Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. R. Biffar)
der Universitätsmedizin
der Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald

Untersuchung zur Validität und Reliabilität von zwei Methoden zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition im Vergleich zur habituellen Gelenkposition

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

2014

vorgelegt von Dipl.-Stom. Torsten Perlberg
geb. am 06. November 1962
in Stralsund

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Reiner Biffar

1. Gutachter: PD Dr. med. dent. Torsten Mundt (Greifswald)

2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Michael Walter (Dresden)

Tag der Disputation: 17. Dezember 2014

meinen Eltern Waltraud und Wolfgang Perlberg

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung
2. Literaturübersicht

2.1. Unterkieferpositionen

2.1.1. Anatomie und Bewegungen des Unterkiefers

2.1.2. Zentrischen Okklusion und zentrische Kondylenposition

2.1.3. Einfluss der Körperhaltung auf die Kieferposition

2.2. Verfahren der zentrischen Kieferrelationsbestimmungen

2.2.1. Statische Verfahren

2.2.2. Funktionelle Methoden

2.2.3. Extraoral graphische Verfahren

2.2.4. Intraoral graphische Verfahren

2.2.5. Kondylenpositionsanalyse

2.3. Validität und Reliabilität der zentrischen Registrierverfahren

2.4. Ziel dieser Studie

3. Material und Methode

3.1. Probanden und Zeitpunkt der Messungen

3.2. Herstellung der Modelle und Registratunterlagen

3.3. Bestimmung und Übertragung der individuellen Scharnierachse in den Artikulator

3.4. Handkontrolliertes Registrat nach der modifizierten Lauritzentechnik

3.5. IPR®-Registrat

3.6. Kondylenpositionsanalyse mit dem eCPM®

3.7. Statistische Methoden

4. Ergebnisse

4.1. Kondylenpositionen nach Hand- und IPR®-Registrat am 1. Messtag

4.2. Kondylenpositionen nach Hand- und IPR®-Registrat am 2. Messtag

4.3. Reliabilität der Registrate

4.4. Übereinstimmung des Hand- mit dem IPR®-Registrat an beiden Messtagen

5. Diskussion

5.1. Vergleich der Registratmethoden

5.2. Limitationen der Studie

5.3. Differenz der Registratpositionen zur Interkuspidationsposition
5.4. Übereinstimmung von Hand- und IPR®-Registrat
5.5. Reliabilität der Registrate
5.6. Schlussfolgerungen für die Klinik
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis
8. Eidesstattliche Erklärung
9. Lebenslauf
10. Danksagung

1. Einleitung und Problemstellung

Für die Planung und die Herstellung umfangreicher zahnärztlicher Restaurationen oder für Diagnostik und Therapie craniomandibulärer Dysfunktionen ist es erforderlich, die Relation der Kiefer zueinander mit Hilfe von Registraten am Patienten zu bestimmen. Danach werden die Modelle mit Hilfe des Registrates in einen Artikulator eingebaut, um die Okklusion zu analysieren oder die Restauration bzw. zunächst einen Aufbissbehelf herzustellen. Das Registrat sollte idealerweise beide Unterkieferkondylen in eine sichere therapeutische, die sogenannte zentrische Position führen.

Das Ziel ist das Erreichen individuell optimaler physiologischer Verhältnisse und die langfristige Sicherung einer ungestörten Funktion des stomatognathen Systems. Die Philosophien zur optimalen Unterkieferposition haben sich im Laufe der Zeit gewandelt und immer noch besteht keine Einigkeit darüber, wie diese definiert ist. Während die maximale Interkuspidationsposition des Unterkiefers von der habituellen Okklusion bestimmt wird, beschreibt der Terminus “zentrische Position“ eine kranio-ventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebestrukturen. Diese Position wird unabhängig von der habituellen Interkuspidation des Patienten registriert, wobei die Okklusalflächen der Zähne beider Kiefer während des Verfahrens voneinander getrennt sind. Nach der Registrierung der Zentrik ist es jedoch kaum möglich, objektiv zu kontrollieren, ob die erreichte Unterkieferposition auch wirklich einer “physiologischen“ und für den individuellen Patienten komfortablen Position entspricht. Mit anderen Worten, die Überprüfung der Validität des Verfahrens zur zentrischen Kieferrelationsbestimmung ist bis heute ungeklärt.

Andererseits gibt es eine große Anzahl von Methoden und Hilsmitteln, um die zentrische Kieferrelation zu bestimmen. Neben der statischen Registrierung der Unterkieferposition mittels verschiedener Grifftechniken, Registratplatten und -pasten, gibt es achsiographiegestützte Techniken und mechanische sowie elektronische Stützstiftregistrate. Diese Heterogenität lässt erkennen, dass sich bislang keine Technik überlegen gegenüber anderen erwiesen hat. Die

Anwendung und der Erfolg der klinischen Methode zur Kieferrelationsbestimmung sind darüber hinaus von der Erfahrung des Behandlers abhängig. Der Erfolg lässt sich in der Regel daran messen, inwieweit die Restaurationen bzw. Zentrikschienen bei der Einprobe oder nach der Eingliederung nachträglich korrigiert werden müssen. Somit ist ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Auswahl des Verfahrens, in welchem Ausmaß die ermittelte Kieferposition auch von Ungeübten reproduziert werden kann. Weiterhin sollte sich das Verfahren durch vertretbare Kosten und einen adäquaten Zeitaufwand auszeichnen.

In den letzten Jahren finden besonders in Deutschland computergestützte Stützstiftregistrat-Systeme eine weite Verbreitung. Die Hersteller der Systeme versprechen dem behandelnden Zahnarzt die Möglichkeit der diagnostischen Auswertung von craniomandibulären Dysfunktionen, ohne im Vorfeld achsiographische oder sogar strahlungsbelastende röntgenologische Diagnostik betreiben zu müssen. Weiterhin wird eine signifikante behandlerunabhängige Reproduzierbarkeit der Messungen in Aussicht gestellt, die das System als objektives Messinstrument in der Zahnheilkunde zur Anwendung kommen lassen soll. Wegen der Unsicherheit in Wissenschaft und Praxis bei der Ermittlung einer therapeutischen Position finden diese Systeme trotz des erhöhten Aufwands unter den Zahnärzten eine verbreitete Akzeptanz. Die Zahl der Studien, die elektronische Stützstiftregistrate mit anderen Methoden direkt vergleicht, ist jedoch immer noch gering.

In dieser Studie werden die Positionen des Unterkiefers zum Oberkiefer nach zwei sehr unterschiedlichen Methoden der zentrischen Registrierung

1. ein handkontrolliertes Registrat nach der modifizierten Lauritzentechnik
2. ein elektronisches Stützstiftregistrat = Intraoral Prozess Registration (IPR®, Dental Balance GmbH, Potsdam)

untereinander und mit der Position verglichen, die gesunden Probanden (vollbezahnt, keine craniomandibuläre Dysfunktion, wenige/kleine Füllungen) gewohnheitsmäßig im Schlussbiss einnehmen. Weiterhin soll überprüft werden, wie groß die Abweichungen der Unterkiefermodellpositionen sind, wenn mit der

gleichen Methode in einem Abstand von einer Woche am selben Patienten die Registrierung wiederholt wird.

Nach WEBER (2006) sind für den behandelnden Zahnarzt, den beteiligten Zahntechniker und den Patienten die Genauigkeit, Zuverlässigkeit und routinemäßige Praktikabilität einer Kieferrelationsbestimmung auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten von großer Bedeutung. Die manuelle Registrierung wird von der Mehrzahl der Zahnärzte eingesetzt, da sie schnell und ohne apparativen Aufwand durchgeführt werden kann. Gegenüber dem Stützstift fehlt jedoch jegliche graphische Kontrolle der Entstehung der definitiven Position und sie ist nur eine Momentaufnahme. Das manuelle Registrat ist deshalb sehr von der Erfahrung des Behandlers abhängig. Darum soll zusätzlich abgeschätzt werden, ob der Mehraufwand der zweiten Methode seinen Einsatz rechtfertigt und welche weiteren Vorteile das elektronisch basierte Stützstiftregistrat bieten kann.

2. Literaturübersicht

2.1. Unterkieferpositionen

2.1.1. Anatomie und Bewegungen des Unterkiefers

Das einzige Doppelgelenk des Menschen, obwohl völlig voneinander getrennt so doch in ihrem Aufbau übereinstimmend, sind die beiden Kiefergelenke. Sie ermöglichen die Bewegungen der Mandibula beim Kauen, Schlucken, Sprechen und anderen Bewegungen (VOSS und HERRLINGER 1983).

Die Kiefergelenke verbinden die Mandibula mit dem Os temporale und bestehen aus dem Kiefergelenkköpfchen, der Gelenkpfanne, dem Gelenkhöcker, dem Discus und der Gelenkkapsel mit Ligamenten.

Histologisch bestehen die knöchernen Gelenkstrukturen aus einer weitmaschigen Spongiosa und einer dünnen geschlossenen Kompakta, die von avaskulärem Faserknorpel bedeckt ist (ÖBERG et al. 1971). Dem ellipsoiden Kondylus sitzt der Discus articularis auf, der das Kiefergelenk in einen oberen disco-temporalen Teil und einen unteren disco-mandibulären Teil teilt (GRIFFIN und SHARPE 1960, HANSSON et al. 1977, SCHUMACHER 1972).

Der Discus hat die Aufgabe die Inkongruenz der knöchernen Strukturen während der Bewegungen auszugleichen (FUCHS 1986).

Der Discus articularis ist dorsal mit der bilaminären Zone, bestehend aus einem Stratum superius und einem Stratum inferius, mit den knöchernen Strukturen des Os temporale (Stratum superius) und der Mandibula (Stratum inferius) verbunden. Die beiden Bänder können den Discus bei den Unterkieferbewegungen auf dem Kondylus stabilisieren. Bei Discusverlagerungen ist die bilaminäre Zone überdehnt. Zwischen Stratus superius und inferius befindet sich das „retroartikulare Polster“, das wegen der Möglichkeit einer unterschiedlich starken Durchblutung über eine große Volumenvariabilität verfügt.

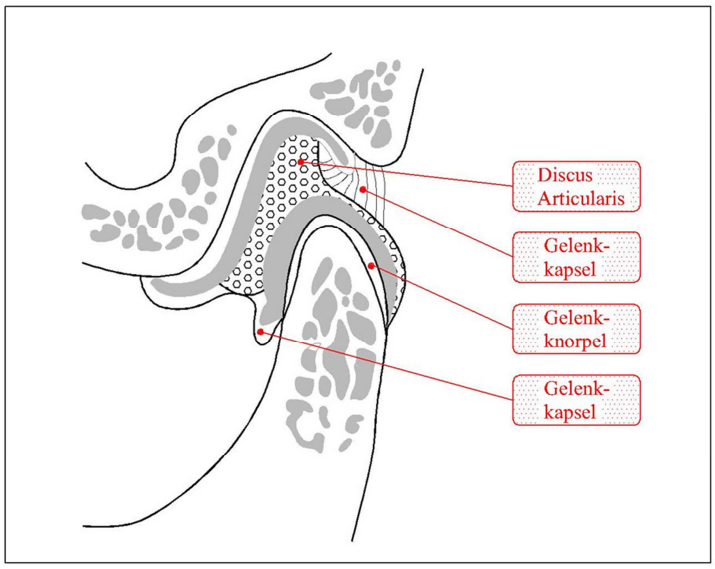

Abb.1: Kiefergelenk von lateral (Mund geschlossen)

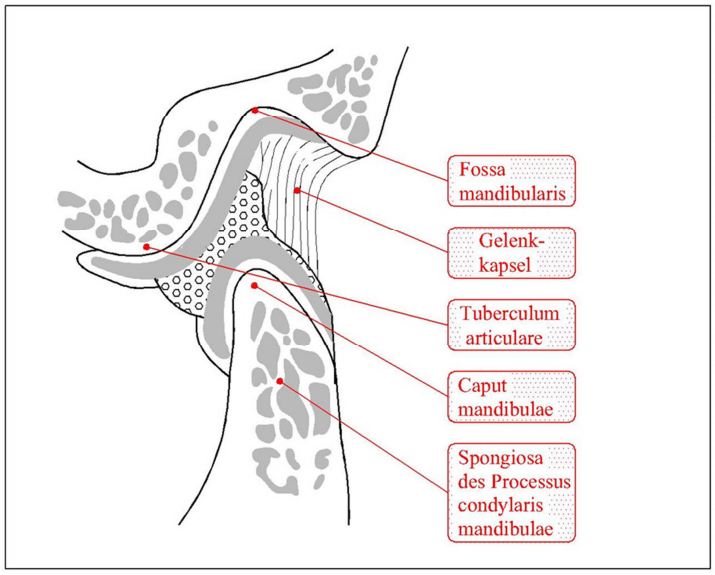

Abb. 2: Kiefergelenk von lateral (Mund geöffnet)

Aus den Abbildungen 1 und 2 ist zu ersehen, dass im oberen Teilgelenk zwischen Discus und Gelenkpfanne hauptsächlich Gleitbewegungen ausgeführt werden. Dagegen sind es im unteren Teil zwischen Discus und Kondylus vorwiegend Drehbewegungen. Es handelt sich hierbei um kombinierte Bewegungen in der Frontal- und Sagittalebene (VOSS und HERRLINGER 1983).

Vornehmlich die „eigentlichen“ Kaumuskeln (M. masseter, M. pterygoideus medialis und -lateralis, M. temporalis) ermöglichen die komplizierten Bewegungen des Unterkiefers gegenüber dem Oberkiefer. Weiterhin haben mimische Muskeln, die sub- und suprahyoidalen Muskeln, die Gaumen- und Schlundbogenmuskulatur, die Schlund- und Kehlkopfmuskulatur sowie die Hals- und Nackenmuskeln Einfluss auf die Bewegungsmuster des Unterkiefers (LOTZMANN et al. 1989; MATUSO et al. 1992; LOTZMANN und STEINBERG 1993).

Vereinfacht lässt sich die komplexe Unterkieferbewegung in einem Dreiachsensystem als Anschauungsmodell beschreiben, dessen Nullpunkt im Kondylus liegt (DELBACH 2005).

Die Grenzen der Öffnungs- und Schließbewegung des Inzisalpunktes (Berührungspunkt der Schneidekanten der unteren mittleren Frontzähne) in der Median-Sagittal-Ebene sind im POSSELT-Diagramm sichtbar:

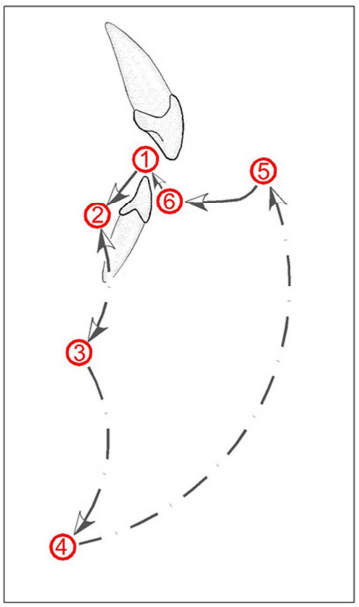

Abb. 3: Grenzbewegungen des Unterkiefers in sagittaler Ebene nach POSSELT

1. Schlussbisslage des Unterkiefers
2. Ausgangspunkt dorsal-ventral
3. Bei manuell forciertem retralen Druck auf das Kinn weitgehende Rotation des sich öffnenden Unterkiefers
4. Maximale Mundöffnung
5. Maximale Protrusion
6. Abbissstellung

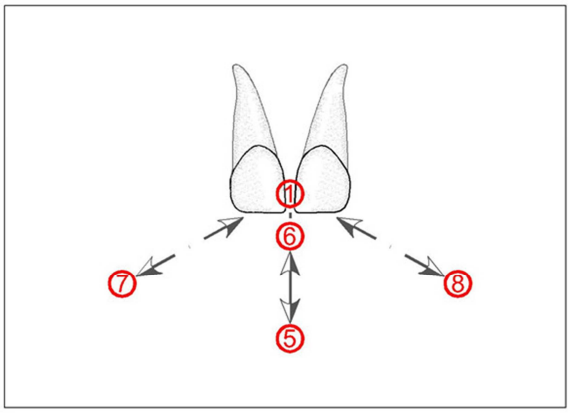

Abb. 4: Bewegungsausmaß des Unterkiefers in der Horizontalebene
1. Schlussbisslage des Unterkiefers
5. Maximale Protrusion
6. Abbissstellung
7. Maximale Laterotrusion nach rechts
8. Maximale Laterotrusion nach links

Bei den Grenzbewegungen in der Horizontalebene kommt es zu einem typischen „Pfeilwinkel“-Muster (Abb. 4). Die Position 2 (Abb. 3) ist der retralste Punkt, den man selbst ausschließlich muskulär erreichen kann. Durch iatrogenen Druck auf das Kinn lässt sich aber ein Punkt durch Kompression der bilaminären Zone im Gelenk erreichen, der allgemein als forcierte retrale Position bezeichnet wird. Die Kiefergelenke ermöglichen durch ungleichmäßige Translationen des rechten und linken Kondylus die Mahlbewegung des Kauens und somit eine zusätzliche Rotation um die Longitudinalachse. Damit entspricht es einem funktionellen Kugelgelenk mit 3 Hauptachsen (VOSS und HERRLINGER 1983).

2.1.2. Zentrische Okklusion und zentrische Kondylenposition

Der Begriff Okklusion bezeichnet jeden Kontakt zwischen den Zähnen des Oberkiefers und Unterkiefers in Ruhe (statische Okklusion) und in Bewegung (dynamische Okklusion). Sie steht in direkter Beziehnung zur Funktion des Kiefergelenkes und zu den Muskeln, sowie deren Steuermechanismus (SCHUMACHER 1983).

Die maximale Interkuspidationsposition, (Synonym: maximaler okklusaler Vielpunktkontakt, „Schlussbissstellung“) stellt nach LOTZMANN (1994) die Ausgangs- und Zielposition aller mandibulären Bewegungen dar.

Die gewohnheitsmäßig von Patienten eingenommene Kontaktposition wird als habituelle Interkuspidationsposition bezeichnet.

Unter habitueller Unterkieferlage (oder Ruheschwebe) versteht man die unbewusste Abstandhaltung des Unterkiefers zum Oberkiefer ohne Zahnkontakte in aufrechter Kopfhaltungs- und Körperposition (SCHUMACHER 1983).

SICHER definierte schon 1930 die Ruhelage des Gelenkes als jene Position, bei welcher der Unterkiefer ein wenig vom Oberkiefer entfernt sei und der Tonus der Schließmuskeln ihn gegen sein eigenes Gewicht fixiert hält (SICHER 1930).

Die „physiologische“ Kondylenlage beschrieb WALLISCH schon 1903 als eine Position, bei der der Kondylus angelehnt an das Tuberculum vor der Gelenkpfanne zu liegen kommt.

1912 stellte ANDRESEN fest, dass die Kondylen in Ruhestellung „etwa in der Höhe der Mitte der hinteren Gelenkköpfe des Tuberculum articulare unter Zwischenschaltung des Meniskus an die Gelenkfläche angelehnt“ sind. Diese Auffassungen ähneln sehr der heute vertretenen Meinung zur zentrischen Kondylenposition.

Im Gegensatz dazu wurde in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts bei prothetischen Neuversorgungen die Meinung vertreten, dass die am weitesten retrudierte Lage der Kondylen zu bevorzugen sei (Glossary of Prosthodontic Terms 1956, ASH 1995, ASH und RAMFJORD 1995).

Erst später, Mitte der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts, setzte sich die Auffassung durch, eine zentrische Kondylenposition zu therapeutischen Zwecken

einzustellen. Diese liegt deutlich weiter ventral als die retrudierte Kondylenposition (ASH 1995; ASH und RAMFJORD 1995; KESHVAD und WINSTANLEY 2000).

Die Auswertung einer systematischen Literaturanalyse von STAMM et al. (2004), in die 49 Studien zwischen 1899 und 2001 einflossen, ergab, dass bei natürlich bezahnten Erwachsenen bei maximaler Interkuspidation in bildgebenden Darstellungen sowohl anteriore, zentrische als auch posteriore Kondylenpositionen gefunden wurden. Die zentrische Lage überwog signifikant.

Unter zentrischer Okklusion versteht man die Zahnkontakte, bei denen sich die Kondylen in zentrischer Kondylenposition befinden (BUMANN und LOTZMANN in RATEITSCHAK und WOLF 2000).

Die Deutsche Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde e.V. definiert 2002 die zentrische Kondylenposition als eine kranio-ventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kiefergelenksköpfchen bei physiologischer Kondylus-Discus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe. Ideal wäre es, wenn die habituelle Okklusion mit der zentrischen Okklusion übereinstimmen würde. Dies ist jedoch selten der Fall und es werden in der Regel Abweichungen zwischen beiden Positionen auch bei Personen gefunden, die weder funktionelle Störungen, Dysgnathien oder umfangreiche Restaurationen aufweisen.

Ähnlich wie STAMM et al. (2004) untersuchten TÜRP und WALTER (2014) mittels einer systematischen Literaturrecherche (2002 bis 2012) die Kondylusposition über bildgebende Verfahren symptomfreier Erwachsener in maximaler Interkuspidationsposition (IKP). Auch sie fanden in der IKP eine große interindividuelle Variabilität, bei der die Kondylen „beinahe einer Zufallsverteilung folgend anterior, zentrisch oder posterior lokalisiert sein können“. Sogar intraindividuell können der rechte und der linke Kondylus eine unterschiedliche Lage aufweisen. Diese Vielfältigkeit befeuere die Diskussion über eine bestimmte anzustrebende therapeutische Kondylusposition. Die Frage nach der physiologischen bzw. optimalen Kondyluslage sei eher von akademischer als von klinisch-praktischer Relevanz. So zeige der klinische Alltag, dass die genaue Kenntnis über die exakte Kondylusposition aber auch nicht erforderlich zu sein scheint, um gute Behandlungsergebnisse zu erzielen (TÜRP et al. 2006).

So fand THEDERAN (2000) bei kaufunktionsgesunden Probanden bei einer handgeführten Checkbissregistrierung der zentrischen Kondylenposition nur geringe Abweichungen. Die Durchschnittswerte lagen zwischen 0,05 mm und 0,14 mm in der sagittalen bzw. vertikalen Raumrichtung zur maximalen Interkuspidationsposition.

In einer anderen Studie ermittelte WEBER (2006) mit einem intraoralen Stützstiftregistrat in 12% der Fälle eine Übereinstimmung mit der IKP und in 75% eine Abweichung von unter 0,3 mm nach ventral.

DIETZEL (2011) fand eine sehr geringe Differenz zwischen habitueller und zentrischer Kondylenposition bei Registrierung mit dem DIR®-System in einem Bereich von 0,01 mm bis 0,02 mm in sagittaler und vertikaler Richtung.

Andere Autoren fanden bei gelenknaher Messung in der sagittalen Raumrichtung im Mittel Werte von weniger als 0,8 mm zwischen maximaler Interkuspidation und zentrischer Kondylenposition. Es wurden bei Kaugesunden auch Abweichungen in der sagittalen von über 1 mm ermittelt (BÖHM et al. 1995, LENTNER et al. 1997, UTZ et al. 1990).

Für eine prothetische Therapie bei teilbezahnten oder zahnlosen Patienten unter Aufhebung aller dentalen Stützzonen wird in der Regel mittels Zentrikregistrat die Position des Unterkiefers zum Oberkiefer ermittelt. Für die Registrierung gibt es verschiedene Techniken und Materialien, die eins gemeinsam haben sollten: die Bisslage muss reproduzierbar sein, es sollte eine gleichmäßige Abstützung auf den Seitenzähnen und den Front- und Eckzähnen abhängig vom Okklusionskonzept vorliegen und der Patient sollte nach der Eingliederung der Prothese beschwerdefrei sein. Ob die ermittelte Unterkieferposition der Definition für eine zentrische Kondylenposition entspricht, mit anderen Worten, wie valide das Verfahren ist, kann jedoch klinisch oder röntgenologisch nicht ermittelt werden (UTZ et al. 2010, Wissenschaftliche Mitteilung DGPro, Kieferrelationsbestimmung, TÜRP et al. 2006). Deshalb sollte in der rekonstruktiven Tätigkeit eher von einer beschwerdefreien (physiologischen) therapeutischen Position gesprochen werden. Abweichungen von der physiologischen Unterkieferlage sind oftmals in der Korrektur sehr aufwendig für den Patienten, das Dentallabor und den behandelnden Zahnarzt, da jegliche subtraktive oder additive Maßnahmen an den Kauflächen einen erheblichen Mehraufwand für alle Beteiligten bedeuten.

In der Definition der zentrischen Kondylenposition kommt mehrfach der Begriff „physiologisch“ vor. Da die Bindegewebe um die Kiefergelenke und die Kaumuskulatur große kompensatorische und adaptive Kapazitäten haben, funktioniert das System oftmals ohne Schmerzen oder Bewegungseinschränkungen, obwohl Okklusionsstörungen vorliegen. Statische/dynamische Vorkontakte, Non-Okklusion, große Abweichungen zwischen der habituellen und zentrischen Okklusion müssen keine Behandlung nach sich ziehen, wenn der Patient aus funktioneller Sicht symptomfrei ist (KOYANO et al. 2012, TÜRP und SCHINDLER 2012).

Kommt es zu Problemen in diesem Bereich z.B. schmerzende und/oder verspannte Kaumuskulatur, Limitationen oder große Seitenabweichungen (Deviationen, Deflexionen) bei den Unterkieferbewegungen und werden diese an den Behandler herangetragen, dann ist er gefordert, möglichst Beschwerdefreiheit wiederherzustellen. Über eine Schienentherapie kann die Lage der Kiefergelenke der zentrischen oder „physiologischen“ Kondylenposition angenähert sowie gleichzeitig eine Entspannung der Muskulatur erwirkt werden. Auf diese Art und Weise werden die Symptome abgeschwächt oder eliminiert. Für diese Zentrikschiene bzw. adjustierten Aufbissbehelf ist ein bisssperrendes Registrat erforderlich, welches den Unterkiefer von der habituellen Okklusion weg in eine therapeutische Unterkieferposition führt. Eine definitive Überführung in die Schienenposition kann erforderlich sein, wenn ein prothetischer Therapiebedarf besteht oder aber ohne Aufbissbehelf in habitueller Okklusion sofort wieder Beschwerden auftreten (SCHWAHN 2003, KATSOULIS et al. 2011, AHLERS und JAKSTAT 2013).

2.1.3. Einfluss der Körperhaltung auf die Kieferposition

Die aufrechte Körperhaltung des Menschen wird im Wesentlichen durch das Skelett, die Faszien und die Muskelspannung ermöglicht. Unphysiologische Veränderungen der Körperhaltung, z.B. bei einer Beinlängendifferenz, Beckenschiefstand, Skoliose, Kyphose, oder Störungen im Bereich der

Halswirbelsäule, sollen einen Einfluss über Faszien- und Muskelspannungen auf die Position der Mandibula haben. Faszienspannungen könnten über muskuläre und ligamentäre Verbindungen die Unterkieferposition beeinflussen.

So untersuchten CAMPOS et al. (1996) Abweichungen bei der Bestimmung der zentrischen Relation in sitzender und liegender Körperposition mit einer modifizierten Schlucktechnik und einem kinngeführten Handregistrat. Bei Kinnführung wurden die Kondylen im Liegen etwas weiter anterior-superior (ca. 0,1 mm) positioniert gegenüber der aufrechten Körperhaltung. Die Schlucktechnik zeigte zwar keine signifikanten Unterschiede in den verschiedenen Körperpositionen, aber insgesamt standen die Kondylen signifikant weiter anterior (ca. 0,3 mm) als beim kinngeführten Registrat.

Die Studie von TRIPODAKIS et al. (1995) zeigt keine Abweichungen bei der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition und der retralen Kontaktposition am sitzenden oder liegenden, natürlich bezahnten Probanden. Eine rein neuromuskuläre Kontaktpositon hingegen war nicht reproduzierbar, lag aber sagittal zwischen zentraler und retraler Kontaktposition.

YAMAMOTO et al. (2009) untersuchten mit einem intraoralen Gerät zur Aufzeichnung von Unterkieferbewegungen verschiedene Positionen des Unterkiefers bei Mundschlussbewegungen in sitzender und liegender Position auf dem zahnärztlichen Behandlungsstuhl. Deutlich wurde eine wesentlich größere Streuung der Kontaktpunkte in Frontal- und Horizontalebene in liegender Position, welches möglicherweise größere Ungenauigkeiten beim Bestimmen der zentrischen Kondylenposition am liegenden Patienten bedeuten könnte. Auch lagen die Vergleichswerte in liegender Position weiter anterior als im Sitzen.

In 96% der Fälle ändern sich die Kontaktpunkte bei der dynamischen Okklusion, wenn die Körperposition auf dem Behandlungsstuhl von sitzend über 45% geneigt bis liegend verändert wird. Fast 83% der Probanden hatten mehr als 7 veränderte Kontaktpunkte auf der Arbeitsseite und 48% der Untersuchten mehr als 7 veränderte Kontakte auf der Balanceseite, wie aus einer Studie von VAN´T SPIJKER et al. (2011) hervorgeht.

