**, Normale und gestörte Funktionen des orofazialen Systems. In: Einführung in die Zahnmedizin, Reitemeier B, Schwenzer N, Ehrenfeld M, Georg Thieme Verlag, 2006; 98-101
176. **Wood DP, Korne PH**, Estimated and true hinge axis: a comparison of conylar displacement. Angle Orthod 1992; 62: 167-175
177. **Wood DP, Elliot RW**, Reproducibility of the centric relation bite registration technique. Angle Orthod 1994; 64: 211-220
178. **Woda A, Piochon P, Palla S**, Regulation of mandibular postures: mechanism and clinical implications. Crit Rev Oral Biol Med 2001; 12: 166-178

Hiermit möchte ich allen danken, die mich beim Schreiben meiner Doktorarbeit unterstützt haben:

Frau Oberärztin Dr. Sabine Linsen, für Ihre kompetente Betreuung sowie fachliche und computertechnische Hilfe, wenn nötig auch sonntags,

Herrn Prof. Dr. Helmut Stark, für die Überlassung des Themas und die zeitnahe Durchsicht,

meiner Familie,

Herrn Grüner, der sich mit allen Computerproblemen meinerseits auseinander gesetzt hat,

Frau Stachel, für das Heraussuchen unzähliger Artikel aus der Bibliothek,

allen Probanden, für wiederholtes Erscheinen in der Zahnklinik und konsequentes Tragen der Schiene (wer geht schon gerne freiwillig zum Zahnarzt),

den Mitarbeitern des Fundamental Schulungszentrums in Essen, insbesondere Frau Blatter, Herrn Arnold und Herrn Beltermann, für die tatkräftige und materielle Unterstützung bei allen Messungen,

Frau ZÄ Azadeh Samai, die mit mir nicht nur fünf klinische Semester lang eine Koje und damit Freud und Leid geteilt hat, sondern zusätzlich auch noch das Oberthema einer Doktorarbeit,

allen die ich namentlich nicht genannt habe, die mir aber durch Einscannen von Bildern, Heraussuchen von Büchern, Korrekturlesen und vor allem aber auch durch ihre moralische Unterstützung geholfen haben.

DANKE