

Aus dem Medizinischen Zentrum für
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
und des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Marburg

**Klinisch-experimentelle Evaluation
des Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-Systems
zur maxillomandibulären Relationsbestimmung**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Zahnmedizin
dem Fachbereich Medizin der Phillips-Universität Marburg
vorgelegt von

Heiner Arne Delbach aus Oberhausen (Rheinl.)

Marburg 2005

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am 08.12.2005.

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. B. Maisch

Referent: Prof. Dr. U. Lotzmann

Korreferent: Prof. Dr. M. Gente

Für Lea, Amelie, Beate
und
meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	3
2	Grundlagen.....	5
2.1	Physiologie der Unterkieferbewegungen	5
2.1.1	Kiefergelenk.....	5
2.1.2	Kaumuskulatur.....	7
2.1.3	Bewegungsraum der Mandibula.....	8
2.1.4	Okklusion.....	10
2.1.5	Mandibuläre Referenzpositionen.....	10
2.2	Kondylenbahnaufzeichnung.....	11
2.3	Kieferrelationsbestimmung.....	14
2.3.1	Vertikale Kieferrelation	15
2.3.2	Horizontale Kieferrelationsbestimmung.....	16
2.3.3	Stützstiftregistrierungen	17
2.4	Kaukraftmessungen/Einfluss der Kaukraft auf ein Registrat.....	19
3	Material und Methoden.....	22
3.1	Probanden.....	22
3.2	Intraorale Stützstiftregistrierung mit dem IPR-System (Intraoral Pressuredependent Registration).....	22
3.2.1	Gerätebeschreibung	22
3.2.2	Messgenauigkeit des Messsystems	26
3.2.3	Herstellung und Montage der Modelle und Registrierbehelfe	26
3.2.4	IPR-Registrierung.....	27
3.2.5	Reliabilität des Messsystems.....	28
3.2.6	Versuchsablauf.....	30
3.3	IPR-Registrierung und simultane Kondylenpositionsanalyse mit dem String Condylcomp LR3.....	32
3.4	Statistische Auswertung.....	35

4	Ergebnisse	37
4.1	Reliabilität des Messsystems.....	37
4.2	Vergleich der Ergebnisse des IPR-Systems und des String Condylcomp.....	39
4.2.1	Auswertung der Daten aller Probanden.....	39
4.2.1.1	Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP).....	39
4.2.1.2	Differenzen zwischen „errechneter Position“ (EP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP).....	41
4.2.1.3	Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und „Zone der Verdichtung“ (ZV).....	43
4.2.2	Untersuchung auf geschlechtsspezifische Unterschiede.....	45
4.2.2.1	Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP).....	45
4.2.2.2	Differenzen zwischen „errechneter Position“ (EP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP).....	45
4.2.2.3	Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und „Zone der Verdichtung“ (ZV).....	47
4.3	Kondylenpositionsanalyse	48
5	Diskussion.....	51
6	Zusammenfassung	57
7	Summary	59
8	Literaturverzeichnis	61
9	Anhang	74
9.1	Abkürzungen.....	74
9.2	Nomenklatur.....	74
10	Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	78
11	Danksagung.....	79

1 Einleitung und Zielsetzung

Das orofaziale System stellt einen biologischen Funktionskreis dar, der neben der Koordination lokaler Funktionen wie Kieferbewegungen, Kauen oder Sprachbildung auch adaptive und regenerative Prozesse steuert. Das störungsfreie Funktionieren des orofazialen Systems setzt ein Zusammenspiel aller Einzelkomponenten (Kiefergelenke, orofaziale Muskeln, Kieferskelett, Zähne und Periodontium) voraus. Daher ist es das Ziel zahnärztlicher Behandlung, diesbezüglich auf Dauer individuell optimale Verhältnisse zu schaffen.

Hierbei kommt der Einstellung einer stabilen und interferenzfreien Okklusion eine besondere Bedeutung zu. Unter dem Begriff „Okklusion“ versteht man jeden Kontakt zwischen den Zähnen des Ober- und Unterkiefers und unterscheidet zwischen der „statischen Okklusion“, d. h. jedem Zahnkontakt ohne Bewegung des Unterkiefers, und der „dynamischen Okklusion“, d. h. allen Zahnkontakten bei Unterkieferbewegungen (BLARCOM 1994, LOTZMANN 1999).

Die präzise Zuordnung der Mandibula zur Maxilla stellt die Voraussetzung dar, um im Rahmen prothetisch-restaurativer Maßnahmen eine maximale okklusale Verzahnung von Oberkiefer- und Unterkieferzähnen zu erreichen, bei der sich die Kondylen in ihrer physiologischen Gelenkstellung befinden.

Jeder Verlust oder Stellungsänderungen der Zähne sowie idiopathische oder iatrogene Umformungen der okklusalen Funktionsflächen führen zwangsläufig zu einer Veränderung der intermaxillären Relation und folglich auch zu einer Verlagerung der Kondylen im „Funktionsraum Kiefergelenk“ (LOTZMANN 1994). Abgesehen von kieferchirurgischen Eingriffen und der kieferorthopädischen Therapie, welche die begrenzten Möglichkeiten des artikulären Wachstums berücksichtigt, können Kondylenfehlstellungen ausschließlich über eine Veränderung der Okklusion korrigiert werden (KUBEIN-MEESENBURG 1985). Somit kommt der korrekten dreidimensionalen Zuordnung der Mandibula zur Maxilla im Rahmen der Diagnostik und Therapie funktioneller Störungen des kranio-mandibulären Systems eine besondere Bedeutung zu.

Diese als Kieferrelation bezeichnete physiologische Beziehung gibt die dreidimensionale Lagebeziehung zwischen dem unbeweglichen Oberkiefer und dem beweglichen Unterkiefer an. Die zahnärztliche Kieferrelationsbestimmung

muss verschiedene Lagebeziehungen einschließen: Die schädelbezügliche Kieferrelation des Oberkiefers ist vorrangig für die Übertragung der am Patienten ermittelten metrischen Daten auf einen Artikulator. Die vertikale Kieferrelation („Bisshöhe“) beschreibt den vertikalen Abstand beider Kiefer in okkludierter Stellung. Die horizontale und sagittale Kieferrelation umfasst die Lagebeziehungen beider Kiefer zueinander in horizontaler und sagittaler Richtung (PALLA 1991).

Bis heute existiert keine instrumentelle Technik, die neben einer diagnostischen Eignung zur Untersuchung der funktionellen Bewegungen des Unterkiefers auch die korrekte Übernahme einer adäquaten Unterkieferposition garantiert. Es wird ein zentrisches Registrat benötigt, das am Patienten intraokklusal genommen wird und exakt auf Gipsmodelle übertragen werden kann. Unter den verschiedenen Registrierverfahren haben heute Stützstiftregistrierungen einen festen Platz in der zahnärztlichen Prothetik, aber auch der Funktionsdiagnostik, und sind häufig Gegenstand der Diskussion. Insbesondere wurde wiederholt eine Berücksichtigung der Kaukraft während der Registrierung gefordert (PROBST 1977, HELFGEN et al. 1993a).

Mit Einführung des Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-Systems (Fa. Multident) ist es nun erstmals möglich, intraorale Stützstiftregistrare elektronisch und computergestützt sowohl positions- als auch kraftabhängig aufzuzeichnen.

Ziel dieser Studie war es, neben der Reliabilität des Messsystems auch mögliche Auswirkungen von Kaukraftdifferenzen auf die Kondylenposition zu bestimmen. Im Einzelnen sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Weist das IPR-System eine ausreichende Positionsgenauigkeit und Kräfteichtung des Sensors auf?
2. Stimmt die vom System errechnete und als Basis für die intraorale Verschlüsselung empfohlene Kieferrelation mit der Interkuspitationsposition gesunder Probanden überein?
3. Wirken sich Kaukraftdifferenzen auf die Kondylen- oder die Scharnierachsenposition aus?
4. Kann das IPR-System für die klinische Anwendung empfohlen werden

2 Grundlagen

2.1 Physiologie der Unterkieferbewegungen

Zum Verständnis der funktionellen Zusammenhänge innerhalb des Kauorgans, die auch bei der Herstellung von Zahnersatz zu berücksichtigen sind, sind anatomische, histologische, pathologische und physiologische Kenntnisse unerlässlich. Daher wird im Folgenden ein kurzer Überblick über die wesentlichen Charakteristika der Einzelkomponenten des Kauorgans gegeben.

2.1.1 Kiefergelenk

Das menschliche Kiefergelenk (*Articulatio temporomandibulare*, Abb. 1) ist ein Drehgleitgelenk, das Scharnier-, Schlitten- und Rotationsbewegungen des Kondylus ermöglicht. Es setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen: *Fossa mandibularis*, *Tuberculum articulare*, *Condylus mandibularis*, *Discus articularis*, *Capsula* mit unterstützendem Bandapparat und den *Ligamenta laterale*, *sphenomandibulare* und *stylomandibulare*. Histologisch bestehen die knöchernen Gelenkstrukturen aus einer weitmaschigen *Spongiosa* und einer dünnen geschlossenen *Kompakta*, die von avaskulärem Faserknorpel bedeckt wird (ÖBERG et al. 1971).

Die Gelenkflächen weisen einen vierschichtigen Aufbau auf: oberflächlich liegt eine fibrös-artikuläre Schicht aus Kollagenfaserbündeln und Fibroblasten. Es folgt eine Proliferations- oder Wachstumschicht aus undifferenziertem mesenchymalen Gewebe mit Fibroblasten und Chondroblasten (DE BONT et al. 1985, ÖBERG et al. 1971). Darunter liegt eine Faserknorpelschicht, die aus einem dreidimensionalen Netzwerk von Kollagenfaserbündeln besteht, in das Chondrozyten eingelagert sind. Die Faserknorpelschicht ist gegen die *Spongiosa* durch eine Schicht mineralisierten Knorpels abgegrenzt (DE BONT et al. 1985, ÖBERG et al. 1971, STEINHARDT 1958).