Auch ROGGENDORF und VOIGT (2008) verglichen Ergebnisse einer intraoralen, elektronischen Stützstiftregistrierung in sitzender und halbliegender Position auf dem Behandlungsstuhl, im Stehen und auf einem speziellen

Registrierstuhl (Orthas®) aufrecht, gerade sitzend. So gab es zum Teil deutliche Abweichungen innerhalb der horizontalen und sagittalen Koordinaten je nach Körperposition bis zu knapp einem Millimeter. Bei der Sitzposition gab es recht gute Übereinstimmungen mit sehr geringen durchschnittlichen Standardabweichungen. Eine noch höhere Präzision wurde bei den Registraten auf dem systemunabhängigen Registrierstuhl Orthas® in aufrecht sitzender Position ohne Abstützung des Kopfes erreicht. Es gab hier eine Übereinstimmung bei der Hälfte der horizontalen (links-rechtslateral) und bei über einem Drittel der sagittalen (ventrodorsal) Koordinaten.

Nicht nur die Positionierung des Körpers sondern auch Unterschiede in der Kopfhaltung können einen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit und Präzision bei der Bestimmung verschiedener Unterkieferkontaktpositionen haben.

So ermittelten YAMADA et al. (1999) bei unterschiedlichen Kopfneigungen von 25° nach vorne und bis 30° nach hinten unterschiedliche habituelle Schließbewegungen des Unterkiefers, deren Ursache sie in der unterschiedlichen Spannung und Widerständen in der Kaumuskulatur und dem submandibulären Weichgewebe vermuten. Ein Vorneigen des Kopfes vermindert die Stabilität der Mundschlussbewegung, dagegen fanden sie bei einer Dorsoflexion eine Erhöhung der Stabilität.

VISSCHER et al. (2000) beobachteten verschiedene Unterkieferpositionen bei gerader, vorgeneigter und rückgeneigter Kopfhaltung, sowie bei Lateroflexion nach links und rechts. Dabei wurde bei Dorsoflexion eine Verschiebung des Incisalpunktes nach anterior im Vergleich zur geraden Kopfhaltung festgestellt. Bei vorgeneigtem Kopf ist es umgekehrt. Bei seitlicher Kopfneigung bewegt sich der Incisalpunkt zur selben Seite.

Elektromyographisch wurde nachgewiesen, dass die Muskulatur bei korrekter, gerader Körper- und Kopfhaltung den geringsten Muskeltonus zeigt. In genau dieser Position ist die Campersche Ebene (KAPANDIJ 1985), die durch die beiden Traguspunkte rechts und links am Ohr und durch die Spina nasalis anterior definiert ist, genau waagerecht, d.h. parallel zur Stand- oder Sitzfläche des Probanden (WÜHR 2004).

Unter diesen Umständen kann sich nach Meinung weiterer Autoren eine aufrechte Positionierung des Patienten günstig auf die Bestimmung der zentralen Kondylenposition auswirken (ROGGENDORF und VOIGT 2008).

Das Registrat entspricht dann eher der zentrischen Kondylenposition, da physiologische, funktionelle und externe Kräfte auf die Kondylen einwirken sollen.

2.2. Verfahren der zentrischen Kieferrelationsbestimmung

2.2.1. Statische Verfahren

Bei statischen Verfahren werden individuelle bisssperrende Registrierträger im Mund platziert. Dadurch werden die Bestimmung und die Fixierung der zentrischen Lage des Unterkiefers zum Oberkiefer durch eine Kieferschlussbewegung ermöglicht, ohne dass der Patient in seine habituelle Okklusion gleitet. Als Registriermedien kommen spezielle Wachse, (z.B. Aluwax™, Dental Products Co, USA), thermoplastische Kompositionsmassen, Registratpasten auf Zinkoxid- oder Silikonbasis sowie chemisch oder lichthärtende Kunststoffe, zur Anwendung (UTZ et al. 2002).

Die Registrierträger können aus speziellen Hartwachsplatten, (z.B. Beauty pink Wachs, Fa. Moyko, USA), vorgeprägten und am Rand gebörtelten Zinnfolien, chemisch-, dual- und lichthärtenden oder thermoplastischen Kunststoffplatten gefertigt sein (UTZ et al. 2002 und 2010 Wissenschaftliche Mitteilung der DGPro, Kieferrelationsbestimmung). Plattenregistrate sollten den Biss immer dann möglichst wenig sperren, wenn die vertikale Kieferrelation, z.B. mittels einer Restauration, nicht erhöht wird. So kann der zu erwartende Fehler in statischer Okklusion beim Absenken des Inzisalstiftes klein gehalten werden. Abweichungen der Artikulatorscharnierachse von der eigentlichen Position der Kiefergelenkkondylen führen zu okklusalen Fehlern bei nachträglicher Änderung der vertikalen Relation (LOTZMANN 1992, MORNEBURG und PRÖSCHEL 2011).

Der okklusale Fehler wird umso kleiner, je besser die Interkondylarachsen zwischen Artikulator und Patient übereinstimmen. Die arbiträre Gesichtsbogenübertragung soll dazu schon in gewisser Weise beitragen, besser soll jedoch die Bestimmung der individuellen Scharnierachse mittels

mechanischer oder elektronischer Achsiographie-Systeme sein (MORNEBURG und PRÖSCHEL 2011).

Dass ein okklusaler Fehler auch nach Bestimmung und Übertragung der individuellen Scharnierachse in den Artikulator zu erwarten ist, geht aus einer Untersuchung von SCHMID et al. (1995) hervor. Sie untersuchten die Rotation und Translation der Kondylen während habitueller Öffnungs- und Schließbewegungen bei vollbezahnten, kaugesunden Probanden und fanden heraus, dass schon im initialen Öffnungsbereich eine linear ansteigende Translation der Kondylen auftreten kann. Diese Kondylentranslation kann mit mechanischen Artikulatoren nicht nachvollzogen werden. Deshalb ist sogar dann mit kleinen okklusalen Fehlern nach Veränderung der Vertikalen zu rechnen, wenn eine individuelle Scharnierachsbestimmung im Vorfeld erfolgte.

Bei der zentrischen Kieferrelationsbestimmung mit statischen Plattenregistratträgern ist die Bestimmung der Unterkieferposition aktiv, passiv oder semiaktiv möglich (LOTZMANN 1989 und 1994).

Bei **aktiven Registrierverfahren** führt der Patient den Unterkiefer rein neuromuskulär, ohne händische Beeinflussung des Behandlers und ohne vorherige neuromuskuläre Deprogrammierung in den interokklusalen Registrierbehelf. KROUG-POULSEN (1980) spricht von einer „muskulären Kontaktposition“. Dieses Verfahren ist wesentlich abhängig vom aktuellen Muskeltonus und der Kopf- und Körperhaltung. So konnte LOTZMANN 1994 nachweisen, dass dieses Verfahren instabil und wenig reproduzierbar ist. Es liefert Ergebnisse mit keiner verlässlichen Genauigkeit.

Bei der myozentrischen Kieferrelationsbestimmung, die JANKELSON (1972) begründete, werden Muskelreizungen über eine transcutane elektrische Nervenstimulation (TENS) erzeugt. Mit dieser TENS kommt es zu einer reproduzierbaren Relaxierung der Kaumuskulatur und so der Unterkiefer in eine weitgehend stabile Ruhelage. Diese Behandlung dauert im Vorfeld der Registrierung eine gute halbe Stunde. Dann soll bei aufrechter Körperhaltung und entspannter Muskulatur durch eine einfache Schließbewegung des Unterkiefers eine myozentrische Kondylenposition gefunden werden, weil durch die Vorbehandlung das propriozeptive „Gedächtnis“ der habituellen Interkuspidation erloschen ist (SCHÖTTL 2004).

Bei rein aktiven Registrierungen positioniert der Patient den Unterkiefer häufig zu weit ventral (LOTZMANN 1994).

Bei **semiaktiven Registrierverfahren** werden Aufbisse als Registrierhilfe im Frontzahnbereich eingesetzt, damit soll sich die Reproduzierbarkeit der ermittelten Zentrik erhöhen. (STROHAVER 1972) Der Frontzahn-Jig nach LUCIA (1964) ist ein Beispiel für solch einen Registrierbehelf.
Bei einer neuromuskulären Inkoordination nimmt der Unterkiefer eine reflektorische Schonhaltung ein. Durch den Jig, der an den oberen Incisivi palatinal so eingeschliffen wird, dass die unteren Schneidezähne die Ebene gleichmäßig berühren, wird so eine minimale Disklusion der Seitenzähne erreicht. Trägt der Patient diese Schiene vor der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition soll es durch die Ausschaltung der okklusalen Dysbalancen zu einer zentrischen Selbstjustierung der Kondylen nach dem „Dreibein-Prinzip“ kommen. (LOTZMANN 1998) Die Relationsbestimmung erfolgt dann bei eingesetztem Jig durch eine Kieferschlussbewegung, die durch den Behandler unterstützt wird. Die Fixierung erfolgt durch ein vorher im Mund platziertes Wachsregistrat oder die registrierte Position wird mit Silikonmaterial verschlüsselt.
Dient der Frontzahn-Jig nur der temporären Löschung der propriozeptiven Erinnerung des neuromuskulären Systems, wird er, nach einer gewissen Tragezeit, unmittelbar vor der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition mit anderen Techniken, entnommen. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass es ohne Jig, vor der Registrierung zu keinen Zahnkontakten kommt, weil sonst sofort reflexmäßig wieder die habituelle Okklusion des Unterkiefers eingenommen wird. Mit vorheriger Deprogrammierung ist das zentrische Einstellen der Kondylen aus einer entspannten Ruhelage des Unterkiefers wahrscheinlich sicherer möglich.
Patienten mit muskulärer Dysfunktion sind nach Meinung von LOTZMANN (1994) vor der zentrischen Kieferrelationsbestimmung, z.B. mit einer Äquillibrierungsschiene oder einem Aqualizer®, in eine Ausgangsposition mit vorentspannter Kaumuskulatur zu bringen.

Zu den **passiven Registrierverfahren** zählen die Techniken, bei denen der Behandler aktiv den Unterkiefer und damit auch die Kondylen manuell in die gewünschte Lage auf dem Registratträger führt. Der Patient ist bei diesen Techniken eher passiv. Im Laufe der Zeit wurden viele Techniken zur Manipulation der Mandibula entwickelt. Eine der passiven Methoden ist die bimanuelle Unterkiefermanipulation nach DAWSON („DAWSON-Griff“) (1976). Dabei liegt der Patient zurückgelehnt im Behandlungsstuhl. Der Behandler sitzt hinter dem Patienten, dessen Kopf er gegen seinen Bauch stabilisiert. Dabei wird mit beiden Händen unter leichtem Druck die Unterkieferbasis nach kranial geschoben. Dadurch werden die Gelenkköpfchen senkrecht gegen den posterioren Bereich der Eminentia geführt. Jetzt wird der Unterkiefer durch geringe Öffnungs- und Schließbewegungen in die sogenannte terminale Scharnierachsposition manipuliert und registriert.
Eine weitere Methode ist die klassische Grifftechnik nach LAURITZEN (1976) (Abb. 5). Dabei wird mit einer Hand des Behandlers am auf dem Behandlungsstuhl sitzenden Patienten ein nach dorsokranial gerichteter Druck auf das Kinn ausgeübt, während die andere Hand den Registratträger an den Okklusalflächen der Oberkieferzähne fixiert.

Abb. 5: Klassische Grifftechnik nach LAURITZEN

Der Daumen übt intraoral über die Labialflächen der unteren Schneidezähne einen Druck nach dorsal aus, wobei die Daumenspitze zunächst Ober- und

Unterkiefer voneinander trennt. Wenn der Behandler eine ausreichend retrale Lage des Unterkiefers erreicht hat, wird die Daumenspitze interokklusal entfernt und die Unterkieferzähne werden in das Registriermedium, welches auf die Platte aufgetragen wurde, geführt.
Eine alternative Grifftechnik nach LAURITZEN ist in Abb. 6 dargestellt und ermöglicht eine Lagebestimmung des Unterkiefers bei minimaler Mundöffnung. Dabei wird der Unterkiefer über die Kinnspitze entweder mit der Daumenspitze oder dem Daumenknöchel nach retral forciert.

Abb. 6: Alternative Grifftechnik nach LAURITZEN

Alle diese Grifftechniken mit dorso-kranialer Manipulation der Unterkieferkondylen sind sehr gut reproduzierbar, da eine anatomisch fixierte Grenzposition ermittelt wird (POSSELT 1952, INGERVALL 1964, UTZ 1990). Zwangsläufig gelangen die Kondylen jedoch in eine Position, die der Definition der Zentrik widerspricht, denn im dorsalen Bereich wird die Gelenkkapsel mit der bilaminären Zone wahrscheinlich komprimiert, so dass daraus unphysiologische Belastungen entstehen können (BUMANN und LOTZMANN 2000).
Bei BIFFAR und KÖRBER (1999) wird beim „handkontrollierten Zentrikregistrat“ kein retral gerichteter Druck ausgeübt, sondern nur die vom Patienten selbst ausgeführten leichten, möglichst rein rotativen Öffnungs- und

Schließbewegungen manuell kontrolliert, um Vorschubbewegungen des Unterkiefers zu verhindern.

2.2.2. Funktionelle Methoden

Funktionelle Verfahren werden in der Regel bei zahnlosen Patienten eingesetzt. Dabei werden die aufgezeichneten Bewegungsbahnen des Unterkiefers zur individuellen Programmierung in den Artikulator übertragen. Diese Bewegungsbahnen werden intraoral auf entsprechenden Bisswallmaterialien aufgezeichnet.

NEEDLES (1923) befestigte am Oberkieferwall drei Stifte, die unter entsprechenden funktionellen Unterkieferbewegungen auf einem Unterkiefer-Registrierbehelf Pfeilspuren gravierten. Anhand der Ergebnisse wurden die Oberkiefer- und Unterkiefermodelle über die Bisswälle einander zugeordnet.

2.2.3. Extraoral graphische Verfahren

Schon Anfang des 20. Jahrhunderts zeichnete GYSI (1908 und 1915) Grenzbewegungen des Unterkiefers, die Gelenkbahnen sowohl gelenknah als auch gelenkfern auf. Diese Aufzeichnungen lieferten neben den gelenknahen Daten für die Einstellung der individuellen Kondylenbahnen in Artikulatoren auch gelenkferne, jedoch noch extraorale Aufzeichnungen, der Unterkiefergrenzbewegungen ähnlich dem „Gotischen Bogen“ (MEYER 1993). Die „normale“ Bisslage wurde danach auf der Pfeilwinkelspitze festgelegt, die durch zusätzlichen dorsalen Druck beim Schlucken aufgezeichnet wurde.

WEBER (1976) entwickelte einen Mastikator®-Pantographen, bei dem zwar ein Stützstift intraoral platziert wird, aber auf einer gelenkfern-horizontal und zwei gelenkfern-vertikal ausgerichteten Schreibplatten unter Sichtkontrolle des Behandlers die Registrierung erfolgt. Neben der Programmierung des Artikulators wurden zusätzlich Ober- und Unterkiefermodelle zentrisch einander zugeordnet.

Mittels der mechanischen Achsiographie wird zuerst die individuelle terminale Scharnierachse bestimmt, um danach die Bewegungen der Kondylen gelenknah, auch für die Programmierung des Artikulators, aufzuzeichnen (LOTZMANN 1998).

Durch eine paraokklusale Fixierung der Registrierbehelfe werden störende Einflüsse einer Bisserhöhung weitgehend ausgeschaltet. Mit der Aufzeichnung sagittaler Scharnierachsspuren ist es möglich, die angestrebte zentrische Position der Kondylen intraoral zu registrieren (STACHNISS 1984).

Die Methoden der mechanischen Achsiographie wurden in den letzten Jahren von digitalen Verfahren praktisch abgelöst. Mehrere dieser elektronischen Achsiographen arbeiten berührungslos, z.B. über eine Lichtquelle oder Ultraschall mit entsprechenden extraoralen Sensoren.

Beim ARCUSdigma II (Fa. KaVo, Biberach, Deutschland) kann der Behandler beispielsweise die zentrische Kondylenlage unter visueller Kontrolle am Monitor anhand der Bewegungsbahnen festlegen und diese Position mit einem okklusal applizierten Registratmaterial fixieren und so über Modelle in den Artikulator übertragen (BRÄUNIG 2012).

Man kann mit diesen Systemen die zentrische Kondylenposition auch auf die „klassische“ Art und Weise, z.B. mit der intraoralen Stützstiftmethode oder der „handgeführten Zentrik“, kontrollieren oder fixieren.

2.2.4. Intraoral graphische Verfahren

Ein Besteck für die intraorale Pfeilwinkelregistrierung bei zahnlosen Patienten führte MCGRANE 1944 in die Zahnmedizin ein (MCGRANE 1949).

GERBER adaptierte das Verfahren auch für teilbezahnte Kiefer (GERBER 1964).

Es werden zwei Registrierbehelfe angefertigt. Die Schablone für den Oberkiefer trägt einen höhenverstellbaren Schreibstift und auf der Schablone für den Unterkiefer ist eine horizontale Schreibplatte parallel zur Okklusionsebene befestigt. Der Schreibstift wird immer auf der sagittalen Mittellinie und über dem Belastungszentrum des Unterkiefers positioniert. Dieses Belastungszentrum

definiert FIGGENER (1988) am Kreuzungspunkt der sagittalen Medianebene mit der Verbindungslinie der mesiopalatinalen Höcker der 1. Molaren oder nach FREESMEYER et al. (1987) der Prämolaren.

DAIBERL und BRISKO (1987) hatten erkannt, dass bei der Stützstiftregistrierung nur unter Ausschaltung aller Zahnkontakte des Ober- und Unterkiefers fehlerhafte Fixierungen der Kieferrelation vermieden werden können. Das Registrierverfahren basiert auf dem Prinzip des Dreibeins. Die beiden posterioren Stützpunkte bilden die Kondylen in den Fossea und der zentrale Stützstift fungiert als anteriore Abstützung. Unter Ausschaltung der Zahnkontakte soll durch eine neuromuskuläre Deprogrammierung eine sogenannte Selbstzentrierung des Unterkiefers ermöglicht werden. Mit dieser Anordnung ist eine zweidimensionale Aufzeichnung von Unterkiefergrenzbewegungen möglich.

Der Patient führt in der Regel ohne manuelle Führung des Behandlers Protrusions- und Retrusionsbewegungen aus. Aus der retralsten Position werden nach links und rechts Laterotrusionsbewegungen ausgeführt. So zeichnet der Stützstift auf der Schreibplatte einen „Gotischen Bogen“ bzw. einen Pfeilwinkel auf (Abb. 7-9).

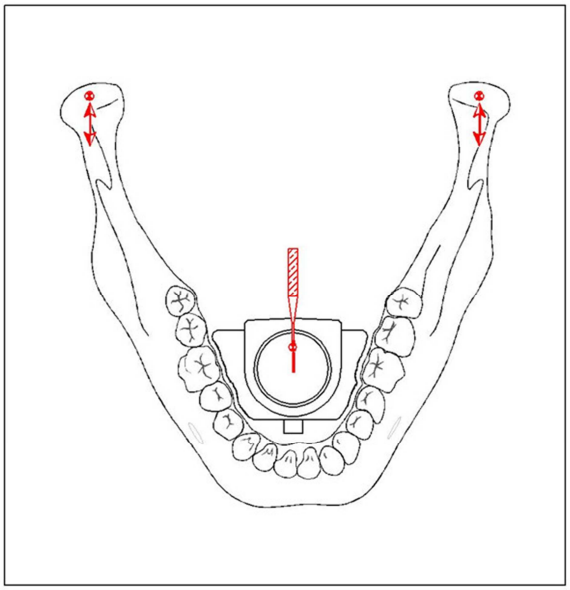

Abb. 7: Protrusion und Retrusion

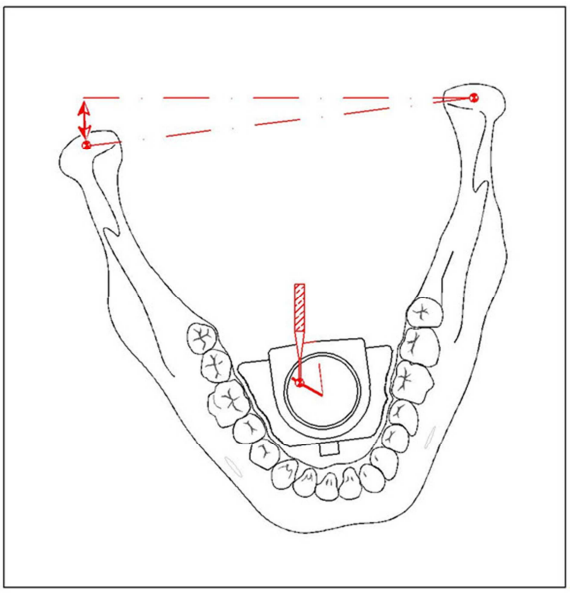

Abb. 8: laterotrusive Grenzbewegung nach links

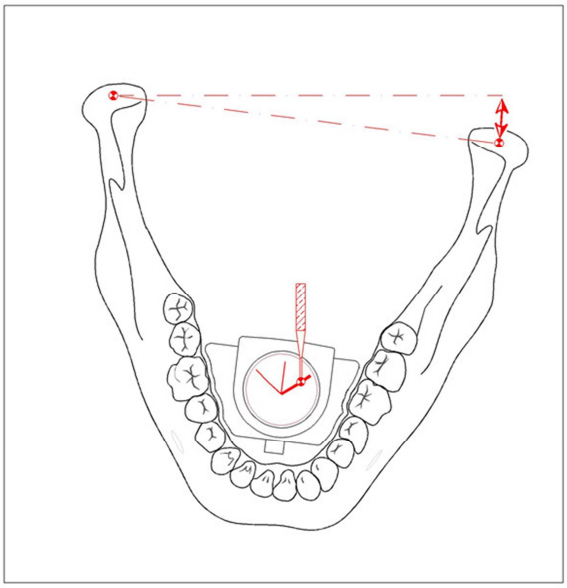

Abb. 9: laterotrusive Grenzbewegung nach rechts

Die Pfeilwinkelspitze stellt den retralsten Punkt dar, den der Patient, ohne zusätzliche Manipulation des Behandlers, selbstständig erreichen kann. Nach GERBER (1970 und 1971) liegt dieser Punkt retral der eigentlichen zentrischen Unterkieferposition. Mit Adduktionsbewegungen, die der Patient zusätzlich

ausführt, zeichnet der Stützstift mehrere Auftreffpunkte auf die Schreibplatte auf. Dieses Adduktionsfeld kann 0,5-1 mm dorsal der Pfeilwinkelspitze liegen.
An diesem Punkt wird der Stützstift auf der Schreibplatte fixiert. Zur Übertragung dieser Position in den Artikulator werden entweder Abformgips oder spezielle Elastomere verwendet, die zwischen Ober- und Unterkieferzahnreihe bzw. -bisswälle appliziert werden. Danach werden die Schablonen und Registrate aus dem Mund entnommen. Mit deren Hilfe wird das Unterkiefermodell, dem vorher schon gelenkbezüglich in den Artikulator eingebauten Oberkiefermodell, zugeordnet. Nach Entnahme aller Hilfsteile werden die Modelle bis zum ersten Zahnkontakt abgesenkt. Alle heute gebräuchlichen intraoralen Stützstiftsysteme sind Modifikationen, die auf das von MCGRANE entwickelte Besteck zurückgehen.
Hinweise auf mögliche Funktionsstörungen sind eine Abweichung der Pfeilwinkelspitze von der Medianebene oder Laterotrusionsbahnen, die im Seitenvergleich große Differenzen in Ausmaß und Richtung aufweisen.
Als Vorteile der intraoralen Stützstiftregistrierung werden folgende Punkte herausgestellt (KOLLER et al. 1983, KESHVAD und WINSTANLEY 2000):

1. punktförmiger, störungsfreier Kontakt des Stützstiftes ermöglicht eine präzise Muskelführung
2. durch Bewegungen wird die zentrale Unterkieferposition aufgezeichnet
3. die Aufzeichnung erlaubt Aussagen über den Funktionszustand von Muskeln und Gelenken
4. einfaches Bestimmen der vertikalen Relation durch verschiedene Stützstifthöhen
5. die Messergebnisse sind objektiver, weil Störeinflüsse durch Patient und Behandler minimiert werden

Nach UTZ et al. (1992) können bestimmte Probleme den Einsatz der Stützstiftregistrierung nachteilig beeinflussen. Eine große Zunge kann den Sitz der Registrierbehelfe behindern. Eine verspannte oder dyskoordinierte Kaumuskulatur schränkt geforderte Unterkieferbewegungen ein. Unterschiedliche Ergebnisse sind zu erwarten, wenn sich der Kaudruck nicht kontrollieren lässt. Unterschiedliche Kopfhaltungen sind zu vermeiden. Der

unerfahrene Behandler kann methodische Fehler begehen. So kommt es bei zu großer Bisssperrung zu einer anterokaudalen Kondylusverlagerung. Der Verschlüsselungspunkt der Gelenkzentrik wird falsch festgelegt, oder die Position des Schreibstiftes ist nicht richtig eingestellt. Ebenso beeinflusst keine oder unzureichende Vorbehandlung bei funktionsgestörten Patienten möglicherweise das Registrierergebnis.

Als Weiterentwicklung dieser mechanischen intraoralen Stützstifttechnik entwickelte VOGEL 1993 das IPR®-System (damals: **I**ntraoral **P**ressuredependent **R**egistration, heute: **I**ntraoral **P**rozess **R**egistration).

Er hat experimentelle Studien zum Einfluss der Kaukraft bei der Kieferrelationsbestimmung durchgeführt und ein System entwickelt, bei dem in die Unterkieferregistrierplatte ein Sensor eingearbeitet ist. Elektronisch wird in Echtzeit an einem Computer die aktuelle Position des Stützstiftes während des Registriervorganges angezeigt. Es werden nur Registrierdaten berücksichtigt, die in einem Stützstiftdruckbereich von 10-30 N liegen. Das sollen genau die Kräfte sein, die beim Kauen im Kiefergelenk nach kranial gerichtet sind (JÜDE et al. 1990 und 1991, VOGEL et al. 1990).

In die in der Höhe regulierbare Stützstiftspitze ist eine rollende Kugel eingearbeitet, die dem neuromuskulären System während der Registrierung wenig Widerstand entgegen bringt. Das Sensorkabel, mit einer Dicke von 0,26 mm hat nur einen geringen Einfluss auf die Kiefersperrung während der Aufzeichnung. Durch den Stützstift ist eine minimale Sperrung von 0,5 mm und dann in Schritten von jeweils 0,5 mm aufwärts möglich. Vom Behandler ist eine Stützstifthöhe zu wählen, die eine interferenzfreie, zweidimensionale Aufzeichnung der Unterkieferbewegungen in der horizontalen und sagittalen Ebene bei minimaler Sperrung erlaubt (DELBACH 2005).

Die Software zur Auswertung der IPR®-Registrate hat sich auch wesentlich geändert. So hat THEDERAN (2000) die Messungen mit einer Software (Version 1.81) ausgewertet, der ein mathematischer Algorithmus zugrunde lag.

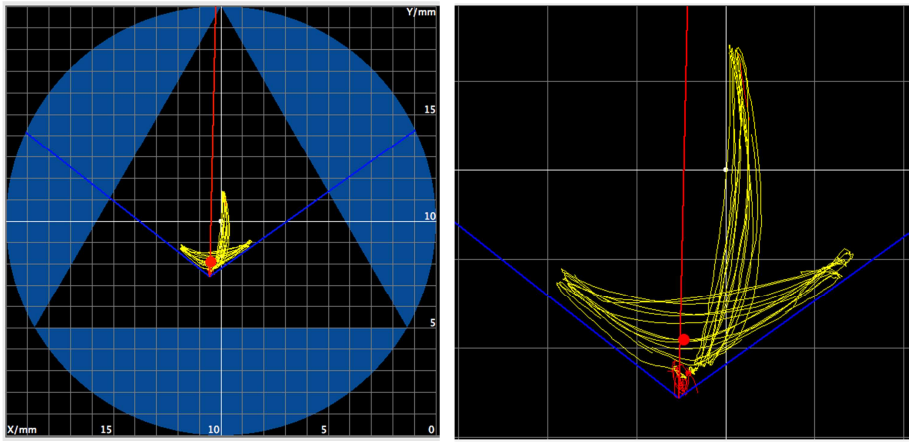

Abb. 10: frühere IPR®-Softwareversion noch mit mathematischer Pfeilwinkelauswertung, rechts in Vergrößerung, ein graues Kästchen entspricht 1 mm^2

Wie in Abb. 10 ersichtlich, wurde vom Behandler der Punkt der forcierten retralen Kontaktposition markiert und dann manuell die Schenkel (blau) des Pfeilwinkels festgelegt. Dann berechnet das System die Winkelhalbierende (rot). Der Behandler legt den Punkt der neuromuskulären Kontaktposition auf der Winkelhalbierenden fest (in Abb. 10 nicht dargestellt). Das System ermittelt die „optimale habituelle Relation“ (roter Punkt auf der Winkelhalbierenden) durch eine mathematische Streckenhalbierung zwischen forcierter retraler- und neuromuskulärer Kontaktposition (IPR®-Handbuch 2006). Bei allen Versionen werden nur Unterkieferbewegungen zwischen 10-30 N aufgezeichnet.

Ab 2005 entwickelte MILLION (MILLION 2011, MILLION und RAHNENFÜHRER 2002-2007 und 2007) das IPR®-System bis zur Softwareversion 6.0 weiter. Er optimierte mit RAHNENFÜHRER das Vorbehandlungskonzept und modifizierte die Vorgehensweise während der Registrierung der zentrischen Kondylenposition.