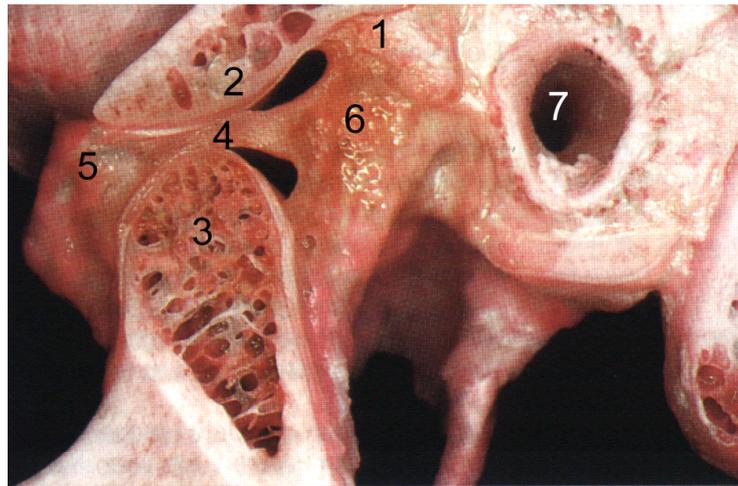


Abb. 1: Menschliches Kiefergelenk im Sagittalschnitt, hier in Öffnungsstellung (aus LOTZMANN 1998, mit freundlicher Genehmigung des Verfassers)

1: Fossa mandibularis, 2: Eminentia und Tuberculum articulare, 3: Kondylus, 4: Discus, 5: M. pterygoideus lateralis, 6: bilaminäre Zone, 7: äußerer Gehörgang

Der eigentlich bewegliche knöcherne Anteil des Kiefergelenkes ist der ellipsoide Kondylus, dessen Gelenkflächen von einer gefäßlosen Faserknorpelschicht überzogen sind. Ihm sitzt der Diskus auf, der das Gelenk in eine größere obere und eine kleine untere Kammer teilt (GRIFFIN & SHARPE 1960, HANSSON et al. 1977, SCHUMACHER 1972) und die Aufgabe hat, die Inkongruenz der knöchernen Strukturen auszugleichen (FUCHS 1986). Der Diskus besteht aus einem anterior-zentralen und kompakten Teil und einem posterioren bindegewebigen Teil (DIXON 1962, ÖBERG et al. 1971). Der anteriore Anteil ist gefäßlos, zellarm und enthält ein dichtes Netz von Kollagenfaserbündeln, die in alle Richtungen des Raumes orientiert sind (THILANDER 1964). Dorsal geht der Diskus in lockeres, vaskularisiertes Bindegewebe über, das sich in zwei Blätter, die „bilaminäre Zone“ spaltet. Deren oberes Blatt, das Stratum superius, enthält kollagene und zahlreiche dicke elastische Fasern, während das untere Stratum inferius aus straffem, wenig dehnbarem kollagenem Bindegewebe besteht und den Diskus an der dorsalen kondylären Gelenkfläche fixiert (DIXON 1962, REES 1954).

Umschlossen wird das Kiefergelenk von der Gelenkkapsel aus lockeren, elastischen Fasern, welche die ausladenden Unterkieferbewegungen zulässt. Histologisch kann man an der Kapsel das äußeres Stratum fibrosum und das dem Gelenkspalt angrenzende Stratum synoviale unterscheiden. Die schwache Kapsel wird durch das straffe Ligamentum laterale verstärkt, welches vom Jochbogenfortsatz zum Hals des Kondylus zieht und – unterstützt von den Ligamenta stylomandibulare und sphenomandibulare – die Unterkieferbewegungen begrenzt (GEERING 1978, SICHER 1960).

2.1.2 Kaumuskulatur

Das komplexe Bewegungsmuster des Unterkiefers gegenüber dem Oberkiefer wird durch das Zusammenspiel von Kau- und Kauhilfsmuskulatur ermöglicht. Zur eigentlichen Kaumuskulatur werden der M. masseter, der M. pterygoideus medialis, der M. temporalis sowie der M. pterygoideus lateralis gerechnet. Die akzessorisch beteiligte Muskulatur umfasst die mimische Muskulatur, die kraniale und kaudale Zungenbeinmuskulatur, die Zungenmuskulatur, die Gaumen- und Schlundbogenmuskulatur, die Schlund- und Kehlkopfmuskulatur sowie die Hals- und Nackenmuskulatur (LOTZMANN et al. 1989, MATUSO et al. 1992, LOTZMANN und STEINBERG 1993).

Der kräftigste Kaumuskel, der M. masseter, ist maßgeblich am Kieferschluss beteiligt und besteht aus zwei Portionen. Die Pars superficialis setzt schräg verlaufend am Unterrand des Os zygomaticum an, Die Pars profunda verläuft in senkrechten Faserzügen vom Os zygomaticum, Arcus zygomaticus und Fascia temporalis ausgehend. Beide Portionen enden in der Tuberositas masseterica an der Außenseite des Angulus mandibulae.

Die Mm. pterygoidei bestehen aus dem M. pterygoideus lateralis und medialis. Der seitliche Muskel verbindet Keilbein und Maxilla mit der Mandibula und ermöglicht das Vorschieben des Unterkiefers. Bei einseitiger Muskelanspannung bewegt sich der Unterkiefer seitlich („Mahlbewegungen“).

Der M. temporalis entspringt von der Fläche zwischen Linea temporalis inferior, Planum temporale bis zur Crista infratemporalis und der Lamina profunda fasciae temporalis und zieht zur Spitze und medialen Fläche des Proc. coronoi-

deus und des Ramus mandibulae. Die Funktion besteht in der Rückführung des Unterkiefers und dem Kieferschluss.

Der *M. pterygoideus lateralis* wird als zweiköpfiger, selten als dreiköpfiger Muskel beschrieben (TROIANO 1967). Der größere untere Kopf entspringt an der Außenfläche der Lamina lateralis des Processus pterygoidei und inseriert in der Fossa pterygoidea am Hals des Kondylus, der kleinere obere Kopf zieht von der Facies temporalis des großen Keilbeinflügels und zieht in das mediale Drittel des anterioren Diskusbandes ein (REES 1954). Der *Musculus pterygoideus lateralis* ist bei doppelseitiger Kontraktion an der Protrusion und Abduktion der Mandibula beteiligt. Der obere Kopf wird bei Schließbewegungen aktiv. Seitwärtsbewegungen erfolgen bei kontralateraler Kontraktion mit Unterstützung der übrigen Kaumuskulatur (GRANT 1973).

Der *M. digastricus* entstammt mit seinem posterioren Bauch der Incisura mastoidea des Schläfenbeins und mit seinem anterioren Bauch der Fossa digastrica mandibulae. Er hebt das Zungenbein und bewirkt durch Herabziehen des Unterkiefers die Mundöffnung.

An den gleichen Funktionen ist auch der *M. mylohyoideus* beteiligt, der von der Linea mylohyoidea mandibularis zum Zungenbeinkörper sowie zur medianen Raphe zwischen Mandibula und Hyoid reicht.

2.1.3 Bewegungsraum der Mandibula

Der Bewegungsablauf des Unterkiefers vollzieht sich in der Horizontal-, Sagittal- und Frontalebene des Schädels. Vereinfacht lässt sich die komplexe Unterkieferbewegung daher mit einem Dreiachsensystem als Anschauungsmodell beschreiben, dessen Nullpunkt im Kondylus liegt. Die Scharnierachse hat dabei in Bezug auf den Unterkiefer eine feste Position (transversale Verbindung der beiden Kondylenmittelpunkte), die jedoch in Bezug auf den Oberkiefer variabel ist (KUBEIN et al. 1980).

Der Unterkiefer des bezahnten Patienten bewegt sich in der Sagittalebene innerhalb der gelenkfernen Region des Inzisalpunktes aufgezeichneten Grenzbahnen in der von POSSELT (1952) beschriebenen Weise (Abb. 2).

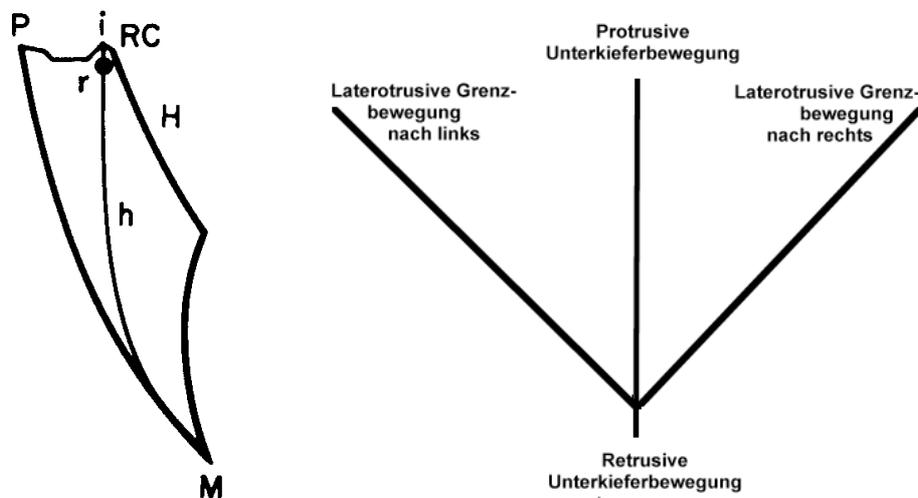


Abb. 2a: Links: POSSELT-Diagramm: Unterkieferbewegung in der Medianebene
 P = protrudierte Kontaktposition, RC = retrudierte Kontaktposition, r =
 Ruheposition, H = terminale Scharnierachsenbewegung, h = habituelle
 Schließbewegung, M = maximale Öffnung, i = Interkuspitationsposition
 (POSSELT 1958)

Abb. 2b: Rechts: Das Pfeilwinkeldiagramm zeigt die Grenzbewegungen des
 Unterkiefers in der Horizontalebene bei der Protrusion und Laterotrusion

Die Kondylenbewegungen verlaufen in der Sagittalebene auf einer gekrümmten Bahn. Zur Bestimmung der Neigung dieser Bahn (=Kondylenbahnwinkel), die für die Erstellung eines funktionellen Zahnersatzes von großer Bedeutung ist, wird der Winkel zwischen einer Geraden durch zwei Punkte der Kondylenbahn und einer Referenzebene durch zwei Schädelbezugspunkte bestimmt.