Bei der in dieser Studie verwendeten Software (Version 6.0) sieht der Patient auf dem Monitor links und rechts zwei gleichgeschaltete Kraftbalken, an denen er sich vor der Pfeilwinkelaufzeichnung auf den entsprechenden „Kaudruck“ (Zielbereich ist grün dargestellt) einrichten kann. Die IPR®-Software ermöglicht am Monitor eine Vergrößerung der aufgezeichneten Registrierbahnen. Hier wird auf die manuelle Einzeichnung des Pfeilwinkels und damit auch der Winkelhalbierenden verzichtet. Es ist in die Software kein mathematischer

Algorithmus zur Berechnung des IPR®-Punktes integriert. Vom Behandler wird der Punkt der gelenkbezüglichen Zentrallage individuell festgelegt. Dieser Verschlüsselungspunkt wird dann manuell auf einem Kreuzmesstisch auf Sensordummys übertragen und diese dann zur Verschlüsselung wieder intraoral plaziert. Die genaue Beschreibung der Messdurchführung und Auswertung der IPR®-Messungen ist im Kapitel 3.5. IPR®-Registrat aufgeführt.

Mit einer noch neueren Software-Version IPR® 2012 besteht wieder die Möglichkeit, den Pfeilwinkel mit seiner Winkelhalbierung einzuzeichnen. Der Verschlüsselungspunkt wird jedoch nicht berechnet, sondern weiterhin vom Anwender festgelegt.

Der Hersteller des IPR®-Systems gibt eine Auflösungsgenauigkeit des Sensors bei der Kraftmessung von 0,01 N und bei der Lagebestimmung von 0,01 mm an. Bedingt durch die Rasterung des Monitors und der notwendigen maßstäblichen Verkleinerung soll in der Anzeige eine Auflösung lateral (x-Richtung) von 0,05 mm und sagittal (y-Richtung) von 0,07 mm erreicht werden.

So kam THEDERAN (2000) nach IPR®-Vermessung von 25 „gesunden“ Probanden zu dem Ergebnis, dass mit der älteren Softwareversion 1.81, mit mathematischem Algorithmus, die Punkte der empfohlenen therapeutischen IPR®-Position im Mittel 0,6 ± 0,6 mm weiter ventral und 0,8 ± 0,6 mm weiter caudal lagen als die habituelle Interkuspidationsposition.

LOSERT-BRUGGENER (2005) ermittelte ebenso mit der älteren IPR®-Software erfolgreiche Schienenpositionen, die im Gegensatz zur habituellen Interkuspidationsposition im Durchschnitt 1,8 mm weiter anterior lagen.

In einer weiteren Studie fand DELBACH (2005) mit dem älteren IPR®-System intraorale Verschlüsselungspunkte mit signifikanten Abweichungen von 1,5 mm ventral der Interkuspidationspositon bei nicht funktionsgestörten Probanden.

Im Jahr 2005 wurde das DIR®-System (Dynamics Intraoral Registration) mit einem ähnlichen Konzept entwickelt. Auch bei diesem System wird eine intraorale Stützstiftregistrierung unter einem vordefinierten Druck elektronisch in Echtzeit aufgezeichnet und kann dann im Anschluss am Computer ausgewertet werden.

Im Unterschied zu IPR® wird die ermittelte zentrische Kondylenposition auf einem elektronischen Kreuzmesstisch auf den Sensordummy übertragen. Die intraorale Fixierung der eingestellten Verschlüsselungsposition erfolgt bei DIR®

im Gegensatz zum IPR®-System unter dem gleichen Druck wie bei der Registrierung. Bei DIR® wird der Kopfumfang gemessen und dieser Wert bei der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition am Rechner berücksichtigt. Je größer der Kopfumpfang, desto weiter anterior soll dabei der Unterkiefer zur dorsalen Pfeilwinkelspitze auf Grund des größeren Gelenkspalts liegen.

KLITZSCHMÜLLER (2011) untersuchte die Reproduzierbarkeit, der mit dem DIR®-System gefundenen sogenannten DIR®-Positionen, vor und nach Therapie (3 Monate) mit einer Entspannungsschiene an 26 funktionsgesunden Probanden. Im Vergleich zur zentrischen Kondylenposition und zur maximalen Interkuspidationsposition lagen die Kondylen in der DIR®-Position am weitesten ventrokaudal. Auch zeigte die DIR®-Position vor und nach Schienentherapie die höchste Reproduzierbarkeit.

In einer Studie von DIETZEL und ZÖLLNER (2011) wurde die Reproduzierbarkeit von Zentrikregistraten auf Kunststoffplattenbasis, habituellen Wachsplattenregistraten und die Kieferrelationsbestimmung mit dem DIR®-Verfahren von zwei Untersuchern und zu zwei Zeitpunkten an 6 funktionsstörungsfreien, vollbezahnten Probanden untersucht. Es wurde bei allen Verfahren eine Abweichung zwischen habitueller Interkuspidationsposition und zentrischer Kondylenposition gefunden. In sagittaler und vertikaler Relation der Kondylen war die Reproduzierbarkeit bei allen Verfahren im Bereich von 0,01 mm bis 0,02 mm möglich. Zwischen beiden Untersuchern gab es bei den Registrierungen in keiner der drei Raumrichtungen signifikante Unterschiede. Die DIR®-Positionen der ersten Untersuchung waren reproduzierbarer als die der zweiten Untersuchung. Diese lagen im Mittel 0,04 mm weiter kranial, 0,02 mm weiter links- bzw. rechtslateral und 0,03 mm weiter posterior als 4 Wochen zuvor.

LINSEN et al. (2012) untersuchten den Einfluss verschiedener Registriertechniken auf die Kondylenposition und die elektromyographische Aktivität verschiedener Kaumuskeln bei 26 stomatognath gesunden Probanden mit einem Durchschnittsalter von 30,6 Jahren. In der DIR®-Position lagen die Kondylen signifikant weiter ventral als bei der Registrierung in manuell geführter zentrischer Kondylenposition (LINSEN et al. 2011).

Ein weiteres elektronisches Stützstiftregistrat-System (Centric Guide®, theratecc GmbH & Co. KG, Chemnitz, Deutschland) ist erst kürzlich auf den Markt

gekommen. Im Gegensatz zum IPR®- oder dem DIR®-System können mit diesem Gerät die Messung und die Verschlüsselung zur Registrierung in einem Schritt vorgenommen werden. (BARTHEL 2013) Mit diesem System gibt es bisher noch keine wissenschaftlichen Untersuchungen.

2.2.5. Kondylenpositionsanalyse

Die Messmethoden zur Kondylenpositionsanalyse unterteilten AHLERS und JAKSTAT (2009) in modellvermittelte indirekte und modellunabhängige direkte Methoden.

Bei den indirekten Methoden wird im Artikulator dreidimensional eine Referenzposition der Kondylen mit einer Position verglichen, die nach entsprechenden Registraten ermittelt wurde.

Die Referenzposition wird ermittelt, indem das Unterkiefermodell dem schädelbezüglich in den Artikulator eingebauten Oberkiefermodell in maximaler Interkuspidation oder in habitueller Okklusion zugeordnet wird.

Die Erfassung der Messwerte kann z.B. über mechanische Messuhren (JÄHNIG 1979), über eine Messoptik (KOHNO et al. 1988) oder über elektronische Wegaufnehmer erfolgen, die UTZ et al. (2002 und 2007) einsetzten.

Alle Registriergeräte weisen Systemfehler auf. Dazu merkt LOTZMANN (1999) an, dass die Geräte eine zu geringe räumliche Auflösung haben und nur indirekt die Möglichkeit besteht, die Verlagerungsstrecken koordinatengerecht auszumessen. Er bemängelt die fehlende Möglichkeit, die Artikulatorkondylen auf den individuellen Interkondylarabstand einstellen zu können.

Um diese Fehlerquellen weitgehend auszuschalten, entwickelte LOTZMANN den Temporo-Mandibular-Positions-Comparator (TMPC). Dieses Instrument ermöglicht optomechanisch eine berührungslose dreidimensionale Erfassung von Kondylenpositionverlagerungen. Zusätzlich soll eine Software rechnerische Fehlerkorrekturen der tatsächlichen Drehachse des Unterkiefers ermöglichen (LOTZMANN 1999).

In der vorliegenden Studie werden die ermittelten Kondylenpositionen mit dem Elektronischen Condylen-Positions-Messinstrument (eCPM®, Gamma Dental

GmbH, Klosterneuburg, Österreich) dreidimensional ausgemessen. Die genaue Funktionsweise dieses Gerätes ist im Kapitel 3.6. Kondylenpositionsanalyse mit dem eCPM® erklärt.

Es ist mit Ungenauigkeiten bei der Übertragung der Bissregistrate aus dem Mund auf die Modelle zu rechnen. So stellten VERGOS und TRIPODAKIS (2003) erhebliche Unterschiede verschiedener Bissregistriermaterialien in Bezug auf die Vertikalabweichung fest. Mit A-Silikonen wurden die genauesten Ergebnisse erzielt, wenn dieses Material auf den natürlichen Zahn zurückgesetzt wurde. Hier gab es Vertikalveränderungen im Mittel von 0,101 mm. Wurden die Registrate auf Modelle übertragen, kam es zu vertikalen Abweichungen im Mittel von sogar 0,5 mm. Auch ERIKSSON et al. (2002) beschreiben eine Vertikalanhebung bei Reposition der Registrate auf Modelle von 0,51 mm. Reponierte beschnittene Registrate verursachen eine signifikant höhere Vertikaldimension als in situ belassene (TRÖLTZSCH et al. 2006).

Nach UTZ et al. (2007) ist die Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspidationsposition deutlich besser als die der zentrischen Kondylenposition. Auch bedeuten natürlich vollbezahnte Kauflächen beim Patienten nicht, dass sich die Modelle dann schaukelfrei im Artikulator in Okklusion setzen lassen. An 81 stomatognath gesunden, vollbezahnten Probanden wurden die Modelle auf ihr „laterales Spiel“ untersucht. Bei 57% der Fälle waren Bewegungen der Modelle gegeneinander spürbar und sie ließen sich nicht eindeutig zuordnen. Der räumliche mediane Mittelwert der Gesamtverlagerung für das laterale Spiel lag bei 0,07 mm.

Die direkte Kondylenpositionsanalyse erfolgt mit der achsiographischen Methode. Bei den ersten Messsystemen kamen mechanisch-graphische Aufzeichnungsmethoden zum Einsatz, die inzwischen größtenteils durch elektronische Sensoren ersetzt wurden. Computergestützte Systeme bieten zahlreiche Vorteile. Die Messergebnisse sind in Datenbanken und Statistikprogrammen speicher- und nutzbar. Projektionsebenen sind beliebig wählbar und die Grafiken lassen sich zur besseren Auswertung in der Größe skalieren (KORDASS 2002). Für die Auswertung einer solchen elektronischen, dreidimensionalen Erfassung von Unterkieferpositionen ist die vorherige Bestimmung einer Referenz erforderlich. Die macht den Vergleich mit weiteren Messungen zu einem späteren Zeitpunkt nur bedingt möglich, weil eine

Referenzposition nach erneutem Anlegen der Messaparatur wieder neu bestimmt werden muss (LOTZMANN 1999, AHLERS und JAKSTAT 2009).

Sollen verschiedene Methoden der Bestimmung und Verschlüsselung der zentrischen Kondylenposition miteinander verglichen werden, ist dies intraoral sehr aufwendig und fehlerbehaftet. Um die Positionen miteinander zu vergleichen, werden die verschlüsselten Registrierbehelfe mit angelegtem Achsiographen gegeneinander ausgetauscht (BRÄUNIG 2012).

WINZEN und WEIHE (2008) stellten ein CAR-Kiefergelenkpositionierungsgerät für den Freecorder® Bluebox (Fa. Dental Innovation, Dortmund) vor, das optoelektronisch, berührungslos Unterkieferbewegungen mit einer Genauigkeit im 1/1000 mm-Bereich aufzeichnet. Dazu wird ein Unterkiefermessbogen paraokklusal am Patienten angelegt. Damit wird sowohl behandlergeführt, als auch ohne Manipulation am Patienten dreidimensional aufgezeichnet und ein Registrierprotokoll abgearbeitet. So kann eine zentrale Relation, habituelle Bissposition oder therapeutische Position ermittelt und diese einander gegenübergestellt werden. Beliebige Positionen können mit einem Registrat verschlüsselt werden. Die gefundenen Positionen können dann mehrfach auf ihre Reproduzierbarkeit hin überprüft werden, weil ein mehrfaches Verifizieren möglich ist. Die Einstellung der Zentrik soll dann mit einer Genauigkeit bis zu 1/100 mm möglich sein.

Wünschenswert wäre ein direkter Vergleich verschiedener Kondylenpositonen mittels bildgebender Verfahren, da dann auch die Lage des Unterkiefers zur Fossa articularis und zur bilaminären Zone berücksichtigt werden könnte. Erste Untersuchungen sind vielversprechend (LINSEN et al. 2014).

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglicht, die Lage des Kondylus gegenüber den ihn umgebenden Hart- und vor allem den Weichgewebsstrukturen mittels Schichtbildaufnahmen in verschiedenen Ebenen über ein statisches Magnetfeld von 1 bis 3 Tesla und hochfrequenten Impulsen zu bestimmen. Der hohe zeitliche und technische Aufwand sowie der Kostenfaktor erlaubt diesem Verfahren nur eine Ausnahmestellung bei der zahnärztlichen Diagnostik und Therapie. Die Indikation für ein MRT besteht, wenn kraniomandibuläre Dysfunktionen trotz Therapie persistieren, vor Kiefergelenkeingriffen und bei stetiger Zunahme von Bewegungseinschränkungen des Unterkiefers zur Differentialdiagnostik, z.B.

von Neoplasien, Rheuma oder degenerativen Erkrankungen des Kiefergelenks (PEROZ 2007).

Falls Repositionsschienen eingesetzt werden, kann die Lage des Diskus zum Kondylus verifiziert werden. Die Genauigkeit der Vermessung wäre für Vergleiche verschiedener Registriertechniken jedoch noch unzureichend (GRIETHE 2005).

Auch kann die MRT in der Regel nur in auf dem Rücken liegender Position angefertigt werden, was zu veränderten Unterkieferpositionen führen kann (CAMPOS et al. 1996, YAMAMOTO et al. 2009, VAN`T SPIJKER et al. 2011).

In einer aktuellen Untersuchung von LINSEN et al. (2014) wurde die Position der Kondylen nach verschiedenen Registrierungen erstmals mit einer MRT überprüft und in Relation zur Gelenkfläche und zur bilaminären Zone vermessen. Um die liegende Positionierung der gesunden Probanden bei der MRT auszugleichen und damit die Gefahr einer falschen Positionierung des Unterkiefers zu vermeiden, wurden alle Registrate mit tiefen Kauflächeneinbissen in ein elastisches Material gesichert. Mit dem elektronischen Stützstiftregistrat (DIR®) lag der Kondylus anterior der IKP so, dass der Abstand zwischen der Fossa und dem superioren Kondylenpol am geringsten und der retrodiscale Raum signifikant am größten waren. Nach einem Registrat in forcierter Retrusion lagen die Kondylen am weitesten posterior.

Auch Röntgenaufnahmen hat man in der Vergangenheit lange versucht zu optimieren, um die genaue Lage der Kondylen in der Fossa zu bestimmen. Lange Zeit galt die Aufnahmetechnik nach SCHÜLLER als Standard. Aber auch die neueren Orthopantomogramme (OPG) sind aufgrund der individuellen Besonderheiten der Patienten nicht in jedem Fall auswertbar (AHLERS und JAKSTAT 2007).

Röntgentechniken sind nicht geeignet zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition. Eine Vermessung im Computertomogramm (CT) oder Digitalem Volumentomogramm (DVT) würde eine Lagebestimmung des Kondylus erlauben, jedoch sprechen auch hier die Genauigkeit und die Strahlenbelastung gegen eine Anwendung zur alleinigen Lagebestimmung oder –vermessung des Kondylus.

Die Sonographie der Kiefergelenke ist noch zu ungenau für die Darstellung verschiedener Kiefergelenkstrukturen im Vergleich zur MRT und ist momentan noch nicht praxistauglich (GRIETHE 2005, STARKE und VON PIEKARTZ 2011).
Die Position der Kondylen kann zwar über bildgebende Verfahren bestimmt werden, jedoch sind diese auf Grund der Genauigkeit, ihres Aufwandes und der Strahlenbelastung (Röntgen, CT, DVT) nicht geeignet, verschiedene Registratpositionen miteinander zu vergleichen.

2.3. Validität und Reliabilität der zentrischen Registrierverfahren

Bis heute gibt es nicht „die allgemein anerkannte Methode“ zur statischen horizontalen Kieferrelationsbestimmung. Dies liegt auch in der Tatsache begründet, dass die Validität von Techniken kaum überprüft werden kann, ob die Lage des Unterkiefers in Registratposition wirklich der Definition der zentrischen Kondylenposition entspricht. In klinischen Studien wurden deshalb die Unterkieferpositionen nach Registrierung mit verschiedenen Registratmaterialien und -techniken miteinander bzw. mit der habituellen Interkuspidationsposition verglichen oder aber die Reproduzierbarkeit von Registrierungen durch verschiedene Untersucher bzw. nach Wiederholung zu unterschiedlichen Zeitpunkten.
In einer Studie von WEBER (2006) wurde die maximale Interkuspidationsposition mit der Position verglichen, die mit der intraoralen Stützstiftregistrierung ermittelt wurde. In 80% der Fälle war die Stützstiftposition weniger als 0,5 mm ventral gelegen, als die maximale Interkuspidationsposition. Zu 12% stimmten beide Positionen überein.
In einer Untersuchung von MCKEE (2005) wurden bei 11 Probanden Wachs-Registrate mit der bimanuellen Unterkiefermanipulationstechnik nach DAWSON durch drei Zahnärzte wiederholt. Danach wurden nach einstündiger Deprogrammierung, mittels eines speziellen Front-Jigs, weitere drei Male interokklusal mit einem Wachs registriert, indem die Probanden aufgefordert

wurden, ohne jegliche Manipulation aktiv gegen den anterioren Deprogrammierer zu beißen. In einem Toleranzbereich von 0,11 mm des Kondylenpositionsmessinstrumentes waren die drei passiven Registrate mittels DAWSON-Griff zu 100% identisch und stimmten mit dem aktiven Registrat nach neuromuskulärer Programmierung zu 97,7% überein.

1988 veröffentlichten KOHNO et al. Ergebnisse einer Studie, in der eine manuelle Checkbissregistrierung mit einem zentralen Stützstiftregistrat verglichen wurde. Die Stützstiftmethode lieferte eine mehr anteriore Position als die manuellen Registrate. Für die Praxis wurde deshalb die Checkbissregistrierung empfohlen.

UTZ et al. (2002) registrierten bei 81 vollbezahnten Probanden die zentrische Kondylenposition mit je 6 verschiedenen Verfahren bzw. Materialien. Die Registrate wurden dreidimensional mit elektronischen Messuhren im Kondylarbereich eines Messartikulators vermessen. Die beste Reproduzierbarkeit lieferten einfache Plattenregistrate aus Wachs (im Mittel 0,33 mm). Bei Kunststoffregistraten war die Reliabilität mit 0,44 mm im Mittel am geringsten. Stützstift-, Frontzahnreiter-, Zinnfolien und korrigierte Wachsregistrate zeigten Differenzen zwischen diesen Werten. In dieser Studie wurden keine signifikanten Abhängigkeiten der Reproduzierbarkeit von Verfahren, Materialien, Untersucher oder dem Geschlecht festgestellt.

In einer weiteren Studie von UTZ et al. (1992) wurde die Reliabilität der intraoralen Stützstiftregistrierung unter dem Einsatz verschiedener Verschlüsselungsmaterialien untersucht. Dieser Methode wurde auch wegen der nachgewiesenen Behandlerunabhängigkeit eine hohe Genauigkeit bescheinigt und deshalb als besonders sicher eingeschätzt.

LENTNER et al. (1997) untersuchten den Einfluss des Behandlers bei nicht funktionsgestörten Probanden. Dabei bestimmten sie die Abgleitbewegung der zentrischen Scharnierachse von der maximalen Interkuspidation in die zentrische Kondylenposition unter Führung von zwei Untersuchern. Die Positionen wurden optoelektronisch, dreidimensional mit paraokklusaler Achsiographie vermessen. In fast allen Raumrichtungen beider Gelenke wurden signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchern gefunden. Auch die intraindividuelle Reproduzierbarkeit fiel unterschiedlich aus. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die zentrische Kondylenposition eher eine vom Behandler

beeinflusste Größe zu sein scheint, als eine von physiologisch-anatomischen Gegebenheiten bestimmte Größe.

In einer Studie von ROGGENDORF und VOIGT (2008) wurde unter anderem der Einfluss von drei Behandlern auf die Auswertung von elektronischen Stützstiftregistraten, die in vier verschiedenen Körperpositionen (sitzend und halbliegend im Behandlungsstuhl, stehend und aufrecht sitzend im Orthas®-Orthoanalysestuhl) gemacht wurden, untersucht. Es wurden verschiedene Abweichungen in rechts-links lateraler als auch in ventro-dorsaler Richtung bei der Kondylenpositionsbestimmung in allen vier Körperpositionen gefunden. Die größten Abweichungen beider Koordinaten wurden in stehender (max. Abweichung lateral 0,9 mm und ventro-dorsal 0,6 mm) und die geringsten Abweichungen in aufrecht sitzender Position auf dem Orthas® (max. Abweichung lateral 0,3 mm und ventro-dorsal 0,4 mm) gefunden. Metrisch betrugen diese, je nach Position, bis zu knapp 1 mm.

THEDERAN (2000) analysierte bei funktionell nicht gestörten, füllungsfreien Probanden ohne vorherige kieferorthopädische Therapie, Differenzen zwischen statischen Wachsregistraten und dem intraoralen elektronischen Stützstiftregistrierung (IPR®) und der maximalen Interkuspidationsposition als Referenzposition. Die Messwertdifferenzen zwischen der Interkuspidationsposition und der Position, die mit den manuellen Checkbissen ermittelt wurden, ergaben keine statistisch gesicherten Unterschiede. Die mit dem IPR®-System ermittelten Werte wichen in sagittaler Richtung im Mittel um 0,6 mm nach ventral und vertikaler Richtung um ca. 0,8 mm nach caudal von der Referenzposition, der Interkuspidationsposition, ab. THEDERAN (2000) stellt einen Vergleich der Ergebnisse nach IPR®-Vermessung mit denen konventioneller Stützstifttechniken in Frage.

LINSEN et al. (2011) verglichen eine Position, die mit dem DIR®-System und eine mit einer manuellen Registriermethode ermittelten Position mit der maximalen Interkuspidationsposition. Dabei wurden signifikante Abweichungen in sagittaler, transversaler und vertikaler Richtung bei den Registraten mit dem elektronischen Stützstiftsystem festgestellt. Die DIR®-Position wurde im Mittel für den linken Kondylus 1,39 mm und für den rechten Kondylus 1,69 mm weiter ventral ermittelt. In direktem Vergleich zwischen verschiedenen Registriertechniken mit der IKP wurde die mehr anteriore Lage des Kondylus in

der DIR®-Position mit dem Magnetresonanztomogramm bestätigt (LINSEN et al. 2014).

DIETZEL und ZÖLLNER (2011) registrierten an vollbezahnten, funktionsgesunden Probanden zu zwei Zeitpunkten mit drei Registrierverfahren durch zwei Behandler die zentrische bzw. habituelle Relation. Kieferrelationsbestimmungen mit dem DIR®-Verfahren waren dabei ebenso reproduzierbar, wie manuelle Zentrikregistrate auf Kunststoffplattenbasis und habituelle Wachsplattenregistrierungen. Die Untersuchungen wurden von einem langjährig erfahrenen Zahnarzt und einem eher noch unerfahrenen Assistenzzahnarzt durchgeführt. Dabei unterschieden sich die Ergebnisse in keiner der drei Raumrichtungen signifikant in der Genauigkeit der Registrierung beider Zahnärzte. Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede in den drei Ebenen für das rechte bzw. linke Kiefergelenk. Die Untersuchungen mit dem DIR®-System wurden nach 4 Wochen noch einmal wiederholt. Hier stellte sich heraus, dass die Registrierungen der 1. Untersuchungsreihe signifikant reproduzierbarer waren als die der 2. Untersuchungsreihe. Im Durchschnitt wurde bei letzterer 0,04 mm weiter kranial, 0,02 mm weiter links- bzw. rechtslateral und 0,03 mm weiter dorsal registriert.

Bei einem Vergleich der zentrischen und habituellen Kieferrelationsbestimmung mit dem IPR®-System und klassischen GERBER-Stützstiftregistrat durch JORDAN (2002) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Methoden. Auch eine zweite Untersuchungsreihe drei Wochen später zeigte ebenfalls keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zum ersten Untersuchungstag. Allerdings merkt JORDAN an, dass auch bei großer Messpräzision zu unterschiedlichen Zeitpunkten häufig verschiedene Ergebnisse erzielt werden können. Dies sei möglicherweise auf die aktuell unterschiedliche physische und psychische Konstitution des Probanden zurückzuführen.

DELBACH (2005) verglich an 30 vollbezahnten, funktionell nicht gestörten Probanden die mit dem IPR®-System ermittelte Kondylenposition mit den Ergebnissen, die mittels String-Condylocomp (Fa. Dentron) erhaltenen Interkuspidationspositionen. Das IPR®-System lieferte Positionen, die 1-1,5 mm weiter anterior lagen. In Abhängigkeit von der Druckkraft bei der Kondylenpositionsanalyse konnte keine signifikante Verlagerung der

Scharnierachspunkte nachgewiesen werden. Ebenso waren geschlechtsspezifische Einflüsse nicht erkennbar.

2.4. Ziel dieser Studie

Da die Verschlüsselungspositionen in bisherigen Studien zum IPR®-System nach einem mathematischen Algorithmus bestimmt wurden, besteht das Ziel dieser Studie darin, die zentrischen Positionen zu überprüfen, die mit einer neuen Software ermittelt werden. Die IPR®-Registrierung wird mit einer konventionellen statischen Registriermethode an Probanden ohne craniomandibuläre Funktionsstörungen verglichen. Weiterhin sollen mit dieser Studie Aussagen zur Reliabilität der Messungen getroffen werden können.

Diese Untersuchung soll folgende Fragen beantworten:

1. Wie groß sind die Unterschiede bei der Kondylenposition im Vergleich beider Registrattechniken untereinander und im Vergleich zur habituellen Okklusion?

2. Wie ist die Reproduzierbarkeit der Registrierungen nach Wiederholung der Registrierung nach einer bestimmten Zeit?

3. Welche Vorteile bieten beide Methoden und welche Empfehlungen lassen sich für die tägliche Arbeit in der Zahnarztpraxis geben?

3. Material und Methode

3.1. Probanden und Zeitpunkt der Messungen

Die vorliegende Untersuchung entspricht den Prinzipien der Deklaration von Helsinki von 1973 zu Studien mit Menschen und erhielt ein positives Votum der Ethikkommission der Universitätsmedizin Greifswald (BB 75/10). Alle Probanden gaben nach einer umfassenden Aufklärung ihre schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme. Insgesamt wurden 15 Probanden (9 Frauen, 6 Männer) im Alter zwischen 21 und 31 Jahren in die Untersuchung einbezogen. Im Vorfeld wurde die allgemeine Anamnese, der zahnärztliche Befund (Zahnstatus, kieferorthopädischer Befund) und der Funktionsstatus nach dem Formblatt der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (www.dgfdt.de) durch einen erfahrenen Zahnarzt der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik Greifswald erhoben. Die Ein- und Ausschlusskriterien können der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien für die Probanden

Einschlusskriterien	**Ausschlusskriterien**
Alter zwischen 18 und 65 Jahren	Alter < 18 Jahre oder > 65 Jahre
Volllständige Bezahnung (Weisheitszähne dürfen fehlen)	
Keine craniomandibulären Dysfunktionen	Schmerzen- und/oder Einschränkungen der Kiefergelenke und /oder der Kaumuskultur
wenige (n<4) kleine (okklusale) Füllungen	Mehr als 3 Füllungen, große okklusale Restaurationen, Kronen
Keine Dysgnathie	
Im Vorfeld keine kieferorthopädische Therapie	abgeschlossene, abgebrochene oder laufende kieferorthopädische Therapie
Systemische Erkrankung mit Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens	Schlechter allgemeiner Gesundheitszustand

Die Registrierungen und Messungen erfolgten in der Zeit zwischen März 2011 und Januar 2012. Nach Befundaufnahme und Abformung wurde in der 2. Sitzung zunächst das Oberkiefermodell scharnierachsbezüglich in den Artikulator eingebaut und mit beiden Methoden (IPR® und handkontrolliertes statisches Registrat) Registrate genommen. Die Reihenfolge der Registrate wechselte zufällig zwischen den Probanden. Alle Registrierungen erfolgten entweder mittwochs oder freitags zwischen 14:00 und 16:00 Uhr. Eine Woche später wurde der Proband das zweite Mal mit beiden Methoden in zufälliger Reihenfolge registriert. Die Vermessung der Registrate erfolgte jeweils am gleichen Tag im Anschluss an die Registrierungen.

3.2. Herstellung der Modelle und Registratunterlagen

Beide Kiefer der Probanden wurden mit einem elastomeren Abformmaterial auf Polyetherbasis (Impregum®, 3M Espe Dental GmbH, Seefeld, Deutschland) abgeformt. Die Modelle wurden aus einem Spezialhartgips (ZEROstone®, Fa. Dentona, Deutschland) 3 bis 6 Stunden nach der Abformung hergestellt. Das Oberkiefermodell wurde mit einem Split-cast-Sockel zur Überprüfung der Modellmontage versehen. Für den Einbau der Modelle in den Artikulator wurde ZEROarti® des gleichen Herstellers verwendet. Die Modelle wurden für die Herstellung der Registratunterlagen jeweils zwei Mal in Spezialhartgips dupliert (Dublisil®, Dreve Dentamid GmbH, Unna, Deutschland).