In der horizontalen Ebene unterscheidet man zwischen Seitwärtsbewegungen, die der Unterkiefer von der Medianebene fort (Laterotrusionsseite, Arbeitsseite) oder auf diese zu (Mediotrusionsseite, Nichtarbeitsseite) vollführt. Bei der Laterotrusion erfährt der Arbeitskondylus in der Regel eine Lateralverlagerung (=Bennettbewegung). Projiziert man die Grenzbewegungen des Unterkiefers in der Horizontalebene, erhält man ein typisches „Pfeilwinkel“-Muster, auch als Gotischer Bogen bezeichnet (vgl. Abb. 2b). Hierbei stellt die Spitze des Pfeil-

winkels die retralste Unterkiefer-Position dar, aus der noch zwanglos Laterotrusionen möglich sind.

2.1.4 Okklusion

Der Begriff Okklusion bezeichnet alle Kontaktbeziehungen zwischen Oberkiefer- und Unterkieferzähnen (BLARCOM 1994, LOTZMANN 1999). Unter statischer Okklusion werden Zahnkontakte ohne Bewegung des Unterkiefers verstanden. Man unterteilt sie in zentrische, habituelle und maximale Okklusion. Der Terminus zentrische Okklusion beschreibt diejenigen Zahnkontakte, bei denen sich die Kondylen in zentrischer Kondylenposition befinden. Als habituelle Okklusion bezeichnet man die gewohnheitsmäßig eingenommenen Zahnkontakte. Bei der maximalen Okklusion besteht der maximale Vielpunktkontakt (BUMANN und LOTZMANN 2000).

Im Gegensatz zur statischen Okklusion beschreibt die dynamische Okklusion die Zahnkontakte, die bei Bewegungen des Unterkiefers auftreten (BLARCOM 1994, LOTZMANN 1998). Hierbei sind klinisch drei Konzepte bedeutsam: Die Front-/Eckzahn-geschützte Okklusion garantiert eine Disklusion aller übrigen Zähne und ist technisch am leichtesten zu realisieren. Zusätzlich wird eine sogenannte sagittale Protektion erreicht, d.h. bei Laterotrusionen wird das Abgleiten des Kondylus in die sensible bilaminäre Zone verhindert. Die unilateral balancierte Okklusion oder Gruppenführung beschreibt die Führung aller Zähne der Laterotrusionsseite mit Disklusion der Gegenseite. Diese Gruppenführung besteht bei der Mehrheit der jungen Erwachsenen. Bei der bilateral balancierten Okklusion haben alle Zähne bei Unterkieferbewegungen Kontakt. Die beidseitig balancierte Okklusion ist im natürlichen Gebiss nur schwer zu realisieren. Im individuellen Fall können Balancekontakte jedoch therapeutisch vorteilhaft sein (BUMANN und LOTZMANN 2000).

2.1.5 Mandibuläre Referenzpositionen

Zur Beschreibung des Funktionsablaufes der Unterkieferbewegungen werden aus der Vielzahl aller möglichen Unterkieferstellungen als Referenzlagen ver-

schiedene mandibuläre oder kondyläre Hauptpositionen herangezogen, von denen die für diese Studie wichtigsten kurz vorgestellt werden:

Die **Ruhelage** bezeichnet die unbewusste Abstandshaltung des Unterkiefers zum Oberkiefer.

Unter der **maximalen Interkuspitationsposition** versteht man die maximale Okklusion, d. h. den maximalen Vielpunktkontakt bei bestmöglicher Verzahnungstiefe („Schlussbissstellung“). Die maximale Interkuspitation fixiert die Mandibula in ihrer Kraniallage und definiert somit auch die mandibulo-maxilläre Vertikaldimension des Patienten. Die **habituelle Interkuspitationsposition** kann, muss aber nicht mit der maximalen Interkuspitation übereinstimmen. Sie entspricht der Okklusion, die vom Patienten gewohnheitsmäßig eingenommen wird.

Bei der **zentrischen Okklusion** handelt es sich um jene maximale Interkuspitation, bei der beide Kondylen eine physiologische Stellung einnehmen. Die zentrische Kondylenposition beschreibt die kranio-ventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHNÄRZTLICHE PROTHETIK UND WERKSTOFFKUNDE e.V. 2002).

Alle genannten Positionen stellen „Start“- und „Zielpunkte“ für die Unterkieferbewegungen dar, d. h. für Depression und Elevation, Laterotrusion und Mediotrusion, Protrusion und Retrusion sowie Lateroprotrusion und Lateroretrusion (LOTZMANN 1998).

2.2 Kondylenbahnaufzeichnung

Schon GYSI (1910) zeigte, dass eine direkte Beurteilung der Kiefergelenkfunktion am einfachsten ist, wenn die Unterkieferbewegungen in Gelenknähe registriert werden (KLETT 1982, MEYER 1989, 1993). Gelenknahe scharnierachsenbezogene Aufzeichnungen der Kondylenbahn dienen diagnostischen Zwecken und liefern Daten für die Justierung der sagittalen und horizontalen Kondylarbahn der Artikulatoren (MEYER 1993, FUHR und REIBER 1995).

Zur Registrierung der individuellen Bewegungen der Kiefergelenke werden Positionsregistrare („Check-Bite“) (CHRISTENSEN 1960) oder Registrierbogen angegeben, die über Klemmen am Unterkiefer befestigt werden (LAURITZEN 1976, SLAVICEK und LUGNER 1978).

Die feste Position der Scharnierachse in Bezug auf den Unterkiefer ist die Grundlage ihrer Verwendung als Bezugspunkt für die Aufzeichnung der Unterkieferbewegung. Hierfür kommen zwei Verfahren zum Einsatz: Bei der Pantographie werden mit Hilfe eines speziellen Instrumentariums die Unterkieferbewegungen extraoral auf kleine Schreibplatten aufgezeichnet. Bei der Achsiographie, einer Sonderform der Pantographie, wird zunächst die terminale Scharnierachse des Patienten so genau wie möglich lokalisiert, um dann die Unterkieferbewegungen oder genauer die Bewegungen der ermittelten Scharnierachse auf gelenknah in der Sagittalen angebrachten Registrierplatten aufzuzeichnen (LOTZMANN 1998).

JÄHNIG et al. (1980) wiesen an Hand der pantographischen Funktionsuntersuchung mit paraokklusalen Löffeln darauf hin, dass mit Hilfe solcher Messanordnungen die mechanischen Auswirkungen okklusaler Störungen gut erfasst werden können.

Unter den pantographischen Verfahren bietet der Mastikator nach Weber die Möglichkeit, die Montagezentrik graphisch anhand der Bewegungsaufzeichnung mit großer Genauigkeit dreidimensional zu bestimmen und damit auf Wachsregistrare verzichten zu können. Die Weiterentwicklung des Mastikators in Verbindung mit einem fixierbaren mechanischen Kontrollsockel erlaubt eine direkte visuelle Kontrolle der räumlichen Zuordnung von Unter- und Oberkiefer bis hin zur Montage (WEBER und STACHNISS 1982, STACHNISS 1984).

Während die Betrachtung der Kieferbewegung mit Hilfe von Artikulatoren eine Simulation darstellt, erlaubt die Achsiographie die direkte Beurteilung der kondylären Bewegung (HEISER und SLAVICEK 1986, JÄHNIG und KUBEIN 1984, KUBEIN et al. 1980). Ein ideales Achsiogramm weist in der Sagittal-Vertikal-Ebene eine nach kaudal konvexe oder S-förmige Krümmung ohne abrupte Richtungswechsel auf, während die Bewegung in der Sagittal-Horizontal-Ebene geradlinig entlang der x-Achse erfolgen sollte (SLAVICEK 1984). Abwei-

chungen von diesem Idealverlauf weisen auf primäre oder kompensatorische Bewegungsstörungen hin.

Als Vorteil der paraokklusalen Achsiographie wird beschrieben, dass sie jede Scharnierachsenposition in ihrer Relation zu okklusal und nonokklusal geführten Scharnierachsenbahnen direkt darzustellen vermag (JÄHNIG et al. 1980, SLAVICEK 1980, 1984, LOTZMANN 1987, LUCKENBACH und FREESMEYER 1985). Jedoch kann der an der Mandibula fixierte Registrierbogen in Abhängigkeit von seinem Gewicht und seiner Schwerpunktlage die neuromuskuläre Steuerung der Mandibula nachweislich beeinflussen (FREESMEYER et al. 1984, LOTZMANN und KOBES 1988).

KOECK (1973) untersuchte die Reproduzierbarkeit der graphischen Bestimmung der sagittalen Kondylenbahn und fand heraus, dass in einer Protrusionsstellung von 3 mm die mittlere Abweichung rechts $\pm 2,27^\circ$, links $\pm 2,35^\circ$, in einer Protrusionsstellung von 5 mm rechts $\pm 0,75^\circ$, links $\pm 0,88^\circ$ und in einer Protrusionsstellung von 7 mm rechts $\pm 1,2^\circ$, links $\pm 1,1^\circ$ betrug. Wurde die Bestimmung der sagittalen Kondylenbahn jeweils viermal wiederholt, betrug die Streuung bei intraoraler Messung maximal 4° , bei extraoraler Messung jedoch 8° (SETZ 1971); PRETI und SCOTTI (1982) fanden bei zweifacher Wiederholungen Abweichungen von 2° .

Heute wird die mechanische Kondylenbahnaufzeichnung zunehmend von elektronischen Verfahren abgelöst. Hier wird neben der manuell bestimmten Scharnierachse als Berechnungsgrundlage das Bewegungszentrum der Kondylen mathematisch durch den Computer berechnet (FREESMEYER et al. 1984). Die Ergebnisse der mechanischen und elektronischen Aufzeichnungen können erheblich voneinander abweichen. Dies ist im wesentlichen auf die projektionsbedingten Verzeichnungen der Scharnierachsenbewegungen, wie sie bei rein graphischen Messsystemen auftreten, zurückzuführen. Diese Verzeichnungen werden den elektronischen Systemen weitgehend rechnerisch korrigiert (FREESMEYER et al. 1984).