Die Registrierträger für das handkontrollierte Registrat nach der modifizierten Lauritzentechnik (Abbildung 11) wurden von Zahntechnikern der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Universitätsmedizin Greifswald aus speziellen lichthärtenden Kunststoffplatten (Primobyte®, Fa. Primodent, Bad Homburg, Deutschland) hergestellt. Zunächst wurden die Modelle in einen Modellfixator (Fino Dream II Artikulator, Fino GmbH, Bad Bocklet, Deutschland) entsprechend ihrer habituellen Okklusion zugeordnet.

Diese Platten werden entsprechend der Größe des Oberkiefermodells mit der dorsalen Begrenzung des zweiten Molaren ausgeschnitten und den Okklusalflächen des Oberkiefers innig ankonturiert. Danach wird das Modellfixatorunterteil geschlossen, um mit den Okklusalflächen der Unterkieferzähne die Registratplatten in Form und in einer Stärke von < 0,5 mm an der schwächsten Stelle weiter vorzukonturieren. Anschließend wird die Registratplatte im Randbereich gekürzt. Der Gaumenbereich wird nicht vom Registratträger bedeckt. Die Registratplatte schließt außen mit den vestibulären Zahnflächen ab. Im Bereich des Eckzahnes/1. Prämolaren werden Flügel angebracht, die ca. 3-5 mm die Vestibulärflächen überrragen, um die Platte während des Registrierens mit den Fingern einer Hand an die Oberkieferzahnreihe fixieren zu können. Anschließend wird der Registratträger, auf dem Oberkiefermodell verbleibend, in einem Lichtofen (Megalight ST, Fa. Megadenta, Radeberg, Deutschland) ca. 5 min ausgehärtet. Dann wird der Träger vom Modell abgenommen und abschließend alle Kanten mit einem Mandrell und Sandpapier der Körnung 600 abgerundet und geglättet.

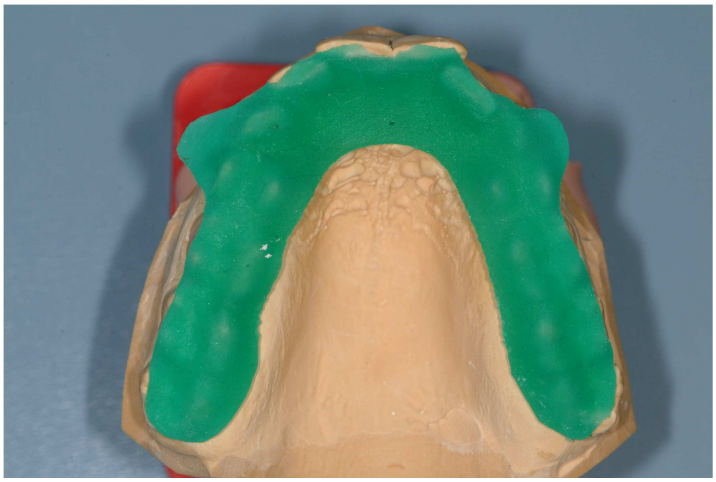

Abb. 11: Oberkiefermodell mit Registratträger für Handbissnahme

Die Anfertigung der Registrierschablonen für die IPR®-Vermessung erfolgte ebenfalls durch Zahntechniker der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universitätsmedizin Greifswald, die in einem für die Herstellung von IPR®-Schablonen zertifizierten Schulungslabor (Burdach Zahntechnik, Stralsund, Deutschland) ausgebildet wurden. Die Schablonen werden ebenfalls direkt auf dem zweiten, duplierten Superhartgips-Modellpaar hergestellt. Auf Grund der Kriterien der Probandenauswahl und dem Untersuchungsablauf konnte in dieser Studie auf ein Vorregistrat und eine arbiträre Gesichtsbogenübertragung mit nachfolgendem Einbau des Oberkiefermodells, wie von MILLION gefordert (MILLION 2011), vor der Schablonenherstellung verzichtet werden. Die Herstellung der IPR®-Schablonen erfolgte ebenfalls im Modellfixator.

Die Schablonen bestehen aus C-Plast (Candulor-Dental, Wangen, Schweiz). In die Unterkieferschablone ist ein Kunststoffhilfsteil, die Sensoraufnahme, so eingearbeitet, dass die Sensormitte transversal auf einer Linie liegt, die die mesialen Kontaktpunkte der unteren 1. Molaren mit den 2. Prämolaren verbindet und sagittal auf einer Linie durch den Inzisalpunkt liegt.

Im Vorfeld der Herstellung der Schablonen sind im Ober- und Unterkiefer die palatinalen bzw. lingualen Zahnäquatoren anzuzeichnen und die Zähne nach marginal auszublocken. Beide Schablonen stützen sich nur oberhalb der Zahnäquatoren dental ab. Dabei ist auf weitestgehend freie Okklusionsflächen zu achten. Die Schablone im Unterkiefer hat hinter den Frontzähnen eine Aussparung, durch die das Sensorkabel bei der Messung geführt wird.

Beide Modelle sind im Modellfixator in der Vertikalen so eingestellt, dass bei minimaler Sperrung gerade noch interferenzfreie Unterkieferbewegungen möglich sind. Über einen Stützstiftdummy wird dann die Oberkieferschablone mit der Stützstiftaufnahme der unteren Schablone zugeordnet.

Im Endergebnis sollte der Stützstift der Oberkiefer-Schreibplatte (Abb. 12) annähernd mittig und senkrecht auf den Sensor der Unterkieferplatte (Abb. 13) ausgerichtet sein (MILLION, IPR®-Schablonen Grundlagen).

Die Schablonen werden in der Größe den individuellen Gegebenheiten angepasst und dennoch im Voraus auf Minimalgröße ausgearbeitet. Weiterhin ist eine korrekte vertikale Ausrichtung Voraussetzung für eine geringstmögliche Sperrung der Okklusion. Alle Kanten der Registratunterlagen, die mit Weichteilen, z.B. der Zunge, in Berührung kommen, sind so abzurunden und zu glätten, dass möglichst keine Irritationen bei den eigentlichen Registrierbewegungen entstehen.

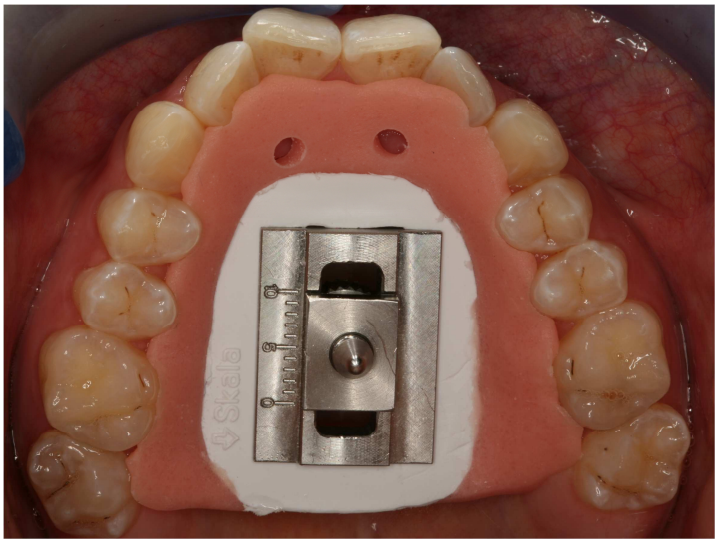

Abb. 12: IPR®-Schablone mit Stützstift OK

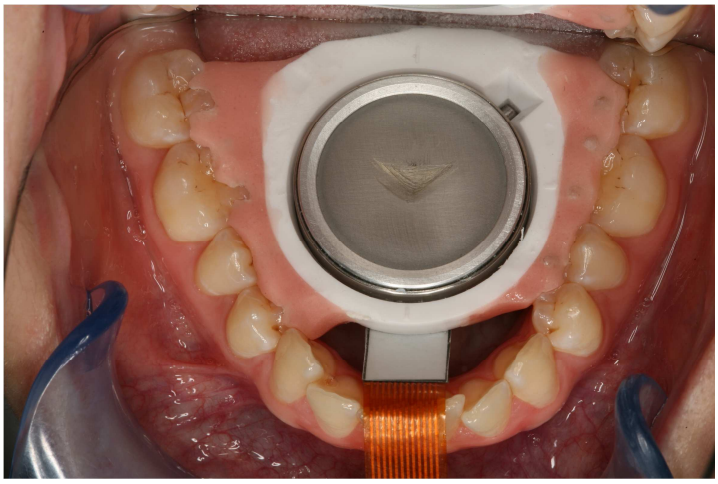

Abb. 13: IPR®-Schablone mit Sensor UK

3.3. Bestimmung und Übertragung der individuellen Scharnierachse in den Artikulator

Die individuelle Scharnierachse wurde durch einen Untersucher (erfahrener Zahnarzt, niedergelassen in eigener Praxis in Richtenberg, Mecklenburg-Vorpommern) mit dem Artex®-Reference-Gesichtsbogensystem (Girrbach Dental GmbH, Pforzheim, Deutschland) ermittelt.

Nachdem der obere Teil des Gesichtsbogens am Kopf angelegt und ausgerichtet wurde, wird mit dem Referenzpunktzeiger der vordere Referenzpunkt markiert. Anschließend wird an der Unterkieferzahnreihe ein okklusaler Registrierlöffel mit Greenbite Apple® (Fa. DETAX GmbH & Co. KG, Ettlingen, Deutschland) befestigt.

An diesem wird mittels Kreuzgelenk eine Querstange zum Gesichtsbogenoberteil parallel ausgerichtet und festgezogen. Sie dient als Träger für die Seitenarme mit den Achsnadeln. Am oberen Gesichtsbogen sind präaurikulär im Bereich der Kiefergelenke mechanische Flaggen befestigt, die mit Registrierpapier beklebt sind. Die Achsnadeln des Schreibbogens werden grob auf die Punkte der zu erwartenden Rotationsachse beider Kiefergelenksköpfchen vorjustiert. Diese Punkte sind durch den Untersucher unmittelbar vor dem Anlegen des Gesichtsbogens palpatorisch ermittelt worden.

Der Proband wird angewiesen, fortlaufende Öffnungs- und Schließbewegungen mit dem Unterkiefer derart durchzuführen, dass er die Öffnungsbewegung nicht größer als ca. 6-8 mm und die Schließbewegung bis zu einem behutsamen Kontakt mit dem okklusalen Registrierlöffel ausführt. Beschreibt bei diesen Unterkiefer-Bewegungen die Registrierspitze noch eine Bewegungsbahn auf dem Registrierpapier, ist durch die Stellschrauben solange in horizontaler bzw. vertikaler Richtung zu korrigieren, bis der Punkt gefunden ist, an dem die Registrierspitzen bei der oben beschriebenen Unterkiefer-Bewegung nur noch einen Punkt anzeigen, um den die Registrierspitze rotiert. Dieser Rotationsachspunkt der Kondylen ist für beide Gelenke nacheinander zu bestimmen und noch einmal zu überprüfen.

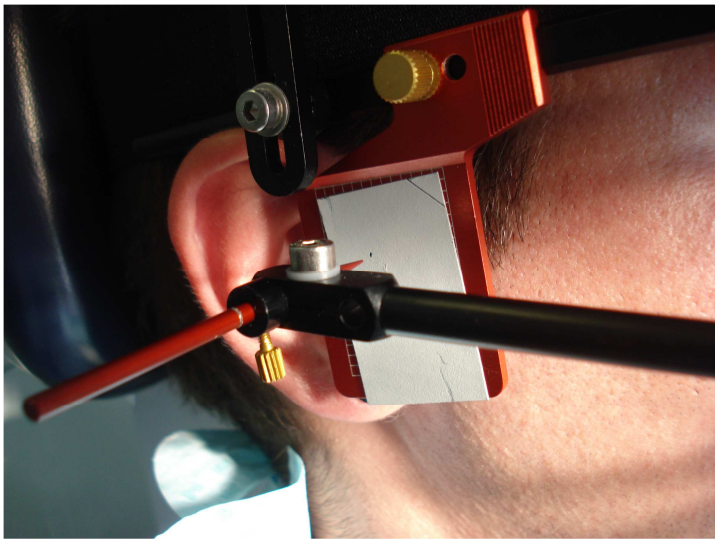

Abb. 14: Rotationsachspunkt des rechten Kondylus auf der Registrierflagge

Ist der Scharnier- (Rotations-) achspunkt eindeutig bestimmt (Abb. 14), werden die Registrierspitzen entnommen und gegen Achsübertragungshilfen getauscht, die für das spätere Einartikulieren genau auf den bestimmten Scharnierachspunkt für jedes Kiefergelenk individuell eingestellt und fixiert werden und am oberen Gesichtsbogenteil befestigt sind. Der untere Schreibbogen wird mit dem okklusalen Löffel jetzt entfernt.

Am Oberkiefer wird eine Bissgabel fixiert (Abb. 15), die mit dem oberen Gesichtsbogenanteil mittels Gelenk verbunden und vorsichtig nach vorne unten

abgenommen wird. Danach werden die roten Flaggen und die Nasionstütze entfernt.

Abb. 15: Gesichtsbogenoberteil und Bissgabel mit Watterollen am Oberkiefer fixiert, fertig zum Anlegen des Verbindungsgelenks

Nun erfolgt die Übertragung der ermittelten Scharnierachspunkte in den Artikulator Reference® SL. Zur Modellzentrierung im Artikulator wird ein Hilfslineal benötigt, mit dem der Abstand der Registrierspitzen am Gesichtsbogen gemessen wird. Es werden dann am Montagestand vorher bestimmte individuelle Werte mit dem Hilfslineal eingestellt. Nach dem Einsetzen des Gesichtsbogens in den Montagestand sind jetzt beide Achsen gleich weit eingeschoben. Die Bissgabel wird auf dem Stufensockel abgestützt und die Bissgabelstützen vorsichtig von unten an die Bissgabel geführt und fixiert. Eine Einstellschraube ermöglicht das Absenken des Oberteils, in das vorher die Referenzebeneneinstellungszunge eingesetzt wurde, bis diese gerade den Referenzpunktzeiger berührt. Beide, Zunge und Zeiger, werden jetzt abmontiert und ein Sockel gewählt, der eine möglichst dünne Gipsschicht für den Einbau in den Artikulator ermöglicht. Damit wird der mögliche Fehler einer Gipsexpansion minimiert. Nach entsprechender Aushärtezeit kann das Oberkiefermodell mit dem Sockel in den gleichgeschalteten Reference®-SL Artikulator zur Montage des Unterkiefermodells übertragen werden. Das Unterkiefermodell wird dem Oberkiefermodell in maximaler Interkuspidationsposition zugeordnet.

3.4. Handkontrolliertes Registrat nach der modifizierten Lauritzentechnik

Der Untersucher, ein erfahrener Zahnarzt der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universitätsmedizin Greifswald, positioniert den Patienten so auf dem zahnärztlichen Behandlungsstuhl (Fa. KaVo Esthetica 1066, Fa. KaVo Dental, Biberach, Deutschland), dass sein Oberkörper weitestgehend aufrecht und der Kopf an der Kopfstütze so angelehnt ist, dass die Okklusionsebene möglichst parallel zum Fussboden verläuft.

Für das handkontrollierte Registrat wird zuerst die Registratplatte am Oberkiefer auf Passgenauigkeit (fester Sitz ohne Kippeln, eindeutige Zuordnung) überprüft. Bei unsicherem Sitz werden die Höckerimpressionen mit Temp-Bond (Fa. Kerr GmbH, Rastatt, Deutschland) verfeinert. Falls die Registratplatte danach auf dem Modell schaukelt, ist ein Modellfehler sehr wahrscheinlich und die Abformung des Oberkiefers muss wiederholt werden. Die interokklusale Sperrung durch den Registratträger sollte möglichst klein sein. Falls beim Schließen des Unterkiefers ein einseitiger Vorkontakt auf dem Registratträger bemerkt wird (Prüfung mit Okklusionsfolie) oder der interokklusale Abstand im Seitenzahngebiet größer als 1 mm ist, werden diese Kontakte mit einer Fräse auf dem Träger reduziert und gleichzeitig die Sperrung verkleinert. Nach Entnahme des Registratträgers fixiert der Proband mit den mittleren Schneidezähnen ca. 2 Minuten eine Watterolle, um ihn von seiner gewohnheitsmäßig eingenommenen Schlussbissposition zu entwöhnen.

Zur Registrierung der zentrischen Unterkieferposition wird die Unterseite der Registratplatte beidseits in den Regionen der ersten Molaren und der Eckzähne, mit einigen Tropfen Aluwax (Fa. Moyko, USA) beschickt, welches dafür über einer Flamme erwärmt wird. Die Watterolle wird entnommen und der Patient wird gleichzeitig aufgefordert, den Mund geöffnet zu halten. Die Registratplatte wird auf die Oberkiefer-Okklusalflächen gelegt und mit der linken Hand fixiert. Die rechte Hand umfasst mit Zeige- und Mittelfinger das Kinn. Der Daumen wird drucklos auf die Labialflächen der Unterkiefer-Frontzähne gelegt. Dann wird der Proband gebeten, vorsichtig die Seitenzähne zusammenzuführen und sofort wieder zu öffnen. Diese Bewegung wird so lange kontrolliert, bis der Untersucher eine reine Rotationsbewegung ohne Latero- oder Protrusionen fühlt. Dann wird

der Patient sofort aufgefordert, vorsichtig zusammenzubeißen. (Abb. 16) Eckzähne und Molaren des Unterkiefers gleiten in das noch weiche Aluwax und hinterlassen dort entsprechende Impressionen. Mit einem Wasser-Luft-Spray wird bei geschlossenem Unterkiefer das Aluwax gehärtet. Danach wird die Registratplatte entnommen und mit dem Luftpuster getrocknet.

Abb. 16: Handkontrolliertes Registrat nach modifizierter Lauritzentechnik

Die Höcker- bzw. Inzisalspitzen des Unterkiefermodells werden auf die entstandenen Impressionen aus Aluwax gesetzt und auf eindeutigen Sitz kontrolliert. Falls das Unterkiefermodell kippelt, wird das Registrat entweder verfeinert oder wiederholt. Wenn das Modell dann immer noch kippelt, ist ein Modellfehler sehr wahrscheinlich und die Abformung des Unterkiefers und die Modellherstellung müssen wiederholt werden.

3.5. IPR®-Registrat

Der Untersucher ist niedergelassener Zahnarzt mit mehrjähriger Erfahrung im Umgang mit dem IPR®-System. Die Positionierung des Probanden erfolgt im Gegensatz zur manuellen Registrierung auf dem OrthaS®-Orthoanalysenstuhl nach JONAS. Der Proband sitzt danach auf einer festen, waagerechten Sitzfläche, die in der Höhe individuell angepasst wird (Abb. 17).

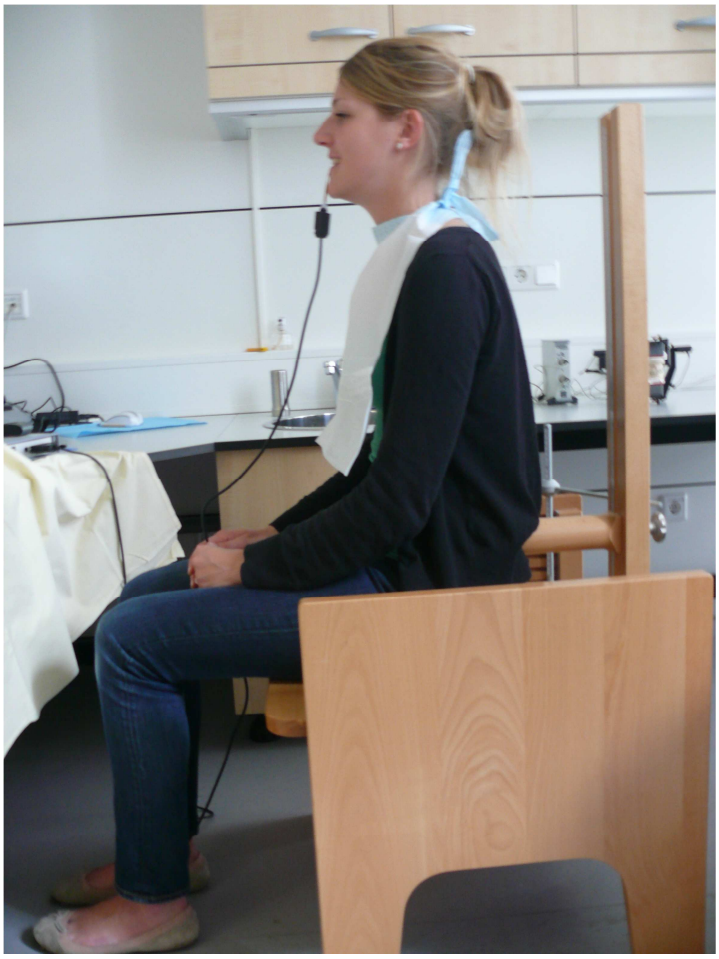

Abb. 17: Sitzposition auf dem OrthaS® nach JONAS

Die Füße des Probanden sollen danach sicher, fest und voll auf dem Boden, die Knie zu den Oberschenkeln annährend im rechten Winkel stehen und der Proband bewusst aufrecht sitzen. Dorsal wird das Kreuzbein gegen eine in der Höhe variierbare Stütze gelagert. Die Hände liegen entspannt auf den Oberschenkeln. Ca. 1,5 m vor dem Probanden ist in dessen Augenhöhe ein Computermonitor mit der IPR®- Benutzeroberfläche aufgestellt.

Registriert und ausgewertet wird mit der neuen IPR®-Softwareversion 6.0, die MILLION 2010 entwickelte.

Vor der Registrierung wird dem Probanden Gelegenheit gegeben, sich an die Registrieranordnung und die intraoralen Schablonen zu gewöhnen. Der Untersucher prüft die sagittale und transversale Bewegungsfähigkeit des Unterkiefers. Die Bewegungen werden manchmal durch die Oberkiefer Front- oder Eckzähne begrenzt. Dies führt aber nur zu kleineren Pfeilwinkelregistraten, die sich aber dennoch durch die elektronischen Vergrößerungsmöglichkeiten

auswerten lassen. Die Stifthöhe wird unter vorgenannter Bedingung auf minimale Höhe eingestellt, ohne dass die oberen Schneidezähne das Sensorkabel berühren. Es werden alle Bewegungen in einem Kraftintervall von 10-30 N aufgezeichnet, die innerhalb der aktiven Sensoroberfläche liegen.

Durch anfängliche mehrfache Öffnungs- und Schließbewegungen werden die ersten Kontaktpunkte ermittelt, ebenso lernt der Proband die Kraft einzuschätzen, die für die Messung nötig ist. Zwei identische Säulendiagramme links und rechts auf dem Monitor zeigen die momentane Druckkraft in Echtzeit an. Zunächst nähert sich der Proband mit langsamen Pro- und Retrusionsbewegungen der retralsten Position, die er muskulär erreichen kann und bleibt dann dort stehen. Diese Retralbewegung des Unterkiefers wird durch den Untersucher weiter bis zum sogenannten „individuellen Endgefühl“ des Probanden forciert. Der Hinterkopf des Probanden wird dabei an der Schulter des Untersuchers und die Stirn des Probanden wird mit der linken Hand gestützt (Abb. 18).

Abb. 18: Griff zur Erzielung der forcierten Retrusion bei IPR®-Vermessung

Der Untersucher führt den Probanden in die „forcierte retrale Position“. Anschließend wird der Proband aufgefordert, aktive Laterotrusionsbewegungen „möglichst weit hinten“ auszuführen, bis eine sogenannte „Wohlfühl-Laterotrusion“ zu erkennen ist. Auf eine abschließende Aufzeichnung von Adduktionspunkten wurde verzichtet, da es sich bei den Probanden um eugnathe Personen ohne funktionelle Störungen handelte.

Nach MILLION kommt es bei der Bestimmung der transversalen Bewegung darauf an, diejenige Laterotrusionsbahn zu ermitteln, die möglichst retral liegt und dennoch frei und ungezwungen ausgeführt wird. Erst nach Aufzeichnung der RKP-nahen Laterotrusionsbahn und anschließender Aufzeichnung weiterer Bahnen kann behandlerseits beurteilt werden, welche Laterotrusionsbahn die individuelle „Wohlfühl-Laterotrusion“ ist. „Die Kernmerkmale grenzwertig-retrale Laterotrusionsbahn und eine in der Mehrzahl der Fälle … davorliegende „Wohlfühl-Laterotrusion“ sind entscheidend für die Findung der optimalen Position bei der Bestimmung der Kieferrelation“ (MILLION 2011), (Abb. 19).

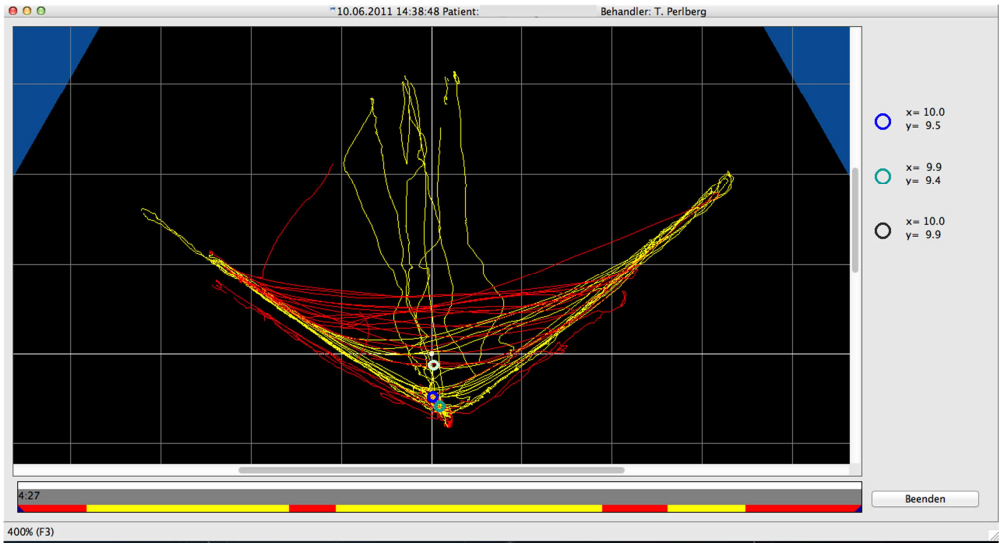

Abb. 19: IPR®-Software nach Aufzeichnung des Pfeilwinkelregistrates, der IPR®-Punkt, bzw. der individuelle Zentrikpunkt liegt ca. 0,5 mm anterior der forcierten retralen Kontaktposition

Der Punkt der individuellen Zentrik wurde vom Untersucher in diesem Beispiel mit den Koordinaten x=10,0 und y=9,9 festgelegt als der Schnittpunkt der aktiven retralsten Laterotrusionszone der Verdichtung mit der Pro- Retrusionslinie, die am Anfang aufgezeichnet wurde. Dieser Punkt variiert zwischen den Probanden und lag in dieser Studie zwischen 0,2 und 0,9 mm anterior der forcierten Retrusionsposition.

Im Kreuzmesstisch werden die ermittelten Koordinaten eingestellt und auf einen Sensordummy mit Fixierplättchen übertragen (Abb. 20).

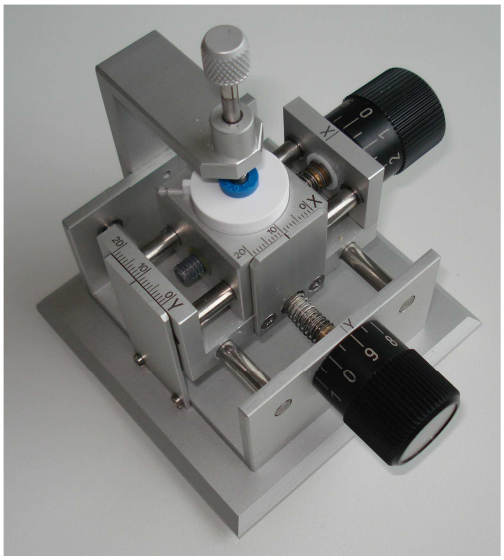

Abb. 20: Kreuzmesstisch mit Sensordummy und Fixierplättchen

Zur intraoralen Verschlüsselung gleitet der Oberkiefer-Stützstift in das Fixierplättchen des Sensordummys, welcher jetzt, statt des Sensors, in die Unterkieferschablone eingesetzt wird. Danach werden Ober- und Unterkieferschablone inklusive der Zähne mit einem Bissregistriersilikon (Kanibite Extrem®, Fa. KANIDENTA, Herford, Deutschland) verschlüsselt (Abb. 21) und anschließend beide Registratschablonen und das Verschlüsselungssilikon entnommen.

Abb. 21: Verschlüsselung mit Bissregistriersilikon im Mund

Mit Hilfe der Verschlüsselung (Silikon, Schablonen mit Stift und Sensordummy mit Fixierplättchen) können die Modelle entsprechend der Registrierung zur Vermessung in den Artikulator eingesetzt werden (Abb. 22).

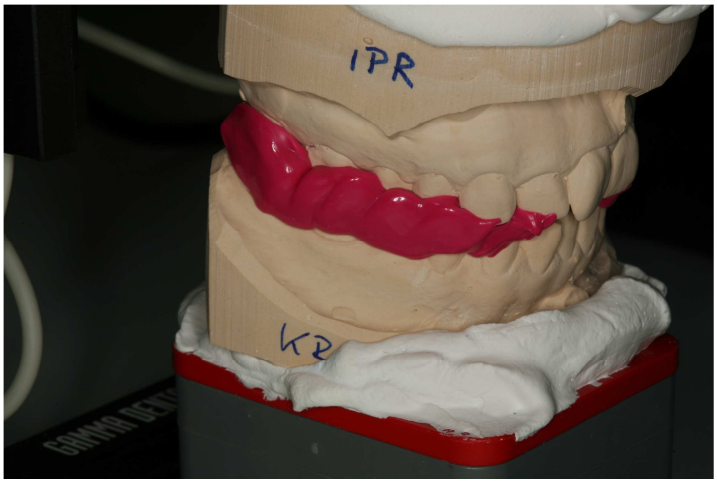

Abb. 22: Übertragung der Verschlüsselung in den Artikulator

3.6. Kondylenpositionsanalyse mit dem eCPM®

Das Elektronische Condylen-Positions-Messinstrument (eCPM®, Gamma Dental GmbH, Klosterneuburg, Österreich) ist ein Instrument zum gelenknahen Vergleich verschiedener Positionen von Modellen in einem Artikulator. Hierfür werden die Styli des elektronischen Achsiographiegerätes Cadiax Compact (Gamma Dental GmbH, Klosterneuburg, Österreich) an einem für diesen Zweck konstruierten Artikulatorunterteil, der in seiner Bauweise dem Reference® SL entspricht, montiert. Die Schreibplatten werden am Artikulatoroberteil befestigt und die beiden Messstyli werden in Position der eigentlichen Artikulatorkondylen positioniert. Die Lage beider Artikulatorkondylen kann so in einer Modellausgangsposition vermessen werden (0-Position) und mit jeder Lage der Artikulatiorkondylen in einer anderen Modellposition dreidimensional in Beziehung gebracht werden (Abb. 23).

Vor der Bestimmung der 0-Position ist überprüft worden, dass die Modelle ohne vorherige Adjustierung kippelfrei und sicher in maximaler Interkuspidationsposition zusammengesetzt werden können.

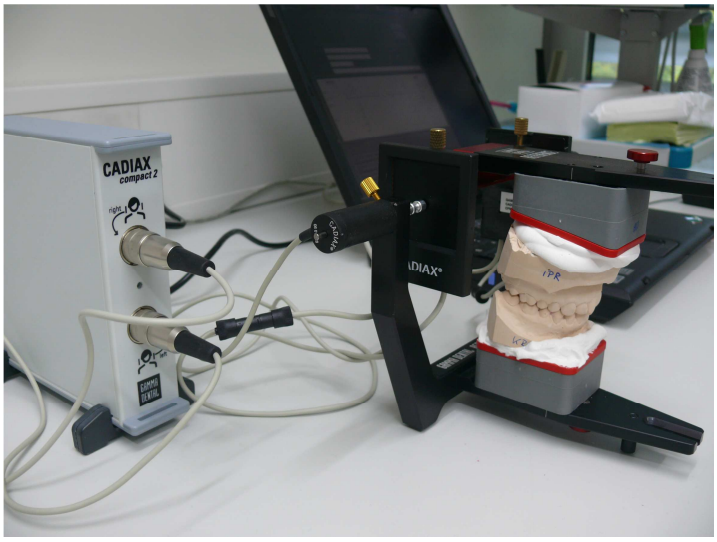

Abb. 23: Versuchsaufbau eCPM® in Nullposition

Die Differenzwerte der x-, y- und z- Achsen zeigen an, wie weit (in mm) und in welche Richtung (±) der jeweilige Kondylus von der Null-Position abweicht. Die Messgenauigkeit beträgt ± 0,01 mm (Abb. 24 und 26).

Abb. 24: Versuchsaufbau eCPM® mit Registrat

Der Ursprung des Koordinatensystems liegt in der Mitte zwischen den Kondylen auf einem Punkt, wo sich die Scharnierachse in der Ausgangsstellung (habituell zugeordneter Unterkiefer), mit der Median-Sagittalebene schneidet. Von diesem

Koordinatenursprung aus weisen positive Werte der sagittalen X-Achse nach anterior, der transversalen Y-Achse nach rechts und der vertikalen Z-Achse nach kranial und negative Werte in die entgegengesetzten Richtungen (X-posterior, Y-links, Z-caudal) (Abb. 25).

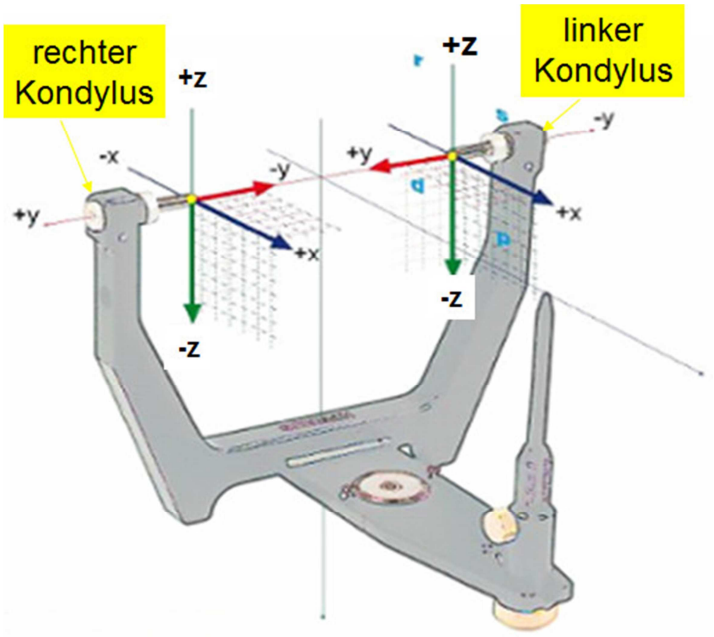

Abb. 25: Mögliche Lageveränderungen der Artikulatorkondylen nach Zuordnung der Modelle mittels Registrat in Relation zur Kondylenlage mit Modellen in habitueller Okklusion (= Ausgangsposition)

Die Programmoberfläche (Abb. 26) der eCPM®-Software stellt im mittleren Teil die gemessenen Daten grafisch und numerisch dar. Über die Programmsteuerung im unteren Teil wird nach Herstellerangaben die Messung von zwei zentrischen und einer habituellen Position ermöglicht. Die beiden zentrischen Positionen z.B. von zwei verschiedenen Zentrikregistraten werden automatisch gemittelt und dann die Differenz zur habituellen Interkuspidationsposition (IKP) der Modelle im Programm errechnet.

Da im vorliegenden Versuchsaufbau nur jeweils ein Mal pro Methode registriert wird und die IKP den Ausgangspunkt bilden soll, wurde die Reihenfolge der Einzelmessungen geändert. Zunächst wird das Oberkiefermodell zwei Mal in IKP dem Unterkiefer zugeordnet und im eCPM® vermessen. Danach wird das Oberkiefermodell mittels Zentrikregistrat dem Unterkiefer zugeordnet und dann

die dreidimensionale Änderung im Bereich beider Kondylen zum gemittelten IKP-Wert berechnet.

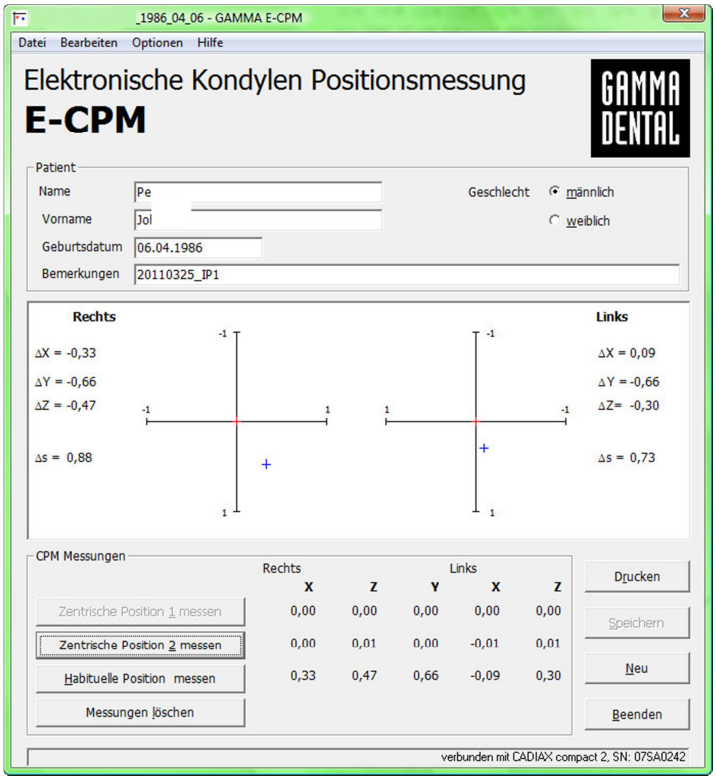

Abb. 26: Screenshot der eCPM®-Softwareoberfläche

Im Versuchsablauf werden nach Installation des CADIAX compact 2 (GAMMA GmbH, Klosterneuburg, Österreich) beide Modelle mittels der Split-Cast-Platten mit Ober- und Unterteil des Messartikulators verbunden. Das Oberkiefermodell wird in maximaler IKP auf das Unterkiefermodell gesetzt. Das Oberteil des Messartikulators wird mit leichtem Druck (ca. 3-4 N) der Fingerspitzen der linken Hand in vertikaler Richtung nach unten gegen das Unterkiefermodell fixiert. Diese Relation der Kiefer zueinander wird im Bereich der Kondylen als Referenzposition vermessen, in der alle Koordinaten auf Null (Koordinatenursprung) gesetzt sind. Danach wird das Oberkiefermodell erneut in IKP auf das Unterkiefermodell gesetzt und vermessen. Beide Werte werden in allen drei Raumrichtungen automatisch gemittelt. Im Anschluss wird zur Zuordnung beider Modelle gegeneinander eines der beiden Registrate verwendet. Beim handkontrollierten Registrat werden die Oberkieferhöckerspitzen bzw.

Inzisalkanten sorgfältig den Impressionen der Registratplatte und die Molarenhöcker- und Eckzahnspitzen des Unterkiefers den Aluwax-Impressionen zugeordnet. Wieder wird das im Artikulatoroberteil gesetzte Modell mit leichtem Druck (ca. 3-4 N) der Fingerspitzen der linken Hand in vertikaler Richtung nach unten gegen das Registrat und das Unterkiefermodell fixiert (Abb. 27). Jetzt erfolgt eine erneute Messung. Die Differenzen zum Mittelwert der ersten beiden Messungen in IKP werden durch die Software gespeichert und stehen so der statistischen Auswertung zur Verfügung. Dieser Versuchsablauf wird im Anschluss mit dem zweiten Registrat wiederholt.

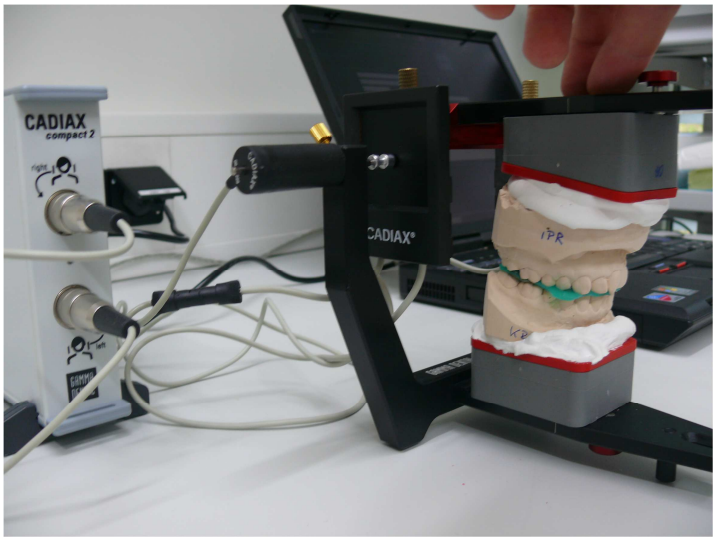

Abb. 27: Handkontrolliertes Registrat im eCPM® fertig zur Messung

3.7. Statistische Methoden

Die im eCPM® für jeden Probanden gemessenen Differenzen, zwischen der Artikulatorachse in habitueller Okklusion mit der Achse in den verschiedenen Registratpositionen, wurden mit dem Computerprogramm SPSS® für Windows™ Version 21 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) statistisch bearbeitet und analysiert.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte durch Angabe absoluter Zahlen oder Prozentsätze. Die Differenzwerte beziehen sich auf die Referenzposition, also die

in Scharnierachse eingestellte maximale Interkuspidationsposition, in der der Wert 0 in allen drei Raumrichtungen steht.

In der deskriptiven Statistik wurden entweder Mittelwerte, Standardabweichungen des Mittelwertes, Minimum und Maximum oder als Konfidenzintervall von 95% bzw. ein zweiseitiges Signifikanzniveau von α=0,05 angegeben. Zum Vergleich der verschiedenen zentrischen Registrierverfahren und zur Bestimmung der Reliabilität eines Verfahrens wurde die Intraklassen Korrelation (Intra-class correlation; ICC) gewählt. Hiermit wurde die Übereinstimmung von Ergebnissen zweier Untersucher/Verfahren in Bezug auf mehrere Probanden und von einem Untersucher, der zu verschiedenen Beobachtungszeitpunkten das gleiche Verfahren anwendet (Reproduzierbarkeit bzw. Reliabilität), miteinander verglichen.

Die ICC verbindet diese Aspekte in einer Maßzahl, dem Korrelationskoeffizienten. Dieser Koeffizient kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Zur Interpretation des ICC wurde die Einteilung nach BYRT (1996) gewählt (Abb. 28).

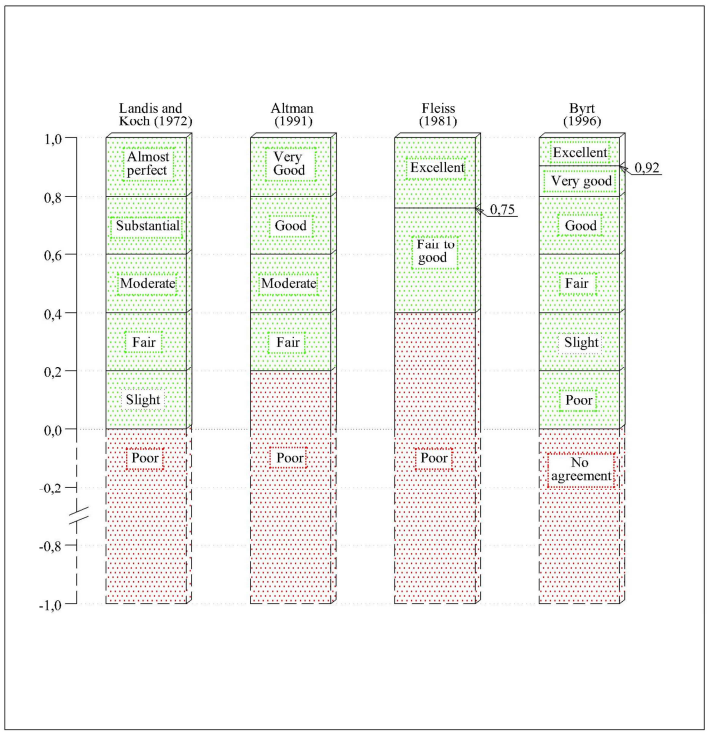

Abb. 28: Unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten des Korrelationskoeffizienten durch verschiedene Autoren (SZKLO und NIETO 2007)

4. Ergebnisse

4.1. Kondylenpositionen nach Hand- und IPR®-Registrat am ersten Messtag

Die Lage des linken und rechten Kondylus in der Sagittalebene für beide Registrierarten am ersten Messtag ist in Abbildung 29 dargestellt. Der Ursprung des Koordinatensystems ist die maximale Interkuspidationsposition (IKP). Die Abszisse gibt die Abweichungen in der dorso-ventralen Richtung und die Ordinate der kranio-kaudalen Richtung wieder. Bei keiner Messung kam es zu einer Übereinstimmung mit der IKP.

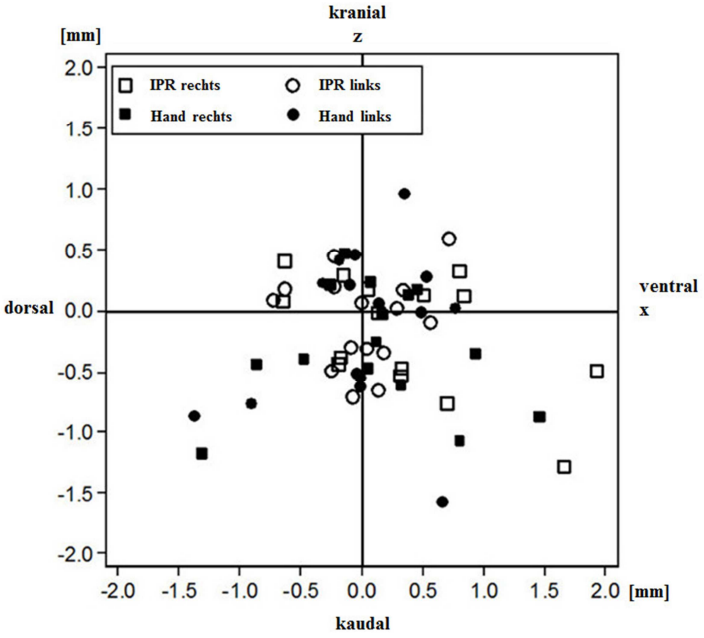

Abb. 29: Lage des linken und rechten Kondylus in der Sagittalebene für beide Registrierarten am ersten Messtag

Die Abbildung 30 zeigt die Lage der Scharnierachspunkte im Vergleich zur IKP in der Frontalebene für beide Messmethoden am ersten Messtag. Die Abszisse des Koordinatensystems gibt die Werte für die seitliche Verlagerung beider Kondylen wieder. Für den rechten Kondylus bedeutet rechts eine laterale und links eine mediale Position des Kondylus, für den linken Kondylus heißt rechts eine mediale und links eine laterale Position jeweils im Vergleich zur IKP. Die Ordinate spiegelt wiederum vertikale Verlagerung wider. Auch hier sind sowohl beim Handregistrat, als auch bei der IPR®-Methode Abweichungen in allen Quadranten zu verzeichnen. Eine Übereinstimmung mit der IKP gab es auch in der Frontalebene am ersten Messtag nicht.

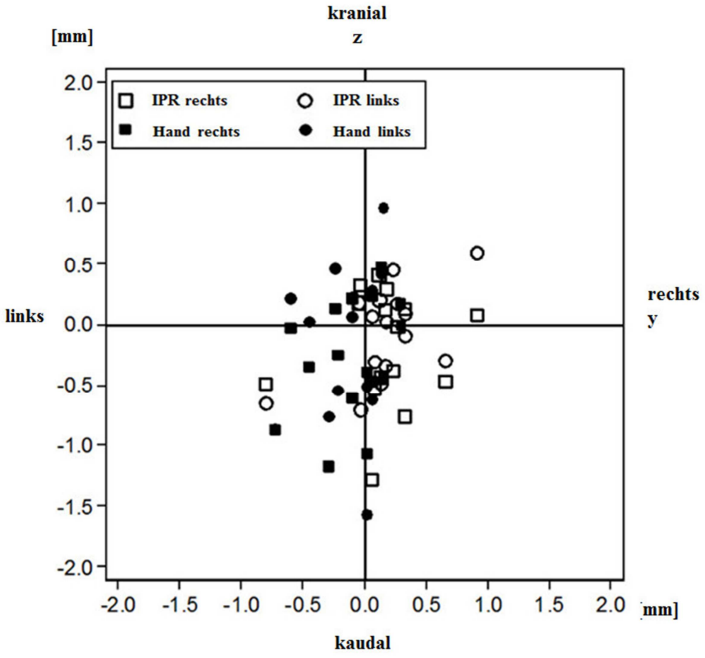

Abb. 30: Lage des linken und rechten Kondylus in der Frontalebene für beide Registrierarten am ersten Messtag

Die Häufigkeitsverteilung der Scharnierachspositionen mit beiden Registraten in Relation zur IKP, unterteilt nach rechtem und linkem Kondylus, in der Sagittalebene am ersten Messtag, ist der Tabelle 2 zu entnehmen. Es gab in keinem Fall eine Übereinstimmung mit der maximalen Interkuspidationsposition. Keine Raumrichtung zeigt ein Übergewicht in der Abweichung.

Tabelle 2: Häufigkeiten (n) der Verlagerungsrichtungen der Scharnierachspunkte beider Registrate in der Sagittalebene im Vergleich zur maximalen Interkuspitation am ersten Messtag

	Hand-Registrat		IPR®-Registrat	
	Rechter Kondylus	Linker Kondylus	Rechter Kondylus	Linker Kondylus
Richtung	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**
dorsokranial	2 (13)	4 (27)	3 (20)	4 (27)
dorsokaudal	3 (20)	5 (33)	2 (13)	3 (20)
ventrokranial	3 (20)	4 (27)	4 (27)	4 (27)
ventrokaudal	7 (47)	2 (13)	6 (40)	4 (27)
gesamt	15 (100)	15 (100)	15 (100)	15 (100)

Die Tabelle 3 gibt die Häufigkeit der Verlagerung der Scharnierachspunkte, die durch die Hand- und die IPR®-Registrierung ermittelt wurden, in der Frontalebene für beide Konylen getrennt am ersten Messtag wieder. Allein der linke Kondylus wurde beim IPR®-Registrat nie linkskranial registriert. Sonst zeigten beide Kondylen bei beiden Registriermethoden Abweichungen in allen Quadranten der Frontalebene am ersten Messtag. Bei keinem Probanden ergab sich bei beiden Methoden eine Übereinstimmung mit der maximalen Interkuspidationsposition.

Tabelle 3: Häufigkeiten (n) der Verlagerungsrichtungen der Scharnierachspunkte beider Registrate in der Frontalebene im Vergleich zur maximalen Interkuspitation am ersten Messtag

	Hand-Registrat		**IPR®-Registrat**	
	Rechter Kondylus	**Linker Kondylus**	**Rechter Kondylus**	**Linker Kondylus**
Richtung	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**
rechtskranial	3 (20)	4 (27)	4 (27)	8 (53)
rechtskaudal	4 (27)	3 (20)	7 (47)	4 (27)
linkskranial	2 (13)	5 (33)	3 (20)	0 (0)
linkskaudal	6 (40)	3 (20)	1 (7)	3 (20)
gesamt	15 (100)	15 (100)	15 (100)	15 (100)

Die Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle der Differenzen zwischen den Scharnierachspositionen mit beiden Registraten und der maximalen Interkuspitation am ersten Messtag sind für alle drei Raumrichtungen in der Abbildung 31 dargestellt.

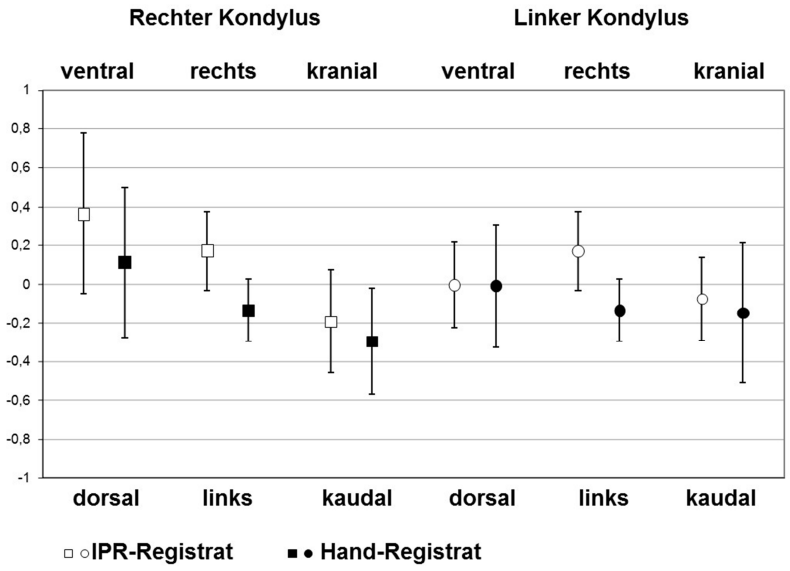

Abb. 31: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle der Differenzen zwischen den Scharnierachspositionen mit beiden Registraten und der maximalen Interkuspitation am ersten Messtag

In Tabellen 4 und 5 sind Messwerte für das Hand und IPR®-Registrat numerisch aufgelistet.

Tabelle 4: Differenzen zwischen den Scharnierachspositionen bei maximaler Interkuspitation und mit dem Handregistrat am ersten Messtag (Angaben in mm)

N=15	Mittel-wert	Standard-abweichung	Median	Maximum	Minimum	95% Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Untergrenze
sagittal rechts	0,11	0,7	0,12	1,46	-1,32	0,5	-0,27
transversal rechts	-0,13	0,29	-0,1	0,29	-0,73	0,03	-0,29
vertikal rechts	-0,29	0,5	-0,35	1,64	0,47	-0,02	-0,57
sagittal links	-0,01	0,57	-0,01	0,77	-0,38	0,31	-0,32
transversal links	-0,13	0,29	-0,1	0,29	-0,73	0,03	-0,29
vertikal links	-0,15	0,65	0,02	0,97	-1,57	0,21	-0,51

Tabelle 5: Differenzen zwischen den Scharnierachspositionen bei maximaler Interkuspitation und mit dem IPR®-Registrat in den drei Raumrichtungen am ersten Messtag (Angaben in mm)

N=15	Mittel-wert	Standard-abweichung	Median	Maximum	Minimum	95% Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Untergrenze
sagittal rechts	0,36	0,74	0,32	1,93	-0,65	0,78	-0,05
transversal rechts	0,17	0,37	0,17	0,91	-0,8	0,38	-0,03
vertikal rechts	-0,19	0,48	-0,02	0,41	-1,28	0,07	-0,45
sagittal links	0	0,4	0	0,71	-0,73	0,22	-0,22
transversal links	0,17	0,37	0,17	0,91	-0,8	0,38	-0,03
vertikal links	-0,07	0,38	0,02	0,6	-0,7	0,14	-0,29

4.2. Kondylenpositionen nach Hand- und IPR®-Registrat am zweiten Messtag

Abb. 32 zeigt die Streuung der Messwerte bei beiden Messverfahren beider Kiefergelenke in der Sagittalebene am zweiten Messtag. Kein Messergebnis stimmte mit der maximalen Interkuspidationsposition überein.

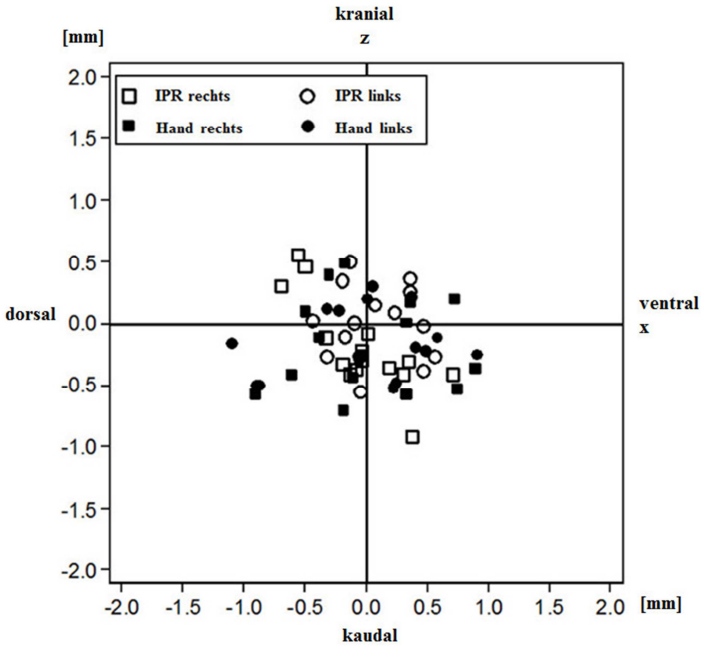

Abb.32: Lage des linken und rechten Kondylus in der Sagittalebene für beide Registrierarten am zweiten Messtag

Die Ergebnisse des zweiten Messtages in der Frontalebene sind in Abbildung 33 dargestellt. Am zweiten Messtag gab es keine Übereinstimmung der Registrate mit der maximalen Interkuspidationsposition.