Die Möglichkeiten der elektronischen Aufzeichnungen gehen aber über die mechanischen Methoden weit hinaus. Beispielsweise werden mittels eines berührungslosen und fremdlichtkompensierten Lichtreflexionsverfahrens in Kiefergelenknähe an verschiedenen Messorten alle möglichen Freiheitsgrade der

dreidimensionalen Bewegung (Translationen und Rotationen) erfasst (PRÖBSTER und BENZING 1990). Die Messdaten werden von einem Mikroprozessor initial verarbeitet, linearisiert, über eine serielle Schnittstelle einem PC zugeleitet, dort in Echtzeit dreidimensional ausgewertet und am Monitor dargestellt (OTT et al. 1991). Neben der Bestimmung der terminalen Scharnierachse kann jeder beliebige Unterkieferpunkt in seinem dreidimensionalen Bewegungsablauf registriert und auch die Messung des Interokklusalabstandes und der Frontzahnführung durchgeführt werden.

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

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

2.3 Kieferrelationsbestimmung

Die möglichst präzise und reproduzierbare Registrierung und Fixierung der Relation des Unterkiefers zum Oberkiefer ist erforderlich, um Aufbissbehelfe oder Zahnersatz im okklusalen Bereich exakt kontrollieren und später ohne größere Einschleifarbeiten eingliedern zu können, ferner ist sie für die Funktionsdiagnostik von Bedeutung (UTZ et al. 1992).

Die Auffassung über die physiologisch richtige Unterkieferposition, deren Festlegung und Übertragung auf den Artikulator, ist von den Erkenntnissen der jeweiligen Epochen und dem gültigen Verständnis von Anatomie und Physiologie des Kausystems abhängig (GERNET 1980). LOTZMANN (1994) weist darauf hin, dass bis heute weder in der Lehre noch in der Praxis ein allgemein anerkanntes theoretisches und praktisches Konzept zur physiologischen Kondylenpositionierung existiert. Nach MEYER (1993) lässt sich die Vielzahl der unterschiedlichen Konzepte zur physiologischen Zuordnung der Kondylen in

der Fossa articularis inhaltlich in eine primär ligamentäre oder biomechanische oder neuromuskuläre Kondylenposition differenzieren.

In den letzten Jahren bevorzugen zahlreiche Autoren die Einstellung der Unterkieferlage in der neuromuskulär determinierten Zentrik (GERBER 1970, GERNET 1980, HUPFAUF 1971, SPERR 1978, DIEDRICHS und KORDASS 1993). Referenzposition ist die zentrische Kondylenposition, definiert als nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei intakter Diskus-Kondylus-Relation und physiologische Belastung der beteiligten Gewebe.

Als Kieferrelation wird die vertikale, sagittale und transversale Lagebeziehung der Kiefer zueinander unter Berücksichtigung der Ruhelage des Unterkiefers und der Kondylenposition bezeichnet (FUHR und REIBER 1993). Die Bestimmung der vertikalen Kieferrelation (Bisshöhe) muss der Bestimmung der horizontalen Kieferrelation vorausgehen, da eine vertikale Änderung zwangsläufig eine horizontale Änderung in sagittaler Richtung nach sich zieht.

2.3.1 Vertikale Kieferrelation

Bei der Bestimmung der vertikalen Kieferrelation unterscheidet man zwischen physiologischer und physikalischer „Bisshöhe“. Die physiologische Bisshöhe bezeichnet die unbewusste Abstandhaltung des Unterkiefers zum Oberkiefer bei geschlossenen Lippen. Sie hängt vom Aktivitätszustand der Adduktoren ab, der zum Ausgleich der nach kaudal gerichteten Schwerkraft erforderlich ist. Unter physikalischer Bisshöhe wird die Relation des Unterkiefers zum Oberkiefer bei retrudierter Kontaktpunktposition verstanden (HUPFAUF 1971, KOECK und BIERWIRTH 1986).

Die vertikale Lage des Unterkiefers ist durch die Okklusion der natürlichen Zähne vorgegeben. Ein ausreichender Interokklusalabstand („free way space“) ermöglicht der Muskulatur eine beschränkte Variation des über die Gammamotrik gesteuerten Ruhetonus, ohne dass die somit schwankende Ruheschwebelage des Unterkiefers und die Einstellung der Muskelspindelempfindlichkeit durch okklusale Kontakte gestört wird. Die Normwerte werden mit 1-4 mm angegeben (LOTZMANN 1998).

Bei zahnlösen Patienten werden für die Bestimmung der vertikalen Kieferrelation als Bezugsgrößen der Sprechabstand, die Schluckposition, physiognomische Positionen sowie kephalometrische Werte angegeben (FUHR und REIBER 1993, POUND 1977, ROSSBACH und POLANETZI 1975, TRYDE et al. 1974).

2.3.2 Horizontale Kieferrelationsbestimmung

Bei der horizontalen Kieferrelationsbestimmung werden prinzipiell zwei Methoden diskutiert: die Bestimmung der muskelgeführten Kieferrelation, die ihrerseits in die Position nach habituellen und nach stiftgeführten Unterkieferbewegungen unterscheidbar ist, und die Bestimmung bei manuell geführten und ligamentär definierter Unterkiefer-Position (FUHR und REIBER 1993).

Die habituelle, gewohnheitsmäßig eingenommene Position muss nicht zwangsläufig mit der maximalen Interkuspitation identisch sein. Sie kann als mandibuläre Schonhaltung deutlich von der maximalen Interkuspitationsposition abweichen. Zumeist erfolgt dann die stabile intermaxilläre Abstützung über weitgehend horizontal geneigte Abrasionsfacetten (LOTZMANN 1994).

Die retrudierte Position ist weitgehend reproduzierbar, da manuell eine Grenzposition herbeigeführt wird, bei der sich die Kondylen in einer retralen, kranialen und seitengleichen Stellung befinden (UTZ 1990). Hierfür sind sehr viele verschiedene Methoden entwickelt worden, von denen die meisten keine große Verbreitung gefunden haben. Hier sind der Masseter-Griff (GYSI 1930), die Walkhoff'sche Bisskugel (SCHUYLER 1932, WALKHOFF 1926), die Beißkraft-Bestimmung (BOOS 1940), die Kalotten-Bissnahme (FEHR 1948), die Aufzeichnung des Adduktionsfeldes (SPRING 1953), das Mundwinkel-Phänomen (KÖHLER 1958), die Schluckbissnahme (HROMATKA, 1959, SPRING 1953), der Resultantenbiss (SILVERMAN 1964) oder die Myo-Monitor-Registrierung (JANKELSON et al. 1975) zu nennen (UTZ et al. 1994).

Heute sind die sogenannte Handbissnahme (HANAU 1929, LAURITZEN 1972), die Stützstiftregistrierung (PHILLIPS 1927, GYSI 1930) und die Aufzeichnung des Adduktionsfeldes (DENEN 1938, SPRING 1953) üblich (UTZ et al. 1994).

Geht man davon aus, dass die Gelenkposition für den Aufbau des okklusalen Komplexes vorrangigen Einfluss haben sollte, wird man die Handbissnahme oder die Stützstiftregistrierung heranziehen. Soll dagegen der Muskulatur die überragende Bedeutung für eine stabile Lagerung von Zahnersatz während des Kieferschlusses zukommen, so wird man eher Methoden wie die Aufzeichnung des Adduktionsfeldes oder auch die Schlussbissnahme oder die Registrierung mit Hilfe des Myo-Monitors heranziehen. Die resultierenden Unterkieferpositionen werden sich entsprechend sowohl in der Stellung der Kiefergelenke als auch in ihrer Reproduzierbarkeit unterscheiden (UTZ et al. 1993).

UTZ et al. (1994) betonen, dass es mit der zentralen Stützstiftregistrierung grundsätzlich möglich ist, sowohl eine zentrische Kondylenposition aber auch eine muskeldominante Unterkieferhaltung festzulegen.

2.3.3 Stützstiftregistrierungen

Als Voraussetzung für die Verwendbarkeit einer intraoralen Stützstiftregistrierung erkannte McGRANE (1949), dass nur durch Ausschaltung eines flächigen Kontaktes zwischen Ober- und Unterkiefer die sonst unvermeidlichen fehlerhaften Fixierungen der Bisslage vermieden werden können. Alle heute bekannten Verfahren sind nichts anderes als instrumentelle Modifikationen der von McGRANE begründeten Methode (GERBER 1955, KOLNDORFFER und WILLNER 1988).

Mit Hilfe eines zentralen Stützstiftes, der in der Oberkieferplatte angebracht wird, kann auf einer im Unterkiefer horizontal verlaufenden Schreibplatte ein Pfeilwinkel (Gotischer Bogen) aufgezeichnet werden. Der Pfeilwinkel ist spiegel- und seitenverkehrt, er schließt die Unterkiefer-Grenzbewegungen ein. Die Spitze stellt die retralste Unterkiefer-Position dar (= „Central bearing point“), aus der noch zwanglos Laterotrusionen möglich sind.