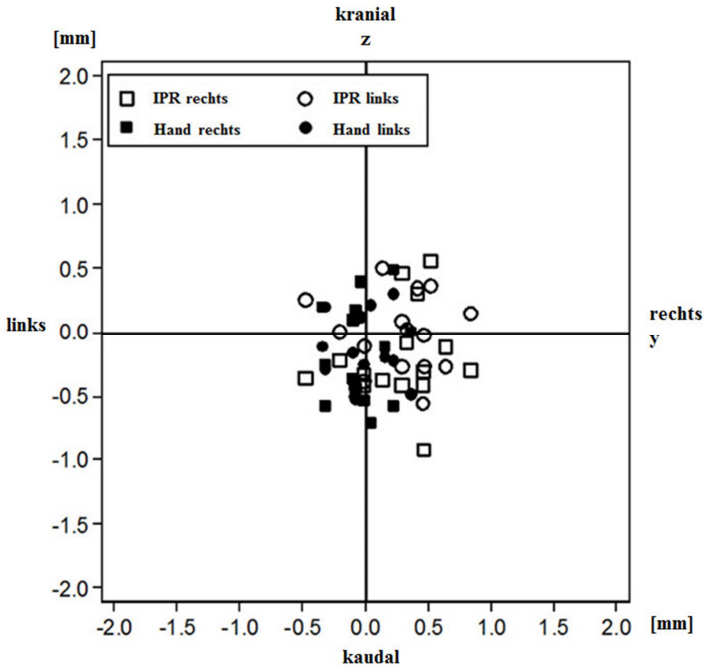

Abb. 33: Lage des linken und rechten Kondylus in der Frontalebene für beide Registrierarten am zweiten Messtag

Die prozentuale Häufigkeit der Verlagerung der gemessenen Scharnierachspunkte unterteilt nach Hand- und IPR®-Registrat für die Sagittalebene am zweiten Messtag in den einzelnen Quadranten zeigt Tabelle 6. Bei der IPR®-Registrierung gab es keine Verlagerung des Kondylus nach ventrokranial. Es wurden bei beiden Messmethoden beide Gelenke in allen Quadranten der Sagittalebene registriert. Eine Übereinstimmung mit der maximalen Interkuspidationsposition gab es nicht.

Tabelle 6: Häufigkeiten (n) der Verlagerungsrichtungen der Scharnierachspunkte beider Registrate in der Sagittalebene im Vergleich zur maximalen Interkuspitation am zweiten Messtag

	Hand-Registrat		**IPR®-Registrat**	
	Rechter Kondylus	**Linker Kondylus**	**Rechter Kondylus**	**Linker Kondylus**
Richtung	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**
dorsokranial	3 (20)	2 (13)	3 (20)	4 (27)
dorsokaudal	6 (40)	4 (27)	6 (40)	4 (27)
ventrokranial	3 (20)	3 (20)	0 (0)	4 (27)
ventrokaudal	3 (20)	6 (40)	6 (40)	3 (20)
gesamt	15 (100)	15 (100)	15 (100)	15 (100)

Der Tabelle 7 ist die prozentuale Häufigkeit der Verlagerungsrichtung der Kondylen in Frontalebene am zweiten Messtag für beide Registrattechniken zu entnehmen. Es gab keine Übereinstimmung der Messwerte mit der maximalen Interkuspidationsposition. Beide Registrierverfahren lieferten Messergebnisse für beide Gelenke in allen Quadranten der Frontalebene. Eine Ausnahme bildete der rechte Kondylus, der mit der IPR®-Technik nie linkskranial abwich.

Tabelle 7: Häufigkeiten (n) der Verlagerungsrichtungen der Scharnierachspunkte beider Registrate in der Frontalebene im Vergleich zur maximalen Interkuspitation am zweiten Messtag

	Hand-Registrat		**IPR®-Registrat**	
	Rechter Kondylus	**Linker Kondylus**	**Rechter Kondylus**	**Linker Kondylus**
Richtung	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**	**n (%)**
rechtskranial	2 (13)	2 (13)	3 (20)	6 (40)
rechtskaudal	3 (20)	3 (20)	8 (53)	5 (33)
linkskranial	4 (27)	3 (20)	0 (0)	2 (13)
linkskaudal	6 (40)	7 (47)	4 (27)	2 (13)
gesamt	15 (100)	15 (100)	15 (100)	15 (100)

In der Abbildung 34 sind die Abweichungen der Messwerte für die Hand- und IPR®-Registriermethode für den zweiten Messtag dargestellt.

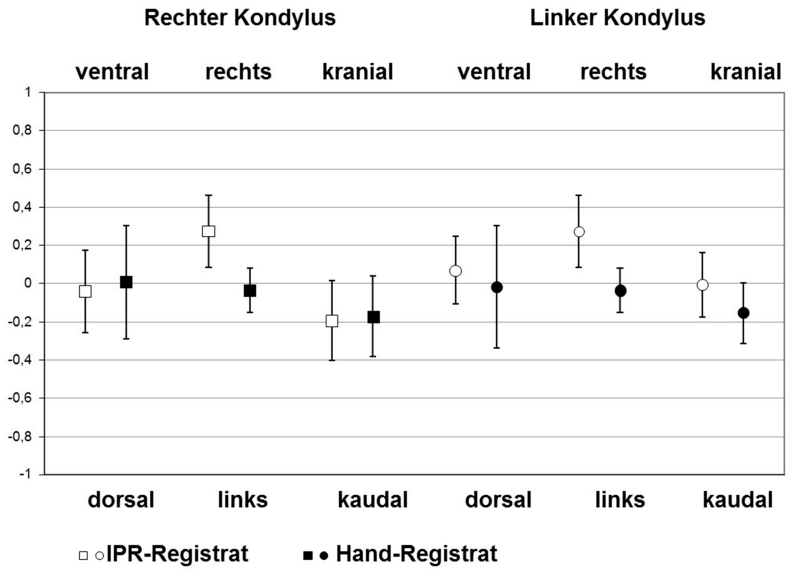

Abb. 34: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle der Differenzen zwischen den Scharnierachspositionen mit beiden Registraten und der maximalen Interkuspitation am zweiten Messtag

Die Tabellen 8 und 9 zeigen Mittelwert bzw. Median und die Spannweite der Messwerte für beide Registrate.

Tabelle 8: Differenzwerte zwischen der Kondylenposition in IKP und der durch das Handregistrat ermittelten Scharnierachsposition in den drei Raumrichtungen am zweiten Messtag (Angaben in mm)

N=15	Mittel-wert	Standard-abweichung	Median	Maximum	Minimum	95% Konfidenzintervall	
						Obergrenze	Untergrenze
sagittal rechts	0,01	0,53	-0,11	0,89	-0,91	0,31	-0,29
transversal rechts	-0,03	0,21	-0,08	0,36	-0,35	0,08	-0,15
vertikal rechts	-0,17	0,38	-0,25	0,49	-0,7	0,04	-0,38
sagittal links	-0,02	0,58	0,05	0,9	-1,1	0,31	-0,34
transversal links	-0,03	0,21	-0,08	0,36	-0,35	0,03	-0,15
vertikal links	-0,15	0,28	-0,19	0,3	-0,52	0,01	-0,31

Tabelle 9: Differenzwerte zwischen der Kondylenposition in IKP und der durch die IPR®-Vermessung ermittelten Scharnierachsposition in den drei Raumrichtungen am zweiten Messtag (Angaben in mm)

N=15	Mittel-wert	Standard-abweichung	Median	Maximum	Minimum	95% Konfidenzintervall Obergrenze	95% Konfidenzintervall Untergrenze
sagittal rechts	-0,04	0,39	-0,04	0,71	-0,7	0,17	-0,26
transversal rechts	0,27	0,34	0,33	0,84	-0,48	0,46	0,08
vertikal rechts	-0,19	0,38	-0,31	0,56	-0,91	0,02	-0,4
sagittal links	0,07	0,32	-0,05	0,56	-0,44	0,24	-0,11
transversal links	0,27	0,34	0,33	0,84	-0,48	0,46	0,08
vertikal links	-0,01	0,3	0,01	0,51	-0,55	0,16	-0,17

In der Abbildung 35 sind alle Messwerte beider Kondylen in allen Raumrichtungen an beiden Messtagen für die Hand- und IPR®-Vermessung grafisch zusammengefasst.

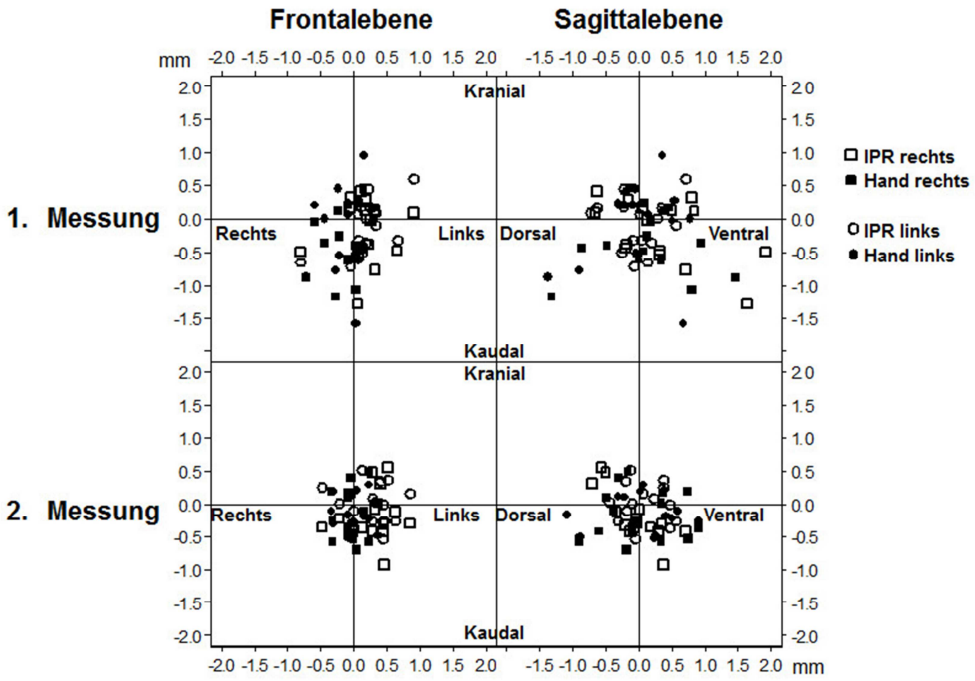

Abb. 35: grafische Zusammenfassung aller Messwerte

Abbildung 36 zeigt die richtungsunabhängige Gesamtabweichung der Kondylen in Registratposition von der Position in IKP als Boxplot. Die Spannweite als Maß für die Streuung wird kleiner, sowohl zwischen Minima und Maxima als auch zwischen dem 25- und 75- Perzentil. Die Ausreißer finden bei der Berechnung der Plots keine Berücksichtigung und würden die Spannweite der IPR-Messungen am 1. Messtag deutlich erhöhen

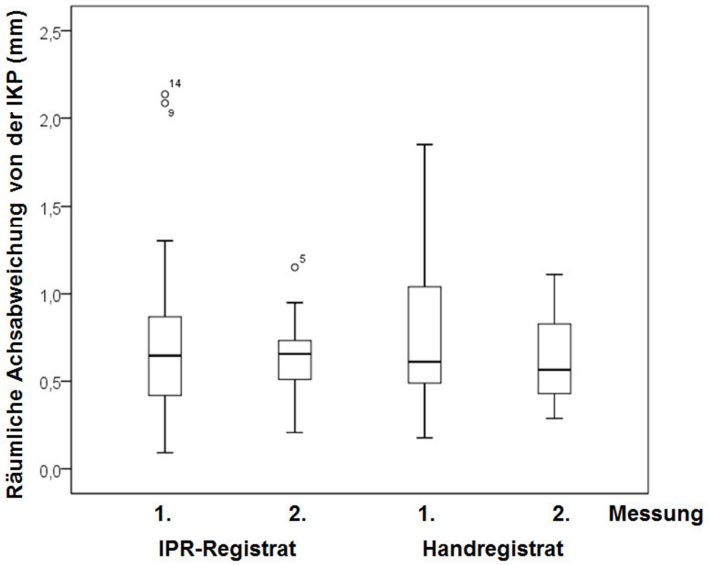

Abb. 36: Räumliche Abweichung der Kondylen zwischen beiden Registratpositionen und der IKP

4.3. Reliabilität der Registrate

Die Interpretation der errechneten Intra-class correlations-Koeffizienten als Maß der Übereinstimmung der Messwerte am ersten und zweiten Messtag folgt den Empfehlungen von BYRT (1996, Abb. 28).

Aus der Tabelle 10 geht hervor, dass bei der Handregistrierung eine mäßige Übereinstimmung für den rechten Kondylus in allen drei Raumrichtungen vorliegt. Beim linken Kondylus ist die Übereinstimmung vertikal gering, horizontal mäßig und sagittal sehr gut. Die Reliabilität der Ergebnisse bei der IPR®-Vermessung an beiden Messtagen ist für beide Seiten in den drei Raumrichtungen als gering einzuschätzen. Allein der rechte Kondylus zeigt in vertikaler Richtung eine gute Übereinstimmung.

Tabelle 10: Reliabilität der Messungen am 1. und 2. Tag laut Intra-class correlations-Koeffizienten (ICC) und 95% Konfidenzintervalle (95% CI) von Hand- und IPR®-Registrat für den linken und rechten Kondylus in allen drei Raumrichtungen

Reliabilität	Koordinate	ICC (95%CI) links	ICC (95%CI) rechts
Handregistrat	x - sagittal	0,845 (0,596-0,945)	0.537 (0,05-0,817)
	y - horizontal	0.523 (0,071-0,805)	0.523 (0,071-0,805)
	z - vertikal	0.295 (-0,274-0,698)	0.533 (0,067-0,812)
IPR®-Registrat	x - sagittal	0,232 (-0,322-0,658)	0,251 (-0,171-0,64)
	y - horizontal	0.396 (-0,114-0,744)	0,396 (-0,114-0,744)
	z - vertikal	0.236 (-0,316-0,66)	0.653 (0,185-0,862)

4.4. Übereinstimmung des Hand- mit dem IPR®-Registrat an beiden Messtagen

Die Übereinstimmungen laut der Intra-class correlations-Koeffizienten für beide Registrierverfahren an beiden Messtagen ist in der Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Übereinstimmung von Handregistrat und IPR®-Registrat laut Intra-class correlations-Koeffizienten (ICC) und 95% Konfidenzintervalle (95% CI) am ersten und zweiten Messtag für den linken und rechten Kondylus in allen drei Raumrichtungen

Validität	Koordinate	ICC(95%CI) links	ICC(95%CI) rechts
1. Messtag	x - sagittal	0,366 (-0,193-0,735)	-0,223 (-0,673-0,321)
	y - horizontal	0.329 (-0,104-0,692)	0,329 (-0,104-0,692)
	z - vertikal	-0,225 (-0,71-0,336)	0,539 (0,064-0,817)
2. Messtag	x - sagittal	0,295 (-0,257-0,694)	0,183 (-0,384-0,632)
	y - horizontal	-0,037 (-0,315-0,364)	-0,037 (-0,315-0,364)
	z - vertikal	-0,055 (-0,505-0,442)	-0,149 (-0,421-0,612)

Am 1. Tag der Registrierung wurde beim linken Kondylus sagittal und horizontal eine geringe und vertikal keine Übereinstimmung ermittelt. Der rechte Kondylus zeigt sagittal keine, horizontal eine geringe und vertikal eine mäßige Übereinstimmung. Am 2. Messtag gab es in horizontaler und vertikaler Richtung für beide Seiten keine Übereinstimmung. Der linke Scharnierachspunkt zeigte sagittal eine geringe und der rechte Kondylus-Scharnierachspunkt eine sehr geringe Übereinstimmung.

5. Diskussion

5.1. Vergleich der Registratmethoden

In der vergangenen Zeit haben zahlreiche Autoren unterschiedlichste Methoden zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition mit dem Ziel untersucht und weiterentwickelt, um eine für den Patienten akzeptable, therapeutische Position für den Unterkiefer zu finden und einzustellen.

Diese Studie vergleicht zwei, in der Herangehensweise unterschiedliche, auch kontrovers diskutierte Methoden zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition in ihrer Reliabilität und Validität untereinander.

Die Methode des handkontrollierten Registrates nach der modifizierten Lauritzenmethode ist eine in der täglichen Praxis etablierte Methode zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition mit intraoraler, individueller Kunststoffregistratplatte. Sie ist eine für den klinisch erfahrenen Behandler einfache Methode und wird üblicherweise in sitzender Position auf dem zahnärztlichen Behandlungsstuhl in den Praxisalltag integriert. Die technischen Vorbereitungen für diese Methode sind eher gering. Der Registratträger wird vom Zahntechniker auf Modellen gefertigt, dann direkt vom Behandler im Mund des Patienten angepasst und mit wenigen Handgriffen für die eigentliche Registrierung individualisiert.

Die zweite Untersuchungsmethode in dieser Studie zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition ist die Registrierung mit einer computergestützten Weiterentwicklung des intraoralen Stützstiftregistrates, das MCGRANE in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts in die Zahnmedizin einführte (MCGRANE 1949). Dieses von VOGEL 1993 vorgestellte IPR®-System (VOGEL 2007) wurde in der Auswertungssoftware und der Interpretation der Ergebnisse von MILLION ab 2005 weiterentwickelt und verfeinert (MILLION 2011, MILLION und RAHNENFÜHRER 2002-2007 und 2007).

Diese Methode ist grundsätzlich ein zwei- bzw. mehrzeitiges Vorgehen, unterteilt in die Abformung beider Kiefer und die Vorbereitung der Registrierbehelfe durch den Zahntechniker und die eigentliche Vermessung der zentrischen Kondylenposition durch den Behandler am Patienten. In dieser Studie wird nicht

auf dem zahnärztlichen Behandlungsstuhl, sondern auf dem systemunabhängigen Orthoanalysenstuhl OrthaS® (Zahntechnik JONAS, Bernau, Deutschland), der eine individuell genau definierte und reproduzierbare, aufrecht sitzende Körperhaltung bei der Registrierung ermöglicht, vermessen.

Die letztgenannte Methode geht erstens mit einem hohen apparativen und technischen Aufwand einher, die zweitens auch genaue Kenntnisse der Besonderheiten in der Handhabung des Systems und der Auswertung des geschriebenen Pfeilwinkelregistrates seitens des Behandlers durch eine besondere Einweisung und Schulung voraussetzt.

5.2. Limitationen der Studie

Mögliche Fehler können sich im Verlauf der Prozesskette addieren. Nach LOTZMANN (1994) ist bei Verwendung von Elastomeren zur Kieferabformung eine höhere Präzision der Modelle zu erwarten als bei Verwendung von Alginat. In dieser Studie wurde der Polyether Impregum™ (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) als hochpräzises Material genutzt. Die Modelle wurden aus einem Superhartgips hergestellt, um die Gipsexpansion zu minimieren und die Kantenstabilität und Abrasionsfestigkeit zu erhöhen.

Hier ist durch die im Vorfeld durch den Untersucher individuell bestimmte Scharnierachse für beide Kondylen jedes Probanden und der Übertragung dieser Messwerte in den Reference®SL Artikulator mit deutlich präziseren Ergebnissen zu rechnen, als bei einer arbiträren Gesichtsbogenübertragung.

Nach Untersuchungsergebnissen von SCHMID et al. (1995) ist jedoch auch bei vollbezahnten, kaugesunden Probanden bei initialen, habituellen Mundöffnungs- und Schließbewegungen eine linear ansteigende Translation zu beobachten. Jede Registrierung von Unterkieferpositionen mit bisssperrenden Registrierbehelfen geht somit methodisch bedingt mit einer translatorischen Komponente der Kondylen einher (SCHMID et al. 1995, FERRARIO et al. 1996), die im Artikulator nicht nachvollzogen werden kann. Die Abweichung ist wahrscheinlich umso größer, je höher die Sperrung während der Verschlüsselung des Registrates ist. Beim statischen Registrat wurde deshalb darauf geachtet, die Registratplatte aus Kunststoff bei der Herstellung möglichst stark auszudünnen (<0,5 mm im

Seitenzahnbereich) und das Registriermedium (Aluwax) nicht zu dick aufzutragen. Die dynamische Aufzeichnung während des IPR®-Registrates erfolgte ebenfalls bei geringstmöglicher Sperrung. Durch den Lupeneffekt auf dem Bildschirm führt eine Aufzeichnung auf relativ kleiner Fläche trotzdem zu einem auswertbaren Ergebnis, so dass bei tiefem Überbiss beispielsweise die unteren Frontzähne nicht zwangsläufig die gesamte palatinale Fläche der oberen Frontzähne überwinden müssen und dadurch der Schreibstift etwas flacher eingestellt werden kann.

Aber nicht nur die Translation der Kondylen bei der Mundöffnung sondern auch eine mögliche Unterkieferkippung bei der Stützstiftregistrierung in verschiedenen Ebenen wird in der Literatur beschrieben und muss bei der Interpretation der Ergebnisse kritisch in Betracht gezogen werden. So beschreibt UTZ et al. (1992) mögliche Kippungen in sagittaler und transversaler Richtung, die einen negativen Einfluss auf die Messergebnisse haben und auch bei festem Sitz der Registrierbehelfe nicht ganz auszuschließen sind.

Bei direkten gelenknahen Messungen an Patienten soll die Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspidationsposition bei ca. 0,02 mm und der zentrischen Kondylenposition bei 0,2 mm liegen (BÖHM et al. 1995).

Das Registratmaterial zur intraoralen Verschlüsselung kann die Genauigkeit der Untersuchungsergebnisse ebenfalls beeinflussen. WÖSTMANN und VEHRING (1995) untersuchten verschiedene interokklusale Registrate zur Genauigkeit der Übertragung der Kieferrelation in den Artikulator. Unübertroffen sei die seit Jahrzehnten bewährte Nutzung von Abformgips als Verschlüsselungsmaterial bei der intraoralen Stützstiftregistrierung. Abformgips sei jedoch beim vollbezahnten Patienten nur bedingt geeignet (WÖSTMANN und VEHRING 1995). Festgestellt wurde, dass Materialien mit der größten Endhärte die geringsten Abweichungen zeigten und diese den dauerelastischen Silikonen vorzuziehen sind.

Wichtige Anforderungen an das Registriermaterial sind u.a. die Detailwiedergabegenauigkeit, die Dimensionstreue und die gute Lagerungsbeständigkeit. Gegenwärtig besitzt noch kein Material Eigenschaften, das auf optimale Weise eine fehlerfreie Übertragung der Mundsituation in den Artikulator ermöglicht.

JANSEN (2007) untersuchte die Übertragungsgenauigkeit von verschiedenen Registriermaterialien bei vollbezahnten Gipsmodellen. Geringere Abweichungen

als bei Wachsen zeigten Registrate aus Abformgips sowohl eine Stunde als auch einen Tag nach deren Herstellung. Vergleichsweise bessere Resultate waren meist bei härteren Silikonen zu verzeichnen. Hier gab es auch kaum Unterschiede eine Stunde bzw. 24 Stunden nach Registrierung. Abschließend stellte er fest, dass bei harten Registriersilikonen auf Gipsmodellen größere Fehler auftreten können, als bei solchen mittlerer Konsistenz. Weiche Registriermaterialien hatten erwartungsgemäß größere Fehler.

CAMPOS und NATHANSON (1999) untersuchten die Eignung von Polysiloxanen als Bissregistriermaterial und werteten dies gelenknah dreidimensional aus. Auch wenn Druckkräfte von bis zu 1 kg auf die Modelle ausgeübt wurden, gab es keine signifikanten Veränderungen. Sie halten dieses Registriermaterial für geeignet.

In einer anderen Studie wurde die Dimensionsstabilität von drei verschiedenen Bissregistriermaterialien (Polysiloxan, Zinkoxid-Eugenol-Paste, Aluwax) nach einer, 24, 48 und 72 Stunden gemessen. Sowohl das Material als auch die Zeit hatten einen Einfluss auf das Ergebnis. Bei allen drei Registriermaterialien nahm die Dimensionsstabilität mit steigender Zeitdauer kontinuierlich ab. Polysiloxan zeigte im mittleren Prozentsatz nach einer Stunde Veränderungen von 0.22%, Aluwax von 0,44% und Zinkoxid-Eugenol-Paste von 0,58%. Auch hier war das Polysiloxan das stabilste Material (KARTHIKEYAN und ANNAPURNI 2007).

Das in dieser Studie verwendete Material zur Fixierung der gemessenen Stützstiftposition, Kanibite® (Fa. Kanidenta, Herford, Deutschland), zeichnet sich zwar durch eine hohe Endhärte, gute Fräsbarkeit und damit auch einer exakten Reponierbarkeit auf die Modelle aus, jedoch muss auch diese Fehlermöglichkeit in Betracht gezogen werden.

Der Träger für die Handregistrierung ist aus einem hochpräzisen Kunststoff gefertigt, der eine eindeutige Übertragung auf das Oberkiefermodell ermöglicht. Jedoch wurde als Registratmaterial Aluwax verwendet, welches eine gewisse Deformation auf Druck zulässt. Deshalb wurde das Wachs gezielt und in einer möglichst geringen Schichtstärke aufgetragen, um neben der Reduktion der vertikalen Erhöhung die Resilienz gering zu halten. Aus Studien ist zwar bekannt, dass Wachsregistrate eine geringere Genauigkeit aufweisen als andere Materialien (Elastomere, Kunststoff), aber diese Untersuchungen beziehen sich auf Registrate, die vollständig aus Wachs bestehen. In der vorliegenden Untersuchung wurde das

Wachs auf eine harte Registratplatte aufgebracht und dann registriert. Bemerkenswert ist die okklusale Erhöhung für alle Materialien, die in manchen Studien über 0,1 mm betragen soll (VERGOZ und TRIPODAKIS 2003).

Allerdings gibt LÜCKERATH (1999) zu bedenken, dass bezahnte Modellpaare, die habituell im Artikulator zugeordnet werden, nie der intraoralen Situation des Patienten bei Kieferschluss entsprechen. Als mögliche Ursachen werden hierfür genannt: laterale Modellverschiebungen gegeneinander, Störungen durch das Registratmaterial und Verwindungen der Mandibula bei der Abformung. So nähern sich die Unterkiefer-Molaren bei weiter Kieferöffnung, z.B. während der Abformung bis zu 0,5 mm an (CHEN et al. 2000), so dass vor allem Vorkontakte im Molarenbereich entstehen können.

Selbst bei optimaler Modellherstellung mit Superhartgips nach Elastomerabformung besteht eine Differenz zwischen der Modellokklusion und den klinischen Kontaktpunkten in maximaler Interkuspidationsposition. Untersuchungen von REIBER und TRBOLA (1993) ergaben, dass selbst bei größter Sorgfalt die Okklusalkontakte der Modelle nur zwischen 10 und 40% in Abhängigkeit von der Zahnposition und -fläche die intraorale Situation wiedergaben. Einige Autoren empfehlen deshalb, Vorkontakte nach dem Einbau der Modelle mit Okklusionsfolien darzustellen und auf den Gipsmodellen zu radieren, bis alle Zähne entsprechend der klinischen Okklusionsanalyse wieder einen gleichmäßigen Kontakt aufweisen (REIBER und TRBOLA, 1993, LOOS et al. 2001, UTZ et al. 2007).

UTZ et al. (2007) untersuchten die Breite des Okklusionsfeldes („lateral leeway“), indem Modelle von vollbezahnten Patienten mit und ohne Restaurationen, darunter einige nach kieferorthopädischer Therapie, in maximaler Interkuspidation zusammengesetzt werden können. In 57% der Fälle wurde ein Schaukeln in der Rotationsachse zwischen Molaren und Eckzahn der kontralateralen Seite beobachtet, wenn das Oberkiefermodell auf das Unterkiefermodell manuell aufgesetzt wurde. Zuerst wurde das Oberkiefermodell möglichst weit rechts und dann links auf den Unterkiefer in die maximale Interkuspidation gesetzt. Der mittlere Versatz im Kondylenbereich eines Messartikulators betrug insgesamt ca. 0,1 mm mit mittleren Versätzen in allen drei Raumrichtungen von ca. 0,05 mm. Die mittlere Genauigkeit von drei Messwiederholungen betrug insgesamt ca. 0,2 mm. Obwohl in dieser

Untersuchung kein Zusammenhang zwischen Anzahl der Füllungen, bzw. vorangegangener kieferorthopädischer Therapie und dem Ausmaß des Versatzes, bzw. der Genauigkeit nach Messwiederholung statistisch nachzuweisen war, könnten Veränderungen des okklusalen Reliefs durch die genannten Therapien zu dieser relativ großen Bandbreite in der Modellokklusion geführt haben. In die vorliegende Studie wurden ausschließlich Probanden mit weitestgehend erhaltener natürlicher Zahnhartsubstanz und ohne vorherige kieferorthopädische Intervention eingeschlossen, dennoch kann ein ähnlicher Fehler bei der Modellpositionierung nicht ausgeschlossen werden. Obwohl alle Modelle ohne vorherige okklusale Adjustierung kippfrei und sicher in maximaler Interkuspidation zusammengesetzt werden konnten, ist zumindestens der kondylare Versatz von immerhin 0,1 mm nach wiederholter Positionierung bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Entsprechend einer wissenschaftlichen Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien (DGPro) wird deshalb empfohlen, auch die maximale IKP mit Vinyl-Polysiloxanen, Polyethern und Methacrylate auf Bis-Acryl-Basis zu fixieren (UTZ et al., Wissenschaftliche Mitteilung, DGPro, 2010). Ein zusätzliches Registrat in Interkuspitationsposition birgt jedoch die Gefahr eines weiteren okklusalen Fehlers in sich. Bei Gipsmodellen, die mittels habitueller Registrate aus harten elastischen Materialien gegeneinander in den Artikulator eingebaut werden, tritt in der Regel eine okklusale Erhöhung ein, die bis zu 0,5 mm betragen kann (VERGOZ & TRIPODAKIS 2003).

Die Umsetzung der Modelle aus dem Reference® SL Artikulator in das elektronische Kondylenpositionsmessgerät (eCPM®) stellt sich als eher unproblematisch dar, weil vor der jeweiligen Messung mit den gewonnenen Registraten die Scharnierachsposition in allen drei Raumrichtungen auf Null gesetzt wird.

Um eventuelle Modellfehler auszuschalten, wurden die Registrate der Hand- bzw. IPR®-Vermessung auf denselben Modellen platziert und ausgewertet. Zwischen den Auswertungen wurde auf ein Umsetzen oder Entnehmen der Modelle vom Sockel verzichtet. Verschiedene Untersuchungen zeigen Differenzen an den Messorten von bis zu 0,41 mm bei mehrfacher Montage und Demontage von Sockelplatten im Artikulator (MÜLLER et al. 1990, LOTZMANN 1994).

Werden alle Messfehler bei der Übertragung in den Artikulator summiert, so wird der Fehler bei der Bestimmung der IKP auf ca. 0,1 mm und bei der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition auf ca. 0,3 mm geschätzt (UTZ et al. 1990).

Auch dem Einfluss des Kaudruckes bei der Erfassung der verschiedenen Positionen des Unterkiefers kommt eine Bedeutung zu. Bei der IPR®-Vermessung werden systembedingt nur Bewegungen in einem Kraftintervall von 10-30 N aufgezeichnet. Ein Vergleich von Registrierungen mit größeren bzw. kleineren Kräften von DELBACH (2005) zeigt unterschiedliche Registrierpositionen.

UTZ et al. meinen, dass die Möglichkeit, die Kieferschließkraft während der Registrierung zu kontrollieren, ein Vorteil sei. Schließkräfte liegen unkontrolliert meist unter 10 N. Einige Autoren sind jedoch der Ansicht, dass Kräfte über 5 N auch negative Einflüsse haben können (UTZ et al., Wissenschaftliche Mitteilung, DGPro, 2010).

LINSEN et al. (2006) fanden bei der Hälfte ihrer Probanden bei Kieferschließkräften von 20 N eine kraniale Verlagerung der Kondylen im Vergleich zur Referenzposition (5 N). Sie erklären dies mit der Zugrichtung der Kaumuskulatur. Bei Schließkräften über 20 N sei zu vermuten, dass Gelenkrezeptoren einen Schutzreflex auslösen, um die Gelenkstrukturen nicht zu überlasten. Sie empfehlen, die Kräfte bei der Verschlüsselung so gering wie möglich zu halten, um eine Kondylenverlagerung zu vermeiden.

Nach JÜDE et al. (1990 und 1991) verfälschen große Kräfte das Ergebnis der Kieferrelationsbestimmung. Auch KESHVAD und WINSTANLEY (2003) beschreiben die Kaukraft als „systematische Fehlerquelle“ bei der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition.

Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass das Registrierergebnis von Unterkieferpositionen, die durch Manipulationen durch den Behandler wie der Handbissnahme ermittelt wurden, zwangsläufig von der Größe und Richtung der angewendeten Kraft abhängig ist (STACHNISS 1984, LOTZMANN 1989, 1992 und 1994, MEYER 1993).

Nach SCHÖTTL (1990) beeinflusst allein die Berührung des Unterkiefers durch den Behandler das neuromuskuläre System des Patienten und es kann dadurch zu reflektorischen Positionsveränderungen der Kondylen kommen.

Messfehler können auch mit der Genauigkeit des Mess- und Auswertungsgerätes eCPM® in Zusammenhang gebracht werden. Dieses Gerät gibt

Positionsveränderungen der Kondylen in den drei Raumrichtungen im 1/100 mm Bereich aus, die in die Auswertung in dieser Studie eingegangen sind.

5.3. Differenz der zentrischen Registratpositionen zur Interkuspidationsposition

An beiden Messtagen gab es bei keinem Probanden eine Übereinstimmung der Scharnierachse zwischen der durch das Hand- oder IPR®-Registrat definierten Modellposition mit der Interkuspidationsposition (IKP) der habituell zugeordneten Modelle.

Anders als bei anderen Untersuchungen zu elektronischen Stützstiftsystemen, bei denen bevorzugt eine ventrocaudale Verlagerung der Kondylen in zentrischer Zuordnung gefunden wurde (HILLGÄRTNER 2000, KLITZSCHMÜLLER 2011, WISSER et al. 1997, DELBACH et al. 1998, THEDERAN 2000, LINSEN et al. 2012, 2014), zeigt diese Studie nach der IPR®-Vermessung Verlagerungen beider Kondylen in allen drei Raumrichtungen um den Nullpunkt.

In der Abbildung 37 sind die Ergebnisse von THEDERAN (2000) mit den Ergebnissen dieser Studie (2. Messtag, Abb. 32) in der Sagittalebene zum Vergleich nebeneinander dargestellt.

Bei THEDERAN gibt es eine deutliche ventrokaudale Verlagerungstendenz bei der IPR®-Vermessung (helle Kreise und Quadrate) im Gegensatz zum Checkbiss-Registrat (schwarze Kreise und Quadrate), welches in der Ausführung unserem handkontrollierten Registrat ähnelt, bei dem jedoch eine andere Registratplatte aus intraoral vorkonturierter Zinnfolie verwendet wurde.

In der vorliegenden Untersuchung streuen sowohl die Hand- als auch die IPR®-Registrate in allen 4 Quadranten der Sagittalebene um den Referenzpunkt der IKP.

THEDERAN hat seinerzeit den IPR®-Verschlüsselungspunkt mit der Softwareversion 1.81 über einen mathematischen Algorithmus bestimmt, indem die retralste Position und eine sogenannte neuromuskuläre Kontaktposition (Schittpunkt der Winkelhalbierenden des Pfeilwinkels mit dem sogenannten Verdichtungsfeld der Lateralbewegungen aus der retralen Position heraus) manuell im Programm markiert und der Mittelpunkt auf der Geraden dazwischen

automatisch berechnet wurde. Dies führte anscheinend zur ventro-kaudalen Verlagerung der Verschlüsselungsposition (IPR®-Zentrik).

Diese Studie nutzte die IPR®-Softwareversion 6.0, bei der allein der Behandler, ohne jegliche mathematische Operation, den IPR®-Punkt individuell festlegt. Eine Verlagerungstendenz in eine bestimmte Richtung ist hier nicht mehr nachweisbar (Abb. 37).

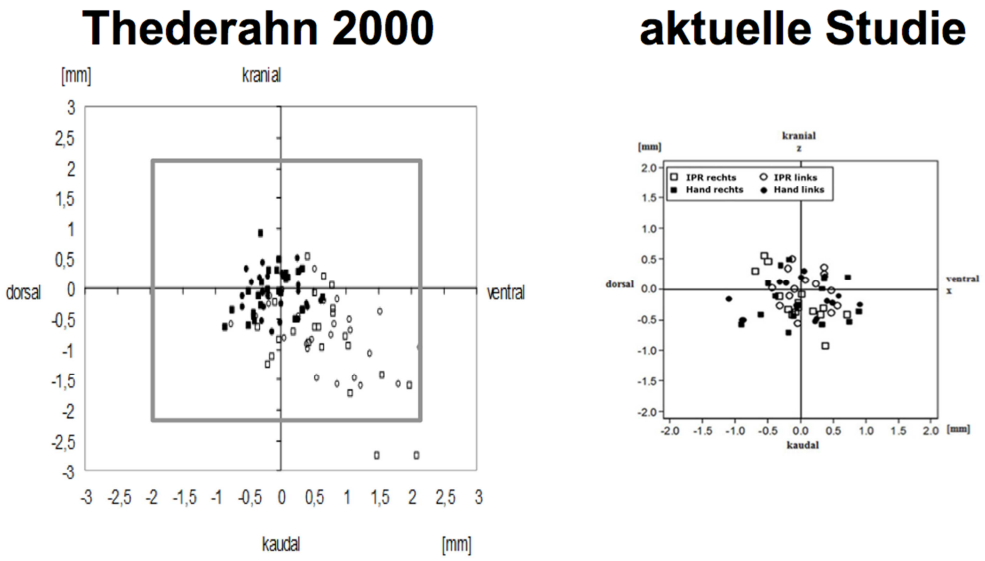

Abb. 37: links: Untersuchungsergebnisse von THEDERAN (2000)
rechts: Untersuchungsergebnisse dieser Studie (wie Abb. 32)

KLITZSCHMÜLLER ermittelte 2011 mit dem DIR®-System, einer Parallelentwicklung zum IPR®-System, Unterkieferpositionen, die im Vergleich zur maximalen Interkuspidationsposition und zentrischen Kondylenposition größere Abweichungen nach ventral und kaudal aufwiesen.

Auch LOSERT-BRUGGENER (2005) kam 2004 in Untersuchungen zu verschiedenen Unterkieferpositionen zu dem Ergebnis, dass Myozentrik und IPR®-Position deutlich (im Mittel) weiter ventral lagen als die IKP.

In verschiedenen Studien derselben Arbeitsgruppe (LINSEN et al. 2012, 2014) wurde bei gesunden Probanden ebenfalls eine mehr anterio-caudale Lage der Kondylen im Vergleich zur IKP und zu bisssperrenden Registrattechniken mit manueller Kontrolle gefunden. In einer Studie wurde die elektromyographische (EMG) Aktivität am M. masseter und am M. temporalis bilateral während der Registrierung gemessen (LINSEN et al. 2012). Es wurden zwar keine

signifikanten Unterschiede in der mittleren EMG-Aktivität zwischen der IKP und beiden Registratpositionen gefunden, jedoch wiesen die Masseter und die anterioren Anteile der Temporalis während des DIR®-Registrats eine signifikant größere Symmetrie zwischen rechter und linker Seite auf als bei der manuellen Registrierung. Die Autoren schlussfolgerten aus diesen Ergebnissen, dass durch die ventrale Positionierung der Kondylen eine höhere okklusale Stabilität resultiert und mögliche unphysiologische Belastungen der Kondylen nach prothetischer oder kieferorthopädischer Therapie reduziert werden könnten. Verschiedene Autoren haben schon darauf hingewiesen, dass eine bewusste anteriore Verlagerung der Kondylen bei Patienten mit einer muskulären Dysfunktion zu einer Veränderung der muskulären Aktivität und diese häufig zu Beschwerdefreiheit führt (LOTZMANN 1994, KANTOR et al. 1972, SCHÖTTL 1991, TÜRP und SCHINDLER 2012).

In einer weiteren Studie von LINSEN et al. (2014) wurde magnetresonanztomographisch nachgewiesen, dass durch die ventrale Kondylenposition nach einer DIR®-Positionierung mehr Raum für das sensible retrodiskale Gewebe (bilaminäre Zone) geschaffen werden könnte. Bei Patienten mit Kiefergelenkerkrankungen ist dieser Bereich oftmals schmerzhaft („Capsulitis der bilaminären Zone“) und könnte dadurch entlastet werden.

Jedoch warnt LOTZMANN (1994) vor einer dauerhaften anterioren Vorverlagerung des Unterkiefers, da diese ventrale Position instabil ist und dass sich die Mandibula im Laufe der okklusalen Vorbehandlung wieder nach dorsal zurückverlagern kann.

Am 1. Messtag in dieser Studie wurde einzig der linke Kondylus beim IPR®-Registrat in Frontalebene nicht linkskranial gemessen. Damit befinden sich die Messergebnisse in einem begrenzten Raum um den Referenzpunkt (IKP).

Auch am 2. Messtag gab es bei den Messungen beider Methoden keine Übereinstimmung mit der zentrischen Kondylenposition. Beide Kondylen wurden auch hier in allen Ebenen, in allen Raumrichtungen mit einer Ausnahme registriert. Bei der IPR®- Vermessung wurde der rechte Kondylus in Sagittalebene nicht ventrokranial lokalisiert.

Am 2. Messtag war die Streuung der Werte gegenüber denen des 1. Messtages geringer, was in Abbildung 33 sichtbar und bei den Maxima und Minima, bzw. 25 und 75 Perzentilen der absoluten Abweichungen von der IKP (Abb. 34), deutlich

wird. Als Ursache für diese geringeren Abweichungen am 2. Messtag im Vergleich zum 1. Messtag kann ein Trainingseffekt bei den Probanden vermutet werden. Da ein Teil der Probanden Studenten der Zahnmedizin sind, die möglicherweise Kenntnisse über anatomisch-physiologische Strukturen und Abläufe im stomatognaten System besitzen, ist ein solcher Einfluss auf die Messergebnisse auch aus dieser Sicht kritisch zu betrachten.

KÖRBER (1980) räumt für die richtige Lage der Kondylen ein „gewisses Toleranzfeld“ ein, das sich aus der Existenz einer Differenz zwischen IKP und einer eher muskelbezogenen Unterkieferposition ergibt, die noch eine leichte Retralbewegung ermöglicht.

Die zentrische Kondylenposition weicht laut einer wissenschaftlichen Stellungnahme der DGPro (UTZ et al., Wissenschaftliche Mitteilung, DGPro, Kieferrelationsbestimmung, 2010) von der Lage der Kondylen in IKP regelmäßig ab. Diese Abweichung soll im Mittel weniger als 0,8 mm vor allem in sagittaler Richtung betragen, wobei Abweichungen > 1 mm keine Ausnahme auch bei „gesunden“ Probanden sind. Diese Aussage deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung. Nach UTZ et al. (1990) werden Abweichungen von 0,5 mm im Gelenkbereich als vom Patienten adaptierbar angenommen.

KESHVAD und WINSTANLEY (2001) bestätigten in ihrer Literaturanalyse die Abweichung zwischen zentrischer und Interkuspidationsposition und berichten von ähnlichen Dimensionen von 0,8 bis 1 mm Abweichung.

5.4. Übereinstimmung von Handregistrat und IPR®-Registrat

Die Übereinstimmung zwischen beiden Registriermethoden hinsichtlich der zentrischen Kondylenposition war am ersten Messtag beim linken Kondylus in sagittaler und horizontaler Richtung gering und in vertikaler Richtung gemäß dem ICC-Koeffizienten nicht vorhanden. Der rechte Kondylus zeigt sagittal keine, horizontal eine geringe und vertikal eine mäßige Korrelation zwischen beiden Methoden. Am 2. Messtag ergaben beide Messmethoden in horizontaler und vertikaler Richtung keinerlei Übereinstimmung. Nur in sagittaler Richtung zeigten der linke Kondylus eine geringe und der rechte Kondylus eine sehr geringe Korrelation zwischen beiden Methoden.

Die fehlenden bzw. geringen Korrelationen sind überraschend und liegen wahrscheinlich in den sehr unterschiedlichen Registriermethoden begründet. Die Kraft während der handkontrollierten Registrierung wurde nicht berücksichtigt. Bei der IPR® werden nur Unterkieferbewegungen bei einem Kaudruck von 10-30 N aufgezeichnet. Obwohl die Verschlüsselung des Registrates quasi kraftlos erfolgte, ist anzunehmen, dass die Kraft während der IPR®-Aufzeichnung zu einer Verlagerung der Kondylen führt (KESHVAD und WINSTANLEY 2001 Part III) . Dies wurde jedoch in anderen Untersuchungen nicht bestätigt (DELBACH 2005, BRÄUNIG 2012). Eine Steigerung der Kraft während der Aufzeichnung führte bei DELBACH (2005) nur zu sehr geringen Änderungen der zentrischen Kondylenposition bei der IPR®-Registrierung.

Es wurden unterschiedliche Verschlüsselungsmaterialien eingesetzt, die nach der Positionierung und Fixierung in den Messartikulator durchaus zu anderen Ergebnissen führen könnten. Die Probanden haben beim Handregistrat (aufrechte Sitzposition im Behandlungsstuhl, Oberkörper und Kopf angelehnt) eine andere Körperhaltung als beim IPR®-Registrat (aufrechte Sitzhaltung auf dem Orthoanalysenstuhl OrthaS®, Oberkörper und Kopf nicht angelehnt). Zusammenhänge zwischen Körperhaltung und Unterkieferposition wurden inzwischen in mehreren Studien nachgewiesen (VAN´T SPIJKER et al. 2011, ROGGENDORF und VOIGT 2008, YAMADA et al. 1999, YAMAMOTO et al. 2009).

Letztendlich scheint auch der Untersucher Einfluss auf die Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition zu haben. LENTNER et al. (1997) schlussfolgerten sogar aus ihren Untersuchungen, dass die zentrische Kondylenposition „eher eine vom Behandler beeinflusste Größe“ ist „als eine von physiologisch-anatomischen Gegebenheiten bestimmte Position“.

5.5. Reliabilität der Registrate

Obwohl beide Untersucher erfahren sind im Umgang mit der jeweiligen Registriermethode, war die Reproduzierbarkeit bzw. Reliabilität der Handregistrate etwas besser, als die der IPR®-Registrate. Beim Handregistrat zeigten die Messungen an zwei verschiedenen Tagen für den rechten Kondylus eine mäßige Übereinstimmung in allen drei Raumrichtungen und für den linken Kondylus vertikal eine geringe, horizontal eine mäßige und sagittal eine sehr gute Übereinstimmung. Die Reliabilität der IPR®-Registrate ist für beide Kondylen als gering einzuschätzen. Nur der rechte Kondylus zeigt in vertikaler Richtung eine gute Übereinstimmung.

Im Gegensatz dazu war bei LINSEN et al. (2013) die Reproduzierbarkeit von DIR®-Registrierungen nicht nur besser als von manuell erzielten Zentrikregistraten, sondern sogar besser als die wiederholte Bestimmung der habituelle IKP. In dieser Studie erfolgte die Bestimmung der Kondylenposition mittels einer elektronischen Achsiographie direkt am Patienten.

In einer weiteren Studie mit dem DIR®-System an insgesamt 6 gesunden Probanden (DIETZEL und ZÖLLNER 2011) zeigten sich keine Unterschiede in der Reproduzierbarkeit zwischen dem elektronischen Stützstiftregistrat und zwei unterschiedlichen handgeführten Registraten mit verschiedenen Plattenmaterialien (Beauty Pink Wachs, Kunststoff). Obwohl in dieser Studie jeweils ein erfahrener DIR®-Anwender und ein unerfahrener Zahnarzt die Registrierungen durchführten, gab es auch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Untersuchern.

In einer Untersuchung zu verschiedenen Registriermethoden und -materialien (manuell geführte Registrate mit Wachs-, Kunststoff– und Zinnfolienträgern, mechanisches Stützstiftregistrat, trägerlose Registrate) lagen die Abweichungen der zweiten von der ersten Registrierung zwischen 0,33 und 0,44 mm mit maximalen Abweichungen von bis zu 2 mm (UTZ et al. 2002).

Eine Ursache für die Abweichungen in der vorliegenden Studie könnte in der wiederholten Verwendung derselben Registratplatte für die Zuordnung der Modelle liegen. Ähnliche Untersuchungen führten bei JÄHNIG (1979) selbst bei vorsichtigster Behandlung der Registratplatten zu Verschiebungen der Interkondylarachse.

Für die IPR®-Registrierbehelfe sieht BRÄUNIG (2011) mögliche patientenrelevante Probleme wie ein Unvermögen zur Ausführung der erforderlichen Unterkieferbewegungen, eine verspannte Kaumuskulatur, eine große Zunge oder einen starken Würgereiz. Bei der zweiten Messung hat sich der Proband wahrscheinlich an die besonderen Umstände der Messung gewöhnt, so dass besonders die IPR®-Messwiederholung ein anderes Ergebnis ergibt.

Auch hat der Behandler keinen Einfluss auf besondere Umstände, die den Probanden betreffen wie Muskeltonus, emotionaler Stress oder Schmerzen. Dadurch kann die Reliabilität bei der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition beeinflusst werden (LATTA 1992, SHAFAGH et al. 1975, OBREZ und TÜRP 1998).

JORDAN bezeichnete 2002 den Probanden als „nicht kontrollierbare Fehlerquelle“, weil auch bei äußerst präzisen Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten wegen möglicher Konstitutionsunterschiede in Physis und Psyche oftmals verschiedene Messergebnisse erzielt werden.

Durch die Festsetzung der Untersuchungstermine in dieser Studie immer am gleichen Wochentag und zur gleichen Uhrzeit sollte die emotionale und körperliche Belastung des Probanden annähernd gleich sein und möglichst zu gleichen Ergebnissen führen.

Anders als bei KESHVAD und WINSTANLEY (2001), die in der Reliabilität der Bestimmung der zentrischen Kondylenposition ein wertvolles Mittel zur Beurteilung deren Validität sahen, stellte sich bei WODA et al. (2001) in Untersuchungen heraus, dass eine hohe Reliabilität keine Aussage zur Validität des Verfahrens zulässt. Letztere sahen es als wichtiger an, eine für den Patienten physiologische und komfortable Unterkieferposition zu finden, die sich bei den Untersuchungen als reproduzierbar erwiesen hat.

In dieser Studie kann keinerlei Aussage zur Validität des jeweiligen Verfahrens getroffen werden, weil die Ergebnisse immer mit der habituellen Interkuspidationsposition in Beziehung gesetzt wurden.

Nach einer Studie von ROGGENDORF und VOIGT (2008) ist eigentlich mit genauesten und reproduzierbarsten Ergebnissen zu rechnen, wenn die Untersuchungen auf dem OrthaS®-Registrierstuhl (JONAS) durchgeführt werden. Dies hat sich hier beim Vergleich völlig unterschiedlicher Methoden nicht bestätigt.

Die Tatsache, dass der IPR®-Punkt jedes Mal individuell vom Untersucher festgelegt wird, ist bei der Interpretation der Ergebnisse kritisch zu betrachten. Studien von JORDAN (2002) haben belegt, dass ein solches Vorgehen nicht reproduzierbar ist, obwohl nur eine Person untersuchte.

5.6. Schlussfolgerungen für die Klinik

TÜRP et al. (2006) stellten fest, dass viel wichtiger als die gewählte Methode zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition ein beschwerdefreies Kausystem sei. Unter Umständen seien funktionelle, bzw. konservierend-chirurgische Vorbehandlungen nötig, wenn größere prothetische Behandlungen geplant sind.
Nach BRÄUNIG (2011) ist unter klinischen Bedingungen die gleichzeitige Nutzung verschiedener Methoden zur Kieferrelationsbestimmung wenig hilfreich, da davon auszugehen ist, dass unterschiedliche Kondylenpositionen ermittelt werden. Er empfiehlt dagegen mehrere Registrate nach einer Methode miteinander zu vergleichen. Bei Handregistraten ist dies nur mittels elektronischer Kondylenpositionsanalyse möglich. Bei der IPR®-Methode ist sofort problemlos über das Datenbankmanagement eine Bewegungsbahnanalyse und ein Vergleich der ermittelten Zentrikpunkte möglich.

Ein Vergleich klinischer Gesichtspunkte zwischen der Hand- und IPR®-Methode ist in Tab. 12 veranschaulicht.

Tabelle 12: Vergleich Hand- und IPR®-Registriertechnik nach klinischen Gesichtspunkten

Handregistrat		**IPR®**
+++	Aufwand (Material, Kosten)	+
+++	Zeit	+
++	Reproduzierbarkeit	+
?	Validität	**?**
-	Analyse der Bewegungsfunktion	++
-	Datenbankmanagement	+++
++	Erfahrung, Übung	++

Ein Vorteil der Zentrikbestimmung mit der modifizierten Lauritzentechnik ist auf jeden Fall der relativ geringe Material- und Kostenaufwand. Auch die kurze Zeit, in der der Geübte die Registrate am Patienten nehmen kann, spricht für diese Methode. Diese Studie zeigte auch eine etwas bessere Reproduzierbarkeit der Handregistrate als bei der IPR®-Methode.

Über die Validität beider Messmethoden lässt sich hier keine Aussage treffen, weil die ermittelten Registratpositionen nicht mit der wahren Zentrik verglichen wurden.

Eine gewisse Erfahrung und Übung im Umgang ist bei beiden Messsystemen eine Voraussetzung, die der Behandler mitbringen sollte. Dem Kliniker kann jedoch die Entscheidung für das eine oder andere System nicht abgenommen werden. Die Empfehlung dieser Studie ist, dass auf Grund des geringeren Aufwandes (Material, Kosten, Zeit) bei gesunden Probanden das handkontrollierte Registrat vorgezogen werden kann.

6. Zusammenfassung

In der Studie werden die Positionen des Unterkiefers zum Oberkiefer nach zwei sehr unterschiedlichen Methoden der zentrischen Registrierung

1. eines handkontrollierten Registrates nach der modifizierten Lauritzentechnik
2. eines elektronischen Stützstiftregistrates = Intraoral Prozess Registration (IPR®, Dental Balance GmbH, Potsdam, Deutschland)

untereinander und mit der Position verglichen, die 15 gesunde Probanden gewohnheitsmäßig im Schlussbiss einnehmen. Weiterhin sollte überprüft werden, wie groß die Abweichungen der Unterkiefermodellpositionen sind, wenn mit den gleichen Methoden die Registrierungen wiederholt werden (Reliabilität).

Die Unterkiefermodelle wurden nach scharnierachsbezüglichem Einbau der Oberkiefermodelle mit den Registraten zugeordnet und im elektronischen Condylen-Positions-Messinstrument (eCPM®) vermessen und mit der habituellen Interkuspidationsposition verglichen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS® 21 für Windows™ (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). Zur Auswertung der Reliabilität und für den Vergleich beider Methoden wurde die Intraklassen Korrelation (ICC) gewählt.

An beiden Messtagen wurden bei den Hand- bzw. der IPR®-Vermessungen keine Übereinstimmung mit der habituellen Interkuspidationsposition (Nullpunkt) ermittelt. Die Registrate streuten bei beiden Methoden in allen Raumrichtungen um den Nullpunkt. Am 1. Messtag betrugen die Mittelwerte ± Standardabweichung der Differenzen zwischen zentrischer und Interkuspidationsposition beim Handregistrat 0,11 ± 0,7 mm rechts bzw. -0,01 ± 0,57 mm links in der Sagittalen, -0,13 ± 0,29 mm in der Transversalen und -0,29 ± 0,5 mm rechts bzw. -0,15 ± 0,65 mm links in der Vertikalen. Die Mittelwerte ± Standardabweichung der Differenzen zwischen zentrischer Position und Interkuspidationsposition beim IPR®-Registrat betrugen 0,36 ± 0,74 mm rechts bzw. 0 ± 0,4 mm links in der Sagittalen, 0,17 ± 0,37 mm in der Transversalen und -0,19 ± 0,48 mm rechts bzw. -0,07 ± 0,38 mm links in der Vertikalen. Am 2. Messtag war die Streuung der Messwerte geringer als am 1. Messtag, was möglicherweise auf einen Trainingseffekt der Probanden zurückgeführt werden kann.

Die ICC bei der Handregistrierung zeigte eine mäßige Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Messung für den rechten Kondylus in allen drei Raumrichtungen (ICC=0,537 sagittal, 0,523 horizontal, 0,533 vertikal). Beim linken Kondylus war die Übereinstimmung vertikal gering (0,295), horizontal mäßig (0,523) und sagittal sehr gut (0,845). Die Reliabilität der Ergebnisse bei der IPR®-Vermessung ist an beiden Messtagen für beide Seiten in den drei Raumrichtungen als gering einzuschätzen (0,232 links sagittal, 0,396 links/rechts horizontal, 0,236 links vertikal und 0,251 rechts sagittal). Allein der rechte Kondylus zeigt in vertikaler Richtung eine gute Übereinstimmung (0,653).

Im Vergleich beider Registrierverfahren miteinander wurde am 1. Tag der Registrierung beim linken Kondylus sagittal (0,366) und horizontal (0,329) eine geringe und vertikal (-0,225) keine Übereinstimmung ermittelt. Der rechte Kondylus zeigt sagittal (-0,223) keine, horizontal (0,329) eine geringe und vertikal (0,539) eine mäßige Übereinstimmung. Am 2. Messtag gab es in horizontaler (-0,037) und vertikaler Richtung (links -0,055 und rechts -0,149) für beide Seiten keine Übereinstimmung. Der linke Scharnierachspunkt zeigt sagittal (0,295) eine geringe und der rechte eine sehr geringe Übereinstimmung (0,183).

In dieser Studie wird die neue Qualität der IPR®-Vermessung im Gegensatz zu vorherigen Softwareversionen und Handhabungen deutlich. Noch bei THEDERAN (2000) gibt es eine deutliche ventrocaudale Verlagerungstendenz bei der IPR®-Vermessung im Gegensatz zum Checkbiss-Registrat, Letzteres ähnelt in der Ausführung unserem Handregistrat (Abb. 37). THEDERAN hat seinerzeit den IPR®-Verschlüsselungspunkt mit der Softwareversion 1.81 über einen mathematischen Algorithmus bestimmt, wohingegen in dieser Studie mit der Softwareversion 6.0 allein der Behandler den IPR®-Punkt individuell festlegt. Eine Verlagerungstendenz in eine bestimmte Richtung ist hier nicht mehr nachweisbar.

Beide Methoden scheinen für den täglichen Einsatz in der Praxis geeignet. Vorteile des handkontrollierten Registrates sind der geringe apparative Aufwand, der geringe Zeitaufwand und die geringeren Kosten im Vergleich zum IPR®-Registrat. Die Vorteile einer IPR®-Vermessung liegen in den visuellen Kontrollmöglichkeiten, die der Behandler während der Registrierung in Echtzeit hat. Nachträgliches Auswerten, Vergrößerungen der aufgezeichneten Bewegungsbahnen, Speichermöglichkeiten und objektive Vergleichsmöglichkeiten mit anderen IPR®-Messungen sind ebenfalls vorteilhaft.