UTZ et al. (1992) fassen die möglichen Probleme beim Einsatz der intraoralen Stützstiftmethode zur Registrierung Vollbezahnter wie folgt zusammen:

Patient	- große Zunge
	- verspannte Kaumuskulatur
	- Unvermögen der Ausführung erforderlicher Unterkieferbewegungen
	- unkontrollierte „Beißkraft“ des Patienten während der Registrierung
	- unterschiedliche Kopfhaltung
Behandler	- methodische Fehler
	- zu große Sperrung des Bisses
	- Platzierung des Stützstiftes außerhalb der Zahnbogenmitte
	- Festlegen der Pfeilspitze bei abgerundetem Pfeil
	- Platzierung des Lochplättchens auf der Pfeilwinkelspitze
sonstiges	- Sitz der Registrierschablonen

Große Aufmerksamkeit wurde der Frage gewidmet, welche Positionierung des Stützstiftes bei unbezahnten Patienten am geeignetsten ist. McGRANE (1949) sowie GERBER (1955) positionierten den Stift möglichst nahe im Zentrum der Oberkieferschablone („central bearing point“), um eine gleichmäßige Belastung der Kieferschleimhaut zu erzielen. Aus dem gleichen Grund befürwortete ROSSBACH (1972) eine Lage der Pfeilwinkelspitze im Zentrum der Unterkieferschablone, während er eine dezentrale Lage im Oberkiefer als weniger wichtig einstufte. KÜHL (1968) definierte als günstigsten Punkt – ebenfalls über den Unterkieferkamm - „den Schnittpunkt der Medianen mit der Halbierenden der Strecke zwischen dem Vorderrand des Tuberculum alveolare beidseits und dem höchsten Punkt des Kieferkamms im Bereich der Inzisiven. Ausgehend von der letztgenannten Methode fand JAKSTAT (1993), dass die optimale Registrierstiftlage im Mittel $0,2 \pm 3,3$ mm ventral der nach KÜHL bestimmten Position liegt und führte als vereinfachte Berechnungsgrundlage folgende Definition ein: „Die Strecke zwischen dorsaler und ventraler Begrenzung des Lagers wird bei $3/4$ der Länge von dorsal aus in der Medianen für die Stiftposition markiert.“

Als Nachteil der intraoralen Stützstiftregistrierung kann sich die Tatsache auswirken, dass die Aufzeichnung eine Bissperre voraussetzt, die in der Regel die vertikale Kieferrelation in Ruhelage übersteigt (UTZ et al. 1994).

Zur Fixierung der mit der Pfeilstiftregistrierung aufgenommenen Positionen wurde jahrzehntelang Abformgips benutzt. Seit einiger Zeit werden auch additionsvernetzende Hartsilikone angeboten, die leicht verarbeitbar sind und eine lange Lagerungsstabilität besitzen. Diese sind jedoch beim vollbezahnten Patienten nur bedingt geeignet (WÖSTMANN und VEHRING 1994) und weisen zudem eine geringere Genauigkeit als Abdruckgips auf. In Abhängigkeit vom verwendeten Silikon wurden Abweichungen bis zu 1 mm festgestellt (WÖSTMANN und VEHRING 1995).

2.4 Kaukraftmessungen/Einfluss der Kaukraft auf ein Registrat

Zur maximalen Kraftentfaltung der Kaumuskelatur wurden zahlreiche Studien publiziert, die meist die für den Kieferschluss notwendige Zugrichtung der Kaumuskelatur in der Vertikalebene untersuchen (Übersicht bei HELFGEN et al. 1993a). Die Krafteinwirkungen auf die Unterkieferzahnreihe bei horizontalen Mandibularbewegungen untersuchten LEFF (1966), PROBST (1977) sowie HELFGEN et al. (1993a) und konnten Zusammenhänge zwischen der maximalen Kraftentfaltung der beteiligten Muskulatur, der reflektorischen Muskelkraftverringerng durch parodontale Rezeptorenaktivierung und der Größe inzisaler beziehungsweise okklusaler Schliiffacetten aufzeigen.

Eine Vielzahl von Studien beschäftigte sich mit den beim Kauen eingesetzten Kräften, die allerdings aufgrund der verwendeten Testmaterialien zu stark differierenden Ergebnissen führten (Übersicht bei NAKASHIMA et al. 1989). NAKASHIMA et al. (1989) setzten daher definierte, gefärbte Granula ein und stellten fest, dass auch mit einer standardisierten Testnahrung eine hohe individuelle Variationsbreite der Werte auftrat. Sie folgerten, dass eine Person auch bei häufigen Testwiederholungen nicht in der exakt gleichen Weise kaut.

Der Einfluss der Muskelkraft bei der Stützstiftregistrierung ist dagegen noch wenig untersucht. Da die Pfeilwinkelmethode eine aktive muskuläre Mithilfe des Probanden erfordert und bekannt ist, dass die bei der Pfeilwinkelregistrierung vom Probanden eingesetzte Kraft die Kondylenposition beeinflussen kann (JÜDE et al. 1990, UTZ et al. 1992), vermuteten YURKSTAS und KAKPUR (1966) sowie FRENTZEN (1971) eine mögliche negative Beeinflussung der Resultate in Abhängigkeit von der Kraft.

Einige Studien wiesen nach, dass die Positionierung des Stützstiftes für die Selbstzentrierung der Gelenke eine untergeordnete Rolle spielt, während der Kieferschlusskraft eine größere Bedeutung zukommt (JÜDE et al. 1990, VOGEL et al. 1990, JAKSTAT 1993).

JÜDE et al. (1990) untersuchten den Einfluss der Kieferschlusskraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in der Sagittalen. Sie wählten als Ausgangspunkt der Registrierung den Schnittpunkt der Medianen mit der Verbindungslinie der mesialen Approximalkontakte von Zahn 16 und 26 und verschoben von dort aus den Stift in Millimeterschritten nach ventral und dorsal. Bei Erhöhung der Kieferschlusskräfte von einer Vorspannung von 1 N auf 10 N und 30 N kam es zu deutlichen Kippungen und Verschiebungen der Registrierplatten in unterschiedliche Richtungen, die im Bereich der Kauflächen zu einem vertikalen Fehler von 0,8 mm führten. Eine fehlende Einheitlichkeit der Ergebnisse und das Fehlen eines Trends bei vollbezahnten Patienten ließen JÜDE et al. (1990) vermuten, der Position des Stützstiftes käme nicht die bis dato angenommene Bedeutung zu.

In einer weiteren Studie untersuchten JÜDE et al. (1991) den Einfluss der Kraft und die Veränderung der Stützstiftposition aus der Medianen heraus nach lateral auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung. Bei der Mehrheit ihrer Patienten kam es zu Kippungen in Richtung auf eine Vorzugsseite, zu der bei Erhöhung der Kieferschlusskraft unabhängig von der Position des Stützstiftes der Unterkiefer häufiger abkippte. Daher scheinen die Unterkieferelevatoren keinen gleich starken Zug zu entwickeln, sobald der Stützstift mit der Schreibplatte im Gegenkiefer in Kontakt kommt.

JÄGER und SCHNEIDER (1992) stellten mit Hilfe von Kaukraft-Verlaufsmessungen fest, dass bei gestörter Okklusion kein nennenswerter Kaukraftanstieg eintrat und folgerten, lokale Störungen könnten offensichtlich via Regelkreis einfach kompensiert werden. Dagegen entglitt bei Stresseinwirkung die Kaukraftsteuerung dem lokalen Kontrollmechanismus und die Kraft stieg bis 600 % an, d. h. dass bei spezifischen zentralen Störungen das übergeordnete ZNS eine Reaktionskette auslöst, welche die lokalen Rezeptoren in Desmodont und Kaumuskulatur unterdrückt. Auf diese Weise können auch mandibuläre Funktionsstörungen verstärkt werden. Elektromyographische Untersuchungen zeigten bei Patienten mit Kiefergelenksymptomen eine erhöhte Muskelaktivität

(KAPPERT et al. 1989, SCHMIDT et al. 1991), die durch Biofeedback (MÜLLER 1989) und durch transkutane Elektroneurostimulation (FRUCHT et al. 1995) bei einem Teil der Probanden verringert werden konnte.

3 Material und Methoden

3.1 Probanden

Die Untersuchungen wurden an 30 Probanden (27 Zahnmedizinstudenten aus dem 9. Semester, 2 Zahnarzhelferinnen und ein Zahnarzt) durchgeführt. Es handelte sich um 15 Frauen mit einem Durchschnittsalter von $24,3 \pm 3,0$ Jahren und 15 Männer im Alter von $27,3 \pm 2,1$.

Einschlußkriterien: - Angle-Klasse I oder II

- vollbezahnt
- kein Deckbiss > 5 mm
- keine Fehlstellungen
- keine erhöhte Zahnbeweglichkeit
- funktionsgesund

3.2 Intraorale Stützstiftregistrierung mit dem IPR-System (Intraoral Pressuredependent Registration)

3.2.1 Gerätebeschreibung

In Abb. 3 sind schematisch die Komponenten des IPR-Messsystems dargestellt.

Das IPR-System besteht aus einer elektronischen Registrierplatte (Sensor), die über ein Anschlusskabel mit dem Messsystem verbunden ist (Abb. 4). Der Sensor ist in den Unterkiefer einzusetzen und enthält Kraftaufnehmer, die über eine runde Schreibplatte die Lage des Stützstiftes sowie die Kieferschlußkraft auf die Platte registrieren. Er ermöglicht eine kontinuierliche, interferenzfreie zweidimensionale Aufzeichnung der horizontalen Unterkieferbewegung bei gleichzeitiger Reproduktion der aufgewandten Kieferschlußkraft. Die Messfläche hat die Form eines gleichseitigen Dreiecks mit einer Seitenlänge von 14 mm, so dass eine Fläche von $0,85\text{cm}^2$ entsteht.

Der elektrische Anschluss wird vom Sensor aus als flexible Leiterplatte (8 mm breit und 0,26 mm dick) herausgeführt und ist in einem Abstand von 10 cm über einen Flachsteckverbinder vom Anschlusskabel trennbar. Der Sensor ist mit einem Flachbandanschluss dampfsterilisierbar.