7. Literaturverzeichnis

[1] AHLERS, M. O., JAKSTAT, H., Development of a computer-assisted system for model-based condylar position analysis (E-CPM). Int J Comput Dent 12, 223-234 (2009)

[2] AHLERS, M. O., JAKSTAT, H., Klinische Funktionsanalyse- Interdisziplinäres Vorgehen mit optimierten Befundbögen. Hamburg: dentaConcept Verlag GmbH (2007)

[3] AHLERS, M. O., JAKSTAT, H., Richtiges Kauen durch Repositions-Onlays und Repositions-Veneers. Zahnärtl Mitt 103, 2770-2778 (2013)

[4] ANDRESEN, V., Die Artikulation der Kiefergelenke und der Zahnreihen, Öst Ung Vierteljahrsschr Zahnheilk 30, 895-922 (1912)

[5] ASH M. M., JR., Philosophy of occlusion: past and present. Dent Clin North Am 39, 233-255 (1995)

[6] ASH M. M., RAMFJORD, S., Occlusion. 4thed., Saunders, Philadelphia, 70 (1995)

[7] BARTHEL, T., Kieferrelationsbestimmung: Einfach. Eindeutig. Reproduzierbar. ZWP 19, 72-76 (2013)

[8] BIFFAR, R., KÖRBER, E., Die prothetische Versorgung des Lückengebisses. Befunderhebung und Planung. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV- Hanser Köln München (1999)

[9] BÖHM, A., RAMMELSBERG, P., MAY, H.-C., PHO DUC, J.-M., POSPIECH, P., GERNET, W., Direkte dreidimensionale elektronische Kondylenpositionsanalysen zur Bestimmung von RKP-IKP-Diskrepanzen. Dtsch Zahnärztl Z 50, 35-39 (1995)

[10] BÖHM, A., RAMMELSBERG, P., MAY, H.-C., PHO DUC, J.-M., POSPIECH, P., GERNET, W., Elektronische Kondylenpositionsanalyse bei Gesunden und Patienten mit anteriorer Diskusverlagerung im Kiefergelenk. Dtsch Zahnärztl Z 50, 553-557 (1995)

[11] BRÄUNIG, B., Vergleichende Untersuchung zur Bestimmung der zentrischen Kondylenposition mittels ARCUSdigma II und dem IPR®-System, Masterthesis, Greifswald (2011)

[12] BRÄUNIG, B., Zentrische Kondylenpositionsanalyse - Übersicht und klinische Bewertung nach Untersuchungen mittels computergestützter Messsysteme, Med. Diss., Greifswald (2012)

[13] BUMANN, A., LOTZMANN, U., Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien, In: Farbatlanten der Zahnmedizin, RATEITSCHAK und WOLF (Hrsg.), Band 12, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York (2000)

[14] CAMPOS, A., A., NATHANSON, D., ROSE, L., Reproducibility and condylar position of a physiologic maxillomandibular centric relation in upright und supine body position. J Prosthet Dent 76, 282-287 (1996)

[15] CAMPOS,A., A., NATHANSON, D., Compressibility of two polyvinyl-siloxane interocclusal materials and its effect on mounted cast relationships, J Prosthet Dent 82 ,456-461 (1999)

[16] CHEN, D., C., LAI, Y., L., CHI, L., Y., LEE, S.,Y., Contributing factors of mandibular deformation during mouth opening. J Dent 28, 583-588 (2000)

[17] DAIBERL, K., BRISKO, K. A., Moderne Stützstifttechnik. Rationelle Bissnahmetechnik mit dem Zentrik-Platten-System (ZPS) für die Totalprothetik, Teilprothetik, Vollrehabilitation, Gebissanalyse, Kieferorthopädie, Quintessenz Verlag Berlin (1987)

[18] DAWSON, P. E., Evaluation, diagnosis and treatment of occlusal problems. Mosby Co, Saint Louis (1976)

[19] DELBACH, H., Klinisch experimentelle Evaluation des Intraoral Pressuredependent Registration (IPR®)-Systems zur maxillomandibulären Relationsbestimmung, Med. Diss., Marburg (2005)

[20] DELBACH, H., WISSER, W., LOTZMANN, U., Kieferrelationsbestimmung mit einem elektronischen Stützstiftregistriersystem. Vortrag auf der 47. Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde e.V., Leipzig (1998)

[21] DIETZEL, A., ZÖLLNER, A., Zur Lagebestimmung des Unterkiefers in zentrischer Relation mit dem DIR-System. Dtsch Zahnärztl Z 66, 100-111 (2011)

[22] ERIKSSON, A., OCKERT-ERIKSSON, G., LOCKOWANDT, P., ERIKSSON, O., Clinical factors and clinical variationinfluencing the reproducibility of interocclusal recording methods, Br Dent J 192, 395-400 (2002)

[23] FERRARIO, V. F., 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 23, 401-408 (1996)

[24] FIGGENER, L., Registrierbehelfe für die Kieferrealtionsbestimmung bei bezahntem Kiefer mittels des Pfeilwinkelregistrates. Quintessenz Zahntech 14, 1411-1415 (1988)

[25] FREESMEYER, W., KÖRBER, E., PIELSTICKER, W., Die Stützstiftregistrierung. Dentallabor 35, 753-759 (1987)

[26] FUCHS, P., Das Kiefergelenk - Funktion und Dysfunction. Quintessenz 8, 1369-1378 (1986)

[27] GAMMA DENTAL, Bedienungsanleitung E-CPM

[28] GAMMA DENTAL, Reference SL Artikulator und Gesichtsbogen System, Klosterneuburg (2008)

[29] GAMMA MED.-WISS. FORTBILDUNGS GmbH, CADIAX® compact 2 Bedienungsanleitung (2007)

[30] GERBER, A., Kiefergelenk und Zahnokklusion. Dtsch Zahnärztl Z 26, 133-134 (1971)

[31] GERBER, A., Logik und Mystik der Kiefergelenkbeschwerden Teil I, Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 74, 687-697 (1964)

[32] GERBER, A., Logik und Mystik der Kiefergelenkbeschwerden Teil II, Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 74, 879-885 (1964)

[33] GERBER, A., Registriertechnik für Prothetik, Okklusionsdiagnostik, Okklusionstherapie, Artikulator, Zürich (1970)

[34] Glossary of Prosthodontic Terms, J Prosthet Dent 6, 586 (1956)

[35] GRIETHE, M., Morphometrische Vermessungen von MRT-Aufnahmen des Kiefergelenks, Med. Diss., Berlin (2005)

[36] GRIFFIN, C. J., SHARPE, C. J., The structure of the human temperomandibular meniscus. Austr Dent J 6, 35-39 (1960)

[37] GYSI, A., Beitrag zum Artikulationsproblem, Hirschwald, Berlin (1908)

[38] GYSI, A., Der neue verstellbare Gysi-Artikulator 1914 mit der Rumpelschen Schablonenführung. Schweiz Vierteljahrsschrift 4, 261-298 (1915)

[39] HANSSON, T., ÖBERG, T., CARLSSON, G. E., KOPP, S., Thickness of the soft tissue layers and articulator disc in the temperomandibular joint. Acta Odont Scand 35, 77-83 (1977)

[40] HILLGÄRTNER, J., Elektronische Kondylenpositionsanalyse zentrischer Registrate im Vergleich zur Interkuspidationsposition unter Berücksichtigung des klinischen Funktionsstatus. Med. Diss., Münster (2000)

[41] INGERVALL, B., Retruded contact position of the mandible. A comparison between children and adults, Odontologica Revy 15, 130-149 (1964)

[42] IPR®-Handbuch, Rev. 02 vom 1. Februar 2006

[43] JÄHNIG, A., Die Ausmessung von intraoralen Wachsregistraten im Bereich des Artikulatorgelenks. Zahnärztl Welt 88, 253-256 (1979)

[44] JANKELSON, B., SWAIN, C. W., Physiological aspects of masticatory muscle stimulation: The myomonitor, Quintessence Int 3, 57-62 (1972)

[45] JANSEN, S., Die Übertragung von okklusalen Verhältnissen in den Artikulator durch verschiedene Registratmaterialien, Med. Diss., Gießen (2007)

[46] JONAS, K.-P., OrthaS® das individuelle Positionierungssystem, Bernau

[47] JORDAN, T., Vergleich eines computergestützten Registriersystems mit dem klassischen Stützstiftregistrat nach Gerber, Med. Diss., Kiel (2002)

[48] JÜDE, H. D., JAKSTAT, H., VOGEL, A., GENISER, A., Das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in Abhängigkeit von Kraft und veränderter Stiftposition in der Transversalen. Dtsch Stomatol 41, 273-275 (1991)

[49] JÜDE, H. D., VOGEL, A., JAKSTAT, H., GENIESER, A., Über den Einfluss der Kieferschlusskraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in der Sagittalen. Dtsch Zahnärztl Z 45, 561-563 (1990)

[50] KANTOR, M. E., SILVERMAN, S. I., GARFINKEL, L., Centric-relation recording techniques – a comparative investigation. J Prosthet Dent 28, 593-600 (1972)

[51] KAPANDJI, I. A., Funktionelle Anatomie der Gelenke. Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik. Band 3, Rumpf und Wirbelsäule. Stuttgart (1985)

[52] KARTHIKEYAN, K., ANNAPURNI, H., Comparative evaluatin of dimensional stability of three types of interocclusal recording materials: an in vitro study, Jornal of Indian prosthodontic society 7, 24 (2007)

[53] KATSOULIS, J., NIKITOVOC, S. G., SPRENG, S., NEUHAUS, K., MERICZKE-STERN, R., Prosthetic rehabilitation and treatment outcome of partially edentulous patients with severe tooth wear: 3-years results. J Dent 39, 662-671 (2011)

[54] KESHVAD, A., WINSTANLEY, R. B., An appraisal of the literature on centric relation. Part I. J Oral Rehabil, 27 823-833 (2000)

[55] KESHVAD, A., WINSTANLEY, R. B., An appraisal of the literature on centric relation. Part III. J Oral Rehabil 28, 55-63 (2001)

[56] KESHVAD, A., WINSTANLAY, R. B., Comparison of the replicability of routinely used centric relation registration techniques. J Prosthodont 12, 90-101 (2003)

[57] KLITZSCHMÜLLER, M., Untersuchungen zur Evaluierung der Kondylenposition bei unterschiedlichen Registrierverfahren, Med. Diss., Köln (2011)

[58] KOHNO, S., KÖRBER, E., HÜLS, A., TABATA, T., Vergleich der Reproduktionsgenauigkeit verschiedener Registrierungen zur Bestimmung der Kieferrelation. Stomatol DDR 38, 721-730 (1988)

[59] KOLLER, M., LUDWIG, J., VOSS, R., Streubereiche von Handbissnahme und Stützstiftregistrierung, DZZ 38, 40-43 (1983)

[60] KÖRBER, E., Erfahrungen bei der Kieferrelationsbestimmung und Ergebnisse von Nachuntersuchungen. Autoreferat. Dtsch Zahnärztl Z 35, 656-657 (1980)

[61] KORDASS, B., Computer-assisted instrumental functional diagnostics - state of development, possibilties, and limits. Int J Comput Dent 5, 249-269 (2002)

[62] KOYANO, K., TSUKIYAMA, Y., KUWATSURU, R., Rehabilitation of occlusion - science or art? J Oral Rehabil 39, 513-521 (2012)

[63] KROUGH-POULSEN, W., Orthofunktion und Pathofunktion des mastikatorischen Systems unter Berücksichtigung der beteiligten Muskelgruppen. in: DRÜCKE, W., KLEMT, B. (Hrsg.): Kiefergelenk und Okklusion. Quintessenz, Berlin 13-33 (1980)

[64] LATTA, G. H., Influence of circadian periodicitiy on reproducibility of centric relation records for edentulous patients, J Prosthet Dent 68, 780-783 (1992)

[65] LAURITZEN, A. G., Arbeitsanleitung für die Lauritzen-Technik, Carstens & Homovc, Hamburg (1976)

[66] LENTNER, E., RAMMELSBERG, P., BÖHM, A., POSPIECH, P., GERNET, W., Zum Untersuchereinfluss auf Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition. Dtsch Zahnärztl Z 52, 411-415 (1997)

[67] LINSEN, S. S., BLATTNER, F., STRATMANN, U., The influence of different registration positions on condyle displacement in symptomatic patients. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 117, 312-318 (2014)

[68] LINSEN, S., SAMAI, A., STARK, H., KLITZSCHMÜLLER, M., Einfluss der Registriertechnik auf die Kondylenposition und die EMG-Oberflächenaktivität. J Craniomand Func, 3-40 (2011)

[69] LINSEN, S. S., STARK, H., KLITZSCHMÜLLER, M., Reproducibility of condyle position and influence of splint therapy on different registration techniques in asymptomatic volunteers, Cranio 31, 32-39 (2013)

[70] LINSEN, S., STARK, H., SAMAI, A., The Influence of different Registration Techniques on Condyle Displacement and Stomatognathically Healthy Subjects: A prospective Study, J Prosthet Dent 107, 47-52 (2012)

[71] 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 61, 286-290 (2006)

[72] LOOS, L. G., BOYARSKY, H. P., QUIRING, D. J., Procedure for occlusal refinement of mounted definitive casts to reduce clinical time requird for adjustment of occlusion, J Prosthet Dent 85, 246-51 (2001)

[73] LOSERT-BRUGGENER, B., Vergleich unterschiedlicher Techniken zur therapeutischen Lagebestimmung des Unterkiefers, ICCMO Kompendium (2005)

[74] LOTZMANN, U., Die Prinzipien der Okklusion. Eine Einführung in das okklussionsgerechte Arbeiten. Verlag Neuer Merkur GmbH München (1989)

[75] LOTZMANN, K. U., Entwicklung und Anwendung des Temporo-Mandibular-Positions-Comparators (TMPC) zur dreidimensionalen Erfassung statischer Verlagerungen der Mandibula. Med. Habil., Göttingen (1994)

[76] LOTZMANN, U., Okklusionsschienen und andere Aufbissbehelfe. Grundlagen zur Theorie und Praxis. Verlag Neuer Merkur GmbH, München (1992)

[77] LOTZMANN, U., Okklusionsschienen und andere Aufbissbehelfe, Verlag Neuer Merkur GmbH München, 50 (1998)

[78] LOTZMANN, U., Studien zum Einfluss der okklusalen Prä-Therapie auf die zentrische Kieferrelation. Berlin, Quintessenz Verlags-GmbH (1999)

[79] LOTZMANN, U., KOBES, L. W. R., RUDOLPH, W., PAULA, M. J., Der Einfluss der Okklusion auf die Kopfhaltung während anhaltender Pressphasen. Dtsch Zahnärztl Z 44, 162-164 (1989)

[80] LOTZMANN, U., STEINBERG, P., Klinische Anwendung der Kistler-Messplattform zur computergestützten Posturographie im Rahmen einer funktionsdiagnostischen Vergleichsstudie. Zahnärztl Welt 99, 18-23 (1993)

[81] LUCIA, V. O., A technique for recording centric relation. J Prosthet Dent 14, 492-505 (1964)

[82] LÜCKERATH, W., Die Relationsbestimmung, in: KOECK, B., (Hrsg.) PDZ, Bd. 5, Kronen- und Brückenprothetik, München, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, Urban & Fischer, 167-191 (1999)

[83] LÜCKERATH, W., Das okklusale Konzept, in: KOECK, B., (Hrsg.) PDZ, Bd. 5, Kronen- und Brückenprothetik. München, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, Urban & Fischer, 223-251 (1999)

[84] MATSUO, N., YAMASHITA, T., KINOSHITA, Y., YOSHIDA, K., TAKAI, Y., FUKAYA, M., INAMOTO, S., YAMADA, S., KAWAI, Y., The occlusion and general symptoms. Aichi-Gakuin J Dent Sci 30, 357-365 (1992)

[85] MCGRANE, H. F., Five basic principles oft the McGrane full denture procedure, Florida State Dental 20, 5 (1949)

[86] MCKEE, J. R., Comparing condylar positions achieved through bimanual manipulation to condylar positions achieved through masticatory muscle contraction against an anterior deprogrammer: a pilot study, J Prosthet Dent 94, 389-393 (2005)

[87] MEYER, G., Die physiologische Zentrik im Rahmen der instrumentellen Okklusionsdiagnostik. in: APW (Hrsg.) Funktionslehre, Aktueller Stand und praxisgerechte Umsetzung, Hanser, München, 47-58 (1993)

[88] MEYER, G., Praxisgerechte instrumentelle Funktionsdiagnostik. in: Schriftenreihe APW: Funktionslehre: Aktueller Stand und praxisgerechte Umsetzung, Hanser, München (1993)

[89] MILLION, A., IPR®-Schablonen Grundlagen

[90] MILLION, A., Praktisches Kieferrelationsmanagement und Konvention zur Nutzung der hochauflösenden intraoralen Stützstiftregistrierung, IPR®-Systeme GmbH, (2011)

[91] MILLION, A., RAHNENFÜHRER, C., Systemische Okklusionsanalyse nach Million/Rahnenführer, M.A.R.C. (2002-2007)

[92] MILLION, A., RAHNENFÜHRER, C., Die moderne Interpretation der elektronischen Stützstiftregistrierung (1),www.zt-aktuell.de, Nr. 7/8 (2007)

[93] MORNEBURG, T. R., PRÖSCHEL, P. A., Impact of arbitrary and mean transfer of dental casts to the articulator on centric occlusal errors, Clin Oral Investig 15, 427-434 (2011)

[94] MÜLLER, J., GÖTZ, G., HÖRZ, W., KRAFT, E., An experimental study on the influence of derived casts on the accuracy of different recording materials. Part 1, Plaster, impression compound and wax, J Prosthet Dent 63, 263-269 (1990)

[95] NEEDELES, J. W., Practical uses of curve of Spee. J Am Dent Assoc 10, 918 (1923)

[96] ÖBERG, T., CARLSSON, G. E., FAJERS, C. M., The temporomandibular joint. Amorphological study on a human autopsy model. Acta Odont Scand 29, 349-354 (1971)

[97] OBREZ, A., TÜRP, J. C., The effect of musculoskeletal facial pain on registration of maxillomandibular relationships and treatment planning: a synthesis of the literature. J Prosthet Dent 79, 439-445 (1998)

[98] PEROZ, I., Bildgebende Verfahren zur Darstellung des Kiefergelenks, Quintessenz 58, 467-472 (2007)

[99] POSSELT, U., Studies in the mobility of the mandible, Acta Odontologica Scandinavica, 10 (Supplement), 1-160 (1952)

[100] REIBER,T., TRBOLA, U., Vergleich der klinischen Okklusion und der Modellokklusion, Dtsch Zahnärztl Z 48, 170-173 (1993)

[101] ROGGENDORF, H., VOIGT, V., Präzision bei der intraoralen Stützstiftregistrierung, Vergleich der Messergebnisse in Abhängigkeit von der Registrierposition. Zahn Prax 11, 282-287 (2008)

[102] SCHMID, C., MÜLLER, J., BRUCKNER, G., GERNET, W., Experimentelle Studie zur Rotation und Translation der Kondylen bei habitueller Mundöffnung. Dtsch Zahnärztl Z 50, 558-562 (1995)

[103] SCHÖTTL, R., Die Myozentrik. Manuelle Medizin 42, 236-245 (2004)

[104] SCHÖTTL, W., Die cranio-mandibuläre Regulation: interdisziplinäre Betrachtung des neuromuskulären Reflexgeschehens, Heidelberg, Hüthig (1991)

[105] SCHÖTTL, W., Muskulatur in der Zahnheilkunde (Musculature in dentistry), ZWR 99, 115 (1990)

[106] SCHUHMACHER, G.-H., Morphologie und Funktion des Kiefergelenkes. Dtsch Stomatol 22, 561-566 (1972)

[107] SCHUMACHER, G.-H., Odontographie, J. A. Barth, 124-126 (1983)

[108] SCHWAN, B., Die prothetische Versorgung nach Schienentherapie. ZMK 19, 660-668 (2003)

[109] SHAFAGH, I., YODER, J. L., THAYER, K. E., Diurnal variance of centric relation position, J Prosthet Dent 34, 574-582 (1975)

[110] SICHER, H., Kiefergelenk, in: KANTOROWICZ, A. (ed.) Handwörterbuch der gesamten Zahnheilkunde, Band 2, Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1235-1245 (1930)

[111] VAN´T SPIJKER, A., CREUGERS, H. J., BRONKHORST, E. M., KREULEM, C. M., Body position and okklusal contacts in lateral excursions: a pilot study, Int J Prosthodont 24, 133-136 (2011)

[112] STACHNISS, V., Möglichkeiten und Grenzen der Diagnostik und Therapie okklusionsbedingter Störungen der Kiefergelenkfunktion, Verlag Carl Hanser, München (1984)

[113] STAMM, T., HOHOFF, A., VAN MEEGEN, A., MEYER, U., On the three-dimensional physiological position of the temporomandibular joint. J Orofac Orthop 65, 280-289 (2004)

[114] STARKE, W., VON PIEKARTZ, H., Sonografie vs. MRT bei intraartikulären temporomandibulären Dysfunktionen: eine Querschnittsstudie. Zeitschrift für kraniomandibuläre Funktion 3, 277-292 (2011)

[115] STROHAVER, R. H., A comparison of articulator mountings made with centric relation and myocentric position records. J Prothet Dent 28, 379-383 (1972)

[116] SZKLO, M., NIETO, F. J., Epidemiology, Beyond the Basics, Jones and Barlett Publishers, Sudbury, Messachuetts, 2. Edition, 325 (2007)

[117] THEDERAN, I., Die Kieferrelationsbestimmung mit dem intraoralen Stützstiftsystem IPR-Vergleich dieses elektronischen mit einem konventionellen Verfahren zur Registrierung der physiologischen Zentrik. Med. Diss., Greifswald (2000)

[118] TRIPODAKIS, A. P., SMULOW, J. B., METHA, N. R., CLARK, R. E., Clinical study of location and reproducibility of three mandibular positions in relation to body posture and muscle function. J Prosthet Dent 73, 190-198 (1995)

[119] TRÖLTZSCH, M., WICHMANN, M., REICH, S., Analysis of different registration materials for single tooth restaurations, Posterpräsentation in MÖRMANN, W., (Hrsg.): State of the art of CAD/CAM-restaurations: 20 jears of CEREC. 20 YC Symposium 2006, Berlin, Quintessence, Berlin (2006)

[120] TÜRP, J. C., SCHINDLER, H., The dental occlusion as a suspected cause for TMDs: epidemiological and etiological considerations. J Oral Rehabil, 39, 502-512 (2012)

[121] TÜRP, J. C., SCHINDLER, H. J., RODIGER, O., SMEEKENS, S., MARINELLO, C. P., Vertikale und horizontale Kieferrelation in der rekonstruktiven Zahnmedizin. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 116, 403-417 (2006)

[122] TÜRP, J. C., WALTER, M., Die anteroposteriore Lage der Kondylen in maximaler Interkuspidationsposition beim natürlich bezahnten Erwachsenen, Zeitschrift für Kraniomandibuläre Funktion 6, 9-20 (2014)

[123] UTZ, K. H., Untersuchungen über Veränderungen der Interkuspidationsposition und der terminalen Scharnierachsposition nach dem Einfügen von Totalprothesen. Med. Habil., Bonn (1990)

[124] UTZ, K. H., BERNHARD, N., HÜLTENSCHMIDT, R., WEGMANN, U. H., UNTEBRINKER, W., Reproduzierbarkeit der Pfeilwinkelregistrierung bei Vollbezahnten in Abhängigkeit vom Registratmaterial. Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 299-307 (1992)

[125] UTZ, K.-H., DUVENBECK, H., OETTERSHAGEN, K., Distanz zwischen terminaler Scharnierachsenposition und Interkuspidationsposition im Kiefergelenkbereich. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100, 42-49 (1990)

[126] UTZ, K. H., DUVENBECK, H., OETTERSHAGEN, K., Variationen der terminalen Scharnierachsenposition bei verschiedenen Registriermethoden, Schweiz Monatsschr Zahnmed 100, 412-419 (1990)

[127] UTZ, K. H., MÜLLER, F., LÜCKRATH, W., FUSS, E., KOECK, B., Accuracy of check-bite registration and cetric condylar position, J Oral Rehabil 29, 458-466 (2002)

[128] UTZ, K. H., MÜLLER, F., LÜCKERATH, W., SCHWARTING, P., NOETHLICHS, W., BÜTTNER, R., FUSS, E., GRÜNER, M., KOECK, B., The lateral leeway in the habitual intercuspidation: experimental studies and literature review, J Oral Rehabil 34, 406-413 (2007)

[129] UTZ, K. H., SCHMITTER, M., FREESMEYER, W. B., MORNEBURG, T., HUGGER, A., TÜRP, J. C., RAMMELSBERG, P., Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Zahnmedizin und Biomaterialien e. V., Kieferrelationsbestimmung (2010)

[130] VERGOS, V. K., TRIPODAKIS, A. P., Evaluation of vertical accuracy of interocclusal records, Int J Posthodont 16, 365-368 (2003)

[131] VISSCHER, C. M., HUDDLESTON SLATER, J. J., LOBBEZOO, F., NAEIJE, M., Kinematics of the human mandible for different head postures, J Oral Rehabil 27, 299-305 (2000)

[132] VOGEL, A., JAKSTAT, H., JÜDE, H. D., Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Registrierkraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung. Dtsch Stomatol 40, 363-365 (1990)

[133] VOGEL, A. Konzept für die Bestimmung der Unterkieferposition - Teil 3, ZWP, 82-83 (2007)

[134] VOSS, H., HERRLINGER, R., Taschenbuch der Anatomie Band 1. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 267-270 (1983)

[135] WALLISCH, W., Das Kiefergelenk und der zahnärztliche Artikulator, Vierteljahrsschr Zahnheilk, 19, 164-182 (1903)

[136] WEBER, N. A., Untersuchung zur Präzision des intraoralen Stützstiftregistrats bei der Ermittlung der zentrischen Kieferrelation verglichen mit der maximalen Interkuspidationsposition funktionsgesunder Probanden. Med. Diss. (2006)

[137] WEBER, R., Vereinfachte, aber trotzdem präzise Gnathologie im Masticator. Dtsch Zahnärztl Z 31, 713 (1976)

[138] WINZEN, O., WEIHE, S., Gesamtkonzeption zahnärztlicher Versorgungen von der Diagnostik bis zur CAD/CAM- Fertigung. Digital Dental News 2, 42-47 (2008)

[139] WISSER, W.; DELBACH, H., LOTZMANN, U., Relationsbestimmung mit dem IPR®-System. Vortrag auf der 30. Jahrestag der Arbeitsgemeinschaft für Funktionslehre in der deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Bad Homburg (1997)

[140] WODA, A., PIONCHON, P., PALLA, S., Regulation of mandibular postures: mechanisms and clinical implications, Crit Rev Oral Biol Med 12, 166-178 (2001)

[141] WÖSTMANN, B., VEHRING, A., Die Eignung elastomerer „Bissregistriermaterialien“ zur Verschlüsselung von Stützstiftregistraten, Dtsch Zahnärztl Z 50, Carl Hanser Verlag München, Sonderdruck (1995/6)

[142] WÜHR, E., Form und Funktion des kraniomandibulären Systems. 4-15 (2004)

[143] YAMADA, R., OGAWA, T., KOYANO, K., The effect of head posture on direction and stability of mandibular closing movement. J Oral Rehabil 26, 511-520 (1999)

[144] YAMAMOTO, T., NISHIGAWA, K., BANDO, E., HOSOKI, M., Effect of different head positions on the jaw closing point during tapping movements. J Oral Rehabil 36, 32-38 (2009)

Eidesstattliche Erklärung

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

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

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

14. Juli 2014

Danksagung

Danken möchte ich zuerst der Mecklenburg-Vorpommerschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an den Universitäten Greifswald und Rostock e. V. für die finanzielle Unterstützung dieser Studie, der Firma Dental Balance GmbH Potsdam für die Bereitstellung der IPR®-System Hard- und Software und der Firma IPR®-Systeme für die Bereitstellung der Teile für die Herstellung der Registrierschablonen.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz besonders bei Herrn PD Dr. Torsten Mundt für die Überlassung des Themas, für die vielen wertvollen Tipps und Anregungen, für die umfassende und sachverständige Betreuung sowie für die detaillierte und qualifizierte Unterstützung bei der Versuchsdurchführung und ihrer Auswertung bedanken.

Prof. Dr. Olaf Bernhardt unterstützte mich bei der Erstellung des Studien-Prüfplans und gab wertvolle Hinweise bei der Durchführung der Untersuchungen – vielen Dank.

Herr Dr. Andreas Million nahm sich persönlich viel Zeit, die Untersucher in die Besonderheiten der Bedienung und Auswertung der IPR®-Software 6.0 einzuweisen. Herzlichen Dank dafür.

Sehr dankbar bin ich Herrn ZTM Klaus-Peter Jonas aus Bernau, er stellte den Orthoanalysenstuhl OrthaS® zur Verfügung.

Mein besonderer Dank gilt Herrn ZTM Eckhard Burdach, dem ich meine Begeisterung für die Funktionsanalyse mit dem IPR®-System verdanke und der in seinem Labor in Stralsund die Zahntechniker schulte, die für diese Studie die speziellen Registratunterlagen anfertigten.

Weiterer großer Dank gebührt den Probanden, die sich geduldig und zuverlässig der Untersuchungsprozedur und den Messreihen unterzogen.

Bei Herrn Dr. Christian Schwahn möchte ich mich für die Unterstützung bei der statistischen Aufbereitung der Daten bedanken.

Frau Kati Schiebol unterstützte mich bei Formatierungen der Arbeit und Herr Bernd Laubenstein half mir bei der Anfertigung der Grafiken.

Nicht zuletzt danke ich meiner Ehefrau Birka für ihr Verständnis, dass ich viele Stunden in der Klinik und am Schreibtisch verbracht habe, für die vielen kleinen und großen Hilfestellungen, die moralische Unterstützung und den fortwährenden Ansporn, welches für eine solche Arbeit unabdingbar ist.