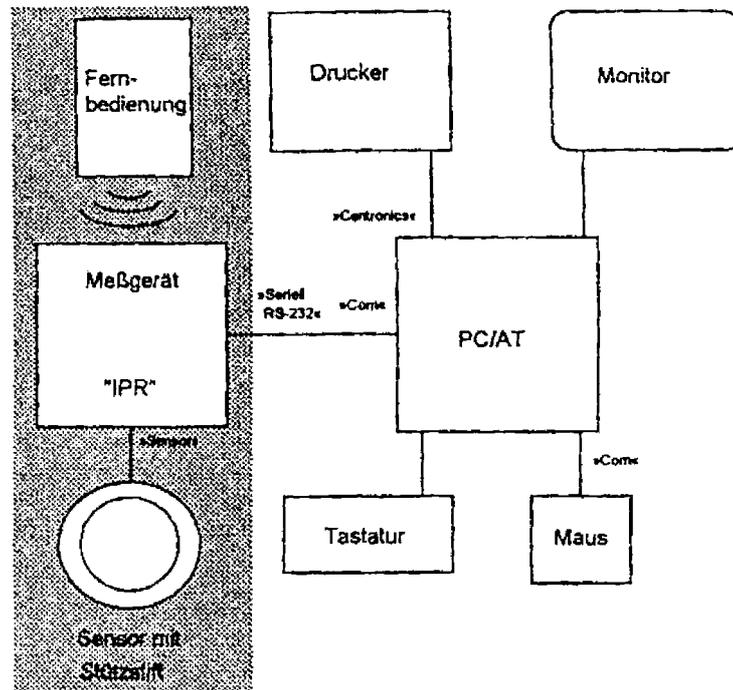


Abb. 3: Systematischer Aufbau des IPR-Messsystems

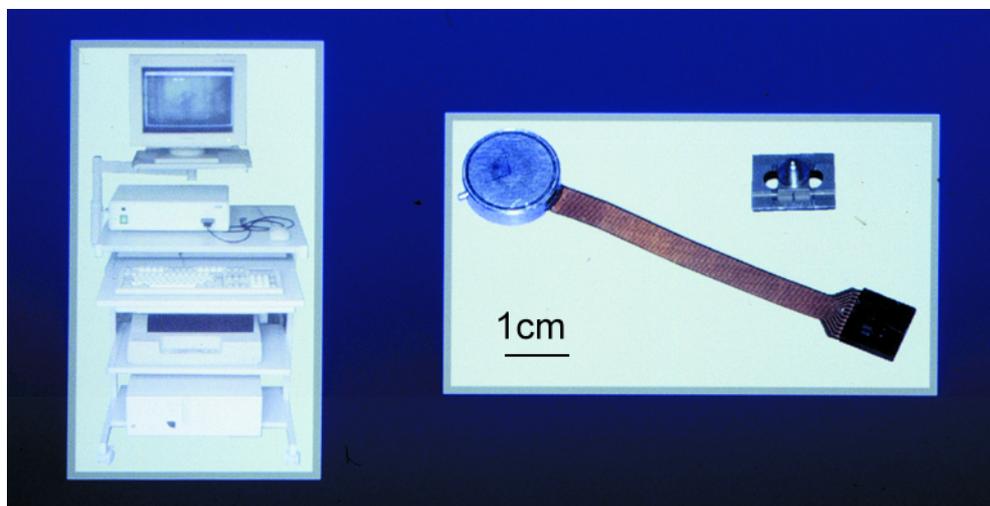


Abb. 4: IPR-Messsystem

links: elektronische Komponenten für Weiterverarbeitung und Speicherung der IPR-Messdaten, rechts: IPR-Registrierplatte und Stützstift

Der Stützstift wird in den Oberkiefer eingesetzt. Er besitzt eine rollende Spitze und ist in einer Halterung sagittal und in der Höhe verstellbar. Durch eine Befestigung des Stützstiftes über Distanzringe wird eine absolute Reproduzierbarkeit und spielfreie Halterung erzielt (Abb. 5).

Die elektronischen Komponenten zur Messwertverarbeitung des Sensors wurden zur Einhaltung der medizinisch-technischen Sicherheitsvorschriften in einem in sich geschlossenen Gerät untergebracht, welches auch den Empfänger der Infrarot-Fernbedienung enthält (Abb. 4). Die Übertragung zu einem IBM-kompatiblen PC erfolgt über eine serielle Schnittstelle. Die Infrarotfernbedienung erlaubt eine Steuerung der Hauptfunktionen vom Behandlungsplatz aus.

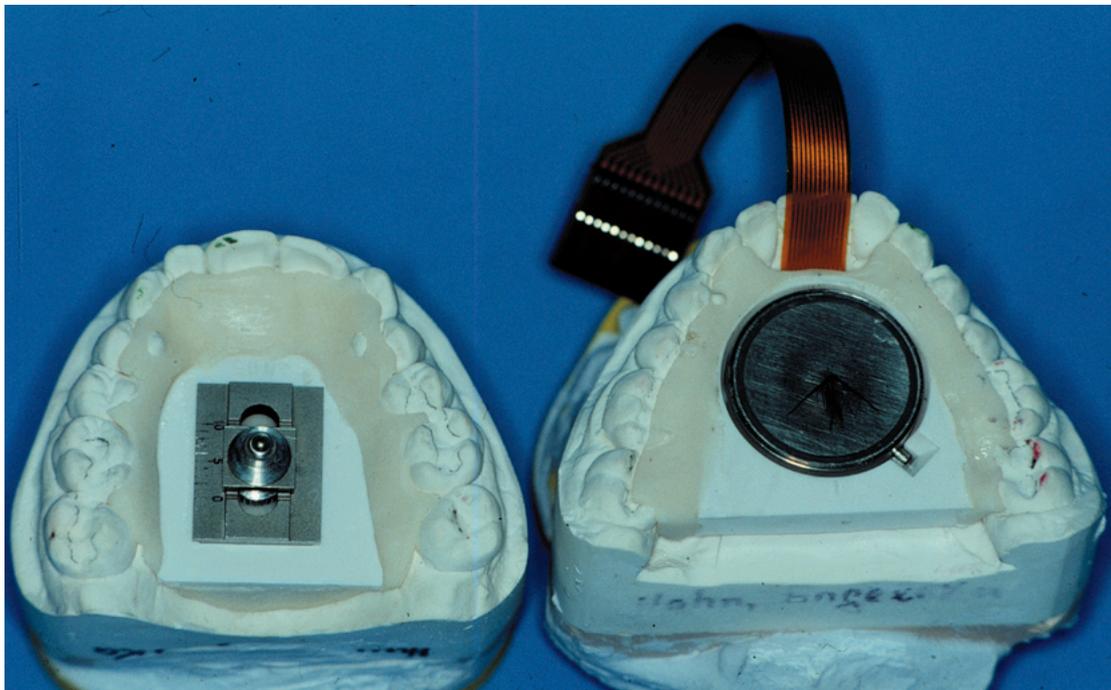


Abb. 5: Am Gipsmodell montiertes intraorales IPR-Stützstiftsystem
links: Oberkiefermodell mit Stützstift
rechts: Unterkiefermodell mit Registrierplatte und Sensorkabel

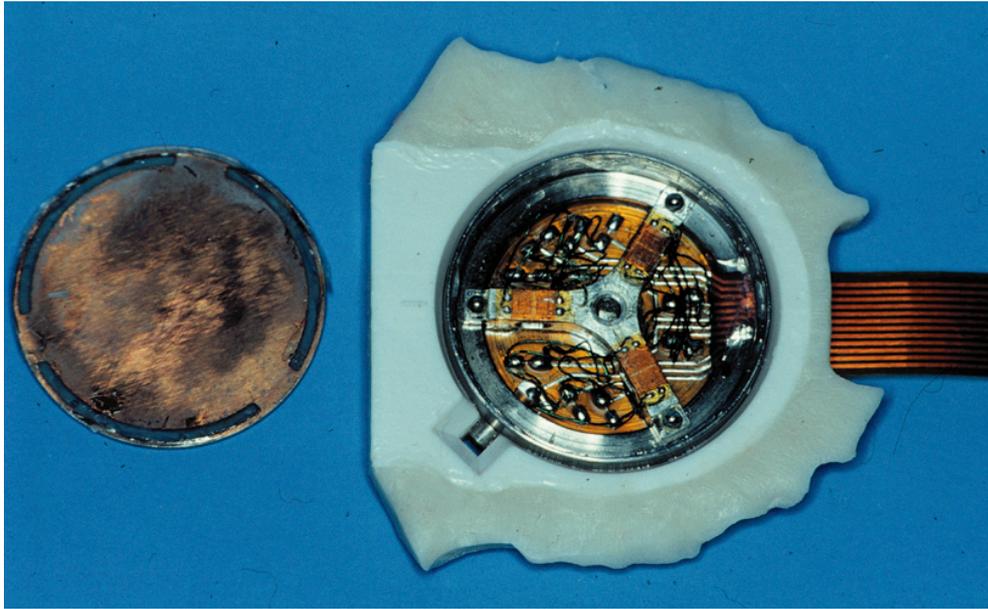


Abb. 6: Blick in den Sensor (rechts) nach Lösung der Deckplatte (links)

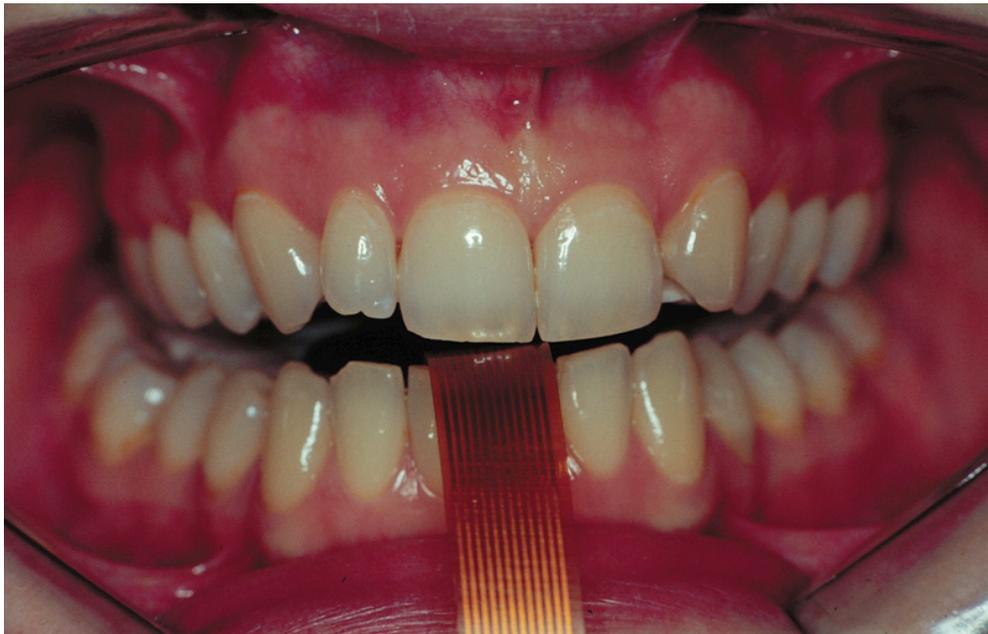


Abb. 7: Overbite-Situation von mehr als 4 mm
Um das Sensorkabel interferenzfrei aus dem Mund führen zu können, muss gerade bei ausgeprägtem Overbite die Vertikaldimension deutlich erhöht werden.

3.2.2 Messgenauigkeit des Messsystems

Die Messgenauigkeit des Messsystems soll nach Herstellerangaben bei der Kraftmessung 0,1 N und bei der Lagebestimmung 0,01 mm betragen.

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.

Der maximale Fehler der Lagebestimmung soll bei ca. $\pm 0,2$ mm liegen.

Die Messrate wird durch die Leistungsfähigkeit des angeschlossenen Personalcomputers bestimmt und liegt im Bereich von 35 bis 55 Messungen pro Sekunde (IMD 1995).

3.2.3 Herstellung und Montage der Modelle und Registrierbehelfe

Zur Herstellung der Registrierbehelfe wurden von Unter- und Oberkiefer des Probanden Gipsmodelle angefertigt. Die Abformungen wurden mit Silaplast/Silasoft® (Fa. Detax, Esslingen) unter Verwendung von Rim-Lock-Löffeln (Fa. Caulk, Dentsply, Milfold/USA) mit Doppelmisch-Abformtechnik durchgeführt. Während der Abformung hielt der Proband den Mund bei entspannter Kaumuskulatur weitgehend geschlossen, ohne auf den Abdrucklöffel aufzubeißen. Nach der Entnahme aus dem Mund wurde die Abformung mit Waxit (Fa. Degussa, Hanau) entspannt und der Zahnkranz sofort mit Fujirock®-Hartgips (Fa. GJ, Tokio/Japan) ausgegossen. Anschließend wurde die glattgetrimmte Basisfläche des Zahnkranzes mit Separit® (Fa. GIRRACH, Pforzheim) isoliert und das Modell mit Fujirock®-Superhartgips etwa 10 mm hoch im Split-Cast-system (Fa. Heraeus/Kulzer, Hanau) gesockelt.

Die scharnierachsen- und schädelbezügliche Orientierung der Oberkiefermodelle erfolgte mit Hilfe des anatomischen Transferbogens SAM-ATB® (Fa. SAM, München). Das Unterkiefermodell wurde in der maximalen Modellposition dem Oberkiefermodell okklusionsgerecht zugeordnet.

In das Unterkiefer-Modell wurde dann mittels Formatray® (Fa. Kerr, Karlsruhe) ein Sensorträger, der eine Aussparung für die Aufnahme der Registrierplatte

aufwies („Sensoraufnahme“), individuell eingepasst und zusätzlich mit handgeboenen Klammern im molaren und prämolaren Bereich fixiert. Die korrekte Positionierung der Sensoraufnahme wurde durch vier achsengerechte Markierungen erleichtert. Bei kleinen Unterkiefern war ggf. ein Abschleifen des Sensorträgers erforderlich, bei großen Unterkiefern wurde die Distanz zum Zahnkranz mittels Kaltpolymerisat (Formatray®) ausgefüllt. In die vorbereitete Sensoraufnahme wurde der Sensordummy eingesteckt. Stützstiftaufnahme und Stützstiftdummy wurden zusammengefügt und in den Sensordummy eingesetzt.

Das Oberkiefer-Modell wurde mit entsprechendem Kaltpolymerisat (Formatray®) palatinal ausgelegt und in einer annähernd okklusionsgerechten Position dem Unterkiefer-Modell zugefügt.

Nach dem Aushärten wurden die Teile aus dem Unter- und Oberkiefermodell herausgenommen und Stützstift- sowie Sensordummy entfernt.

Die auf diese Weise erhaltenen Sensor- und Stützstiftträger waren für den jeweiligen Patienten individualisierte Einmalteile und garantierten eine Reproduktion der Messbedingungen.

3.2.4 IPR-Registrierung

Zum Registrieren wurden Sensor und Stützstift in die vorbereiteten Träger eingefügt.

Der Sensor wurde in die vorbereitete Sensoraufnahme gesteckt, das Sensorkabel durch die vorgesehene Öffnung geführt und der Träger in den Unterkiefer des Probanden eingesetzt.

Der Stützstift wurde in der Stützstiftaufnahme vorerst mittig positioniert und mit dem Träger in den Oberkiefer plaziert. Die Höhe des Stiftes sollte so eingestellt werden, dass der Proband bei Artikulationsbewegungen gerade keinen Okklusionskontakt hatte. Dies wurde durch Einpassen der mitgelieferten Distanzringe (1, 2, 3 und 4 mm) erreicht. Anschließend erfolgte durch Probemessungen die optimale sagittale Einstellung des Stützstiftes, die dann erreicht

war, wenn beim Beißen auf einer Seite auf dem Monitor nur geringe Abweichungen erkennbar waren.

Höhe der Distanzringe und optimale sagittale Position konnten für spätere Arbeiten im Messprotokoll gespeichert werden.

Durch mehrmaliges Probieren wurde die optimale habituelle Relation des Probanden ermittelt und die entsprechenden X-/Y-Koordinaten festgehalten. Diese Koordinaten wurden am Fixiertisch (Abb. 8), auf dem ein zweites Sensordummy platziert war, eingestellt und auf ein Fixierplättchen auf das Dummy geklebt. Anschließend wurden Dummy inkl. Plättchen in die Sensoraufnahme gegeben und diese in den Unterkiefer eingesetzt. Durch Einrasten des im Oberkiefer befindlichen Stützstiftes in das Fixierplättchen war der Proband fixiert.

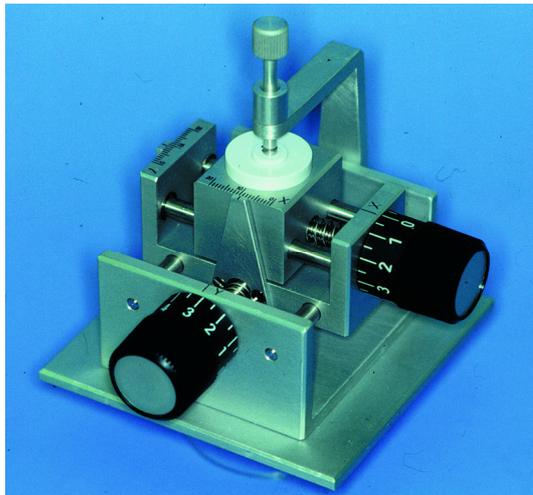


Abb. 8: Fixiertisch
Die X-/Y-Koordinaten der habituellen Relation werden auf einem hier platzierten, zweiten Sensordummy eingestellt

3.2.5 Reliabilität des Messsystems

Die Reliabilität des Messsystems wurde mit Hilfe des Temporo-Mandibular-Positions-Manipulators (TMPM) überprüft. Hierbei handelt es sich um einen Präzisions-Kreuztisch, der aus einer stabilen Grundplatte besteht, an die dorsal ein in der y-Achse ausgerichteter Rolltisch angesetzt ist. Dieser Basisrolltisch

trägt jeweils zwei weitere, in x- und z-Richtung orientierte Rolltische (Abb. 9). Den oberen, vertikal verstellbaren Rolltischen sind die beiden Kondylarelemente angeflanscht. Der Hub jedes Rolltisches beträgt maximal 20 mm. Die Positionierung erfolgt über den Spindeln der Rolltische angesetzte Mikrometer, die eine dreidimensionale Feineinstellung in 1/100 mm-Schritten erlauben (LOTZMANN 1994).

Mittels des TMPM wurden einzelne Messpunkte auf einem 1mm-Raster angefahren und die Übereinstimmung zwischen den eingestellten und den abgebildeten Koordinaten überprüft.

Zusätzlich wurde die geradlinige Vorwärtsbewegung auf der Y-Achse im Kraftintervall 0-40 N gemessen.



Abb. 9: Temporo-Mandibular-Positions-Manipulator (TMPM)

3.2.6 Versuchsablauf

Für die vorliegende Studie wurde nach Montage des Sensors und des Stützstiftes eine Positionskontrolle im Artikulator durchgeführt und so eine Voreinstellung für jeden Probanden festgelegt. In situ fand anschließend eine Feinabstimmung zum Ausschluss möglicher Gleithindernisse, welche eine korrekte Aufzeichnung behindert hätten, statt.

Nach Programmstart wurde die für die jeweilige Messreihe entsprechende Voreinstellung der Kraftintervalle ausgewählt. Insgesamt wurden die Kraftbereiche 1-20, 10-30, 20-40, 30-50 N untersucht. Nach den Herstellerangaben treten über 50 N irreversible Sensorschädigungen auf und unter 1 N ist eine Aufzeichnung nicht möglich.

Zu Beginn der Messung musste der Proband durch leichtes Öffnen des Mundes den Stützstift vom Sensor lösen.

Zunächst wurden 10 Lateralbewegungen aufgezeichnet. Die freien Lateralbewegungen mussten in den meisten Fällen vorher vom Patienten geübt werden. Dies wurde durch ein eingebautes Warnsystem erleichtert: Führt der Proband den Stützstift außerhalb des Messdreiecks, ertönt ein Warnton. Bei einer zu hohen oder zu niedrigen Krafteinleitung wechselt der Anzegebalken die Farbe von Grün nach Rot, so dass ein effektives Feedback vorliegt.

Nach Aufzeichnung von 10 Protrusionsbahnen wurde der Proband forciert in die retrudierte Unterkieferposition geführt und die Messung abgeschlossen (vgl. Abb. 17).

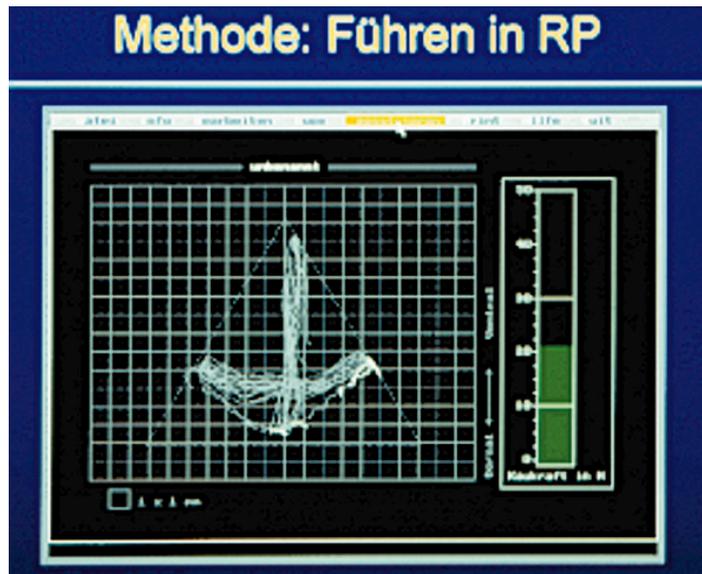


Abb. 10: Aufzeichnung von 10 Lateral- und 10 Protrusionsbahnen und der retrudierten Position (RP)

Die Auswertung erfolgte mit Hilfe eines mausgesteuerten Cursors. Die Positionsdaten der Cursorstellung werden auf dem Bildschirm angezeigt und können auf den Kreuztisch übertragen und mit Hilfe von Sensordummy und Fixierungsplättchen festgehalten werden (s. S. 28).

Als zweite Auswertungsmethode wurden die systemgesteuerten Algorithmen genutzt, d.h. zunächst die Position RP fixiert und dann die sog. „Zone der Verdichtung“ (ZV) aufgesucht, die sich in der Mitte der Kreuzungen der freien Lateralisations- und Protrusionsbahnen befindet. Es wurden auf diese Weise für jeden Probanden und jede Messreihe die folgenden vier Positionen bestimmt: RP, EP als errechneter Punkt, ZV und die im Artikulator bestimmte Interkuspitationsposition IKP.

Insgesamt wurde die intraorale Aufzeichnung der horizontalen Unterkieferbewegung nach folgendem Versuchsschema bei fünf unterschiedlichen Kraftstufen durchgeführt.

1. Messung im Kraftspektrum 0 – 10 N
 - 10 Lateralbewegungen vom linken zum rechten Schnittpunkt mit dem Positionsdreieck innerhalb von 30 Sekunden
 - 10 Protrusionsbewegungen innerhalb des Positionsdreiecks innerhalb von 30 Sekunden Führung in eine „gezwungene“ retrale PositionBestimmung folgender Punkte:
 - a) RP „geführt“
 - b) Zone der Verdichtung
 - c) errechnete, vorgeschlagene Position
 - d) gemittelter Schnittpunkt mit Dreieckseite lateral rechts
 - e) gemittelter Schnittpunkt mit Dreieckseite lateral links
2. Messung im Kraftspektrum 0 – 20 N
(sonst wie 1.)
3. Messung im Kraftspektrum 10 – 30 N
(sonst wie 1.)
4. Messung im Kraftspektrum 20 – 40 N
(sonst wie 1.)
5. Messung im Kraftspektrum 30 – 50 N
(sonst wie 1.)

3.3 IPR-Registrierung und simultane Kondylenpositionsanalyse mit dem String Condylcomp LR3

Im Anschluss an die unter 3.2 beschriebenen Untersuchungen wurde mit dem String Condylcomp LR 3 (Fa. Dentron) die Kondylenposition bestimmt.

Hierzu wurden die unter 3.2.3 beschriebenen Modelle als Registrierbehelfe verwendet.

Vor dem Anlegen des String Condylcomp LR 3 am Kopf des Probanden wurde die Registriergabel für den späteren Oberkiefertransfer vorbereitet, indem sie mit den erforderlichen Impressionen für die Oberkieferzähne versehen

wurde. Mit Hilfe des dafür vorgesehenen Messlineals Denar (Fa. Dentron, Markt Höchberg) wurde beidseits auf der Haut des Probanden mit einem Filzschreiber die arbiträre Scharnierachse markiert. Der Gesichtsbogen des String Condylcomp LR 3 wurden mit dem Referenzbogen zu einem geschlossenen Kreis verbunden und nach den Herstellerangaben symmetrisiert und justiert. Schließlich wurde der Registrierbehelf auf die Vestibularflächen der Unterkieferzähne zementiert (Temp Bond[®], Fa. Kerr, Karlsruhe).

Zum Anbringen des Gerätes musste der Patient aufrecht in einem Stuhl ohne Kopfstütze sitzen, um eine Verschiebung des Bogens zu vermeiden. Die Kopfhalterung wurde bei leicht seitlich herausgezogenen Achsenzeigern zunächst locker über den Kopf gezogen, bis sich das horizontale Stirnband unmittelbar oberhalb der Augenbrauen befand. Nun wurden die Achsenzeiger der Haut bis auf etwa 1 cm Abstand genähert. Das obere Spannrad wurde verdreht, bis es auf der Höhe der arbiträren Scharnierachse lag. Die vorn am Gesichtsbogen mittig angebrachte Registriergabelsteckkupplung sollte sich bei symmetrisiertem Referenzbogen etwa vor dem Nasenrücken befinden. Nach Einstellen des Referenzbogens auf die arbiträre Scharnierachse und dem Ausrichten auf die Referenzebene wurde die hintere Spannschraube befestigt und durch Fixierung der Flügelschrauben die Querstabilität verbessert.

Nach Abnahme des vorderen Teils des Referenzbogens wurden die Messköpfe an den Referenzbogen angekoppelt und mit den Rändelschrauben fixiert. Dann wurden auf die frontalen Schlittenkupplungen der Messköpfe die Justierklemmen aufgeschoben. Der Unterkiefermessbogen wurde in die Justierklemmen eingeklinkt. Die Reflektoroberflächen mussten jetzt parallel zu den korrespondierenden Messkopfoberflächen verlaufen und von diesen einen Abstand von etwa 6 mm aufweisen.

Der Unterkiefer wurde in die zentrische Relation geführt. Anschließend wurde die Verbindung zwischen dem Unterkiefermessbogen und dem Stylus des Registrierbehelfs hergestellt. Nach dem Fixieren der Flügelschrauben und der Entfernung der Justierklemmen war das Gerät für die Registrierung montiert.

Die Registrierung und Dokumentation der Scharnierachsenbewegungen erfolgte während der Protrusion und der Laterotrusion durch den Computer, der auch die Kondylenpositionsberechnung übernahm.

Die computergestützte Kondylenpositionsanalyse erfolgte anschließend simultan mit dem String-Recorder (Fa. Dentron, Abb. 11) und dem IPR-System. Nach Aufzeichnung einer Protrusionsbahn wurden folgende Positionen unter Monitorkontrolle jeweils mit 10 und 40 N Belastung eingenommen:

- forcierte RP,
- IKP,
- empfohlene Relation,
- Zone der Verdichtung



Abb. 11: Registrierung der Kondylenposition bei unterschiedlicher Krafteinleitung mit dem String Condylcomp LR 3

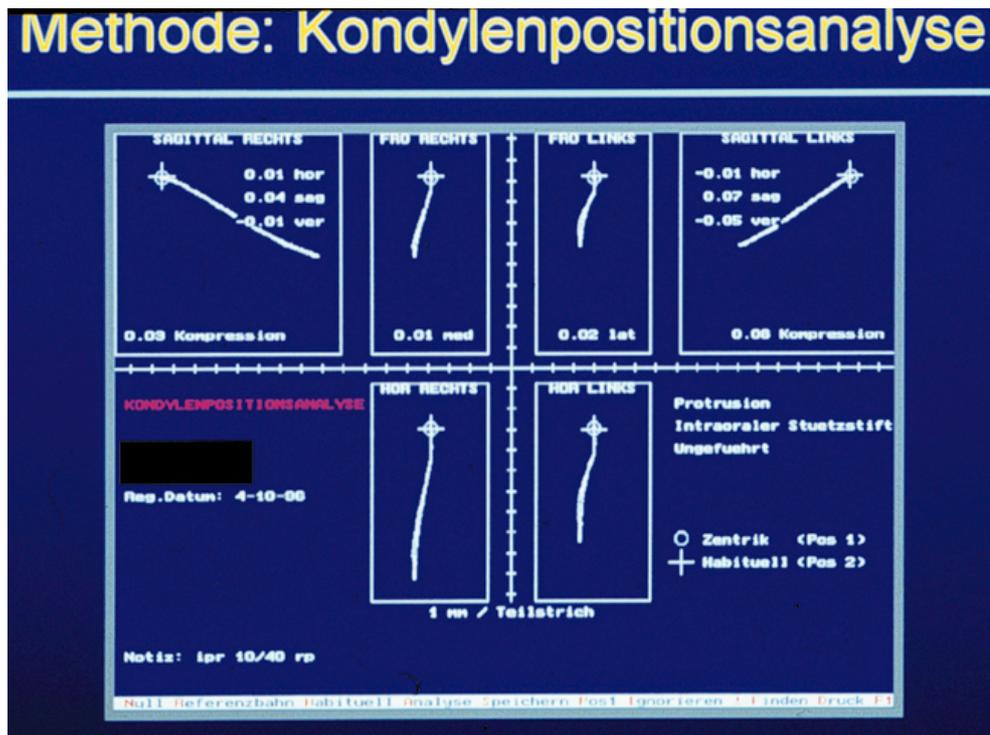


Abb. 12: Beispiel für ein Protokoll der Kondylenpositionsanalyse des String Condylcomp LR 3

3.4 Statistische Auswertung

Sowohl die vom IPR-System als auch vom String Condylcomp LR 3 erfassten Werte stellen Rohdaten dar, die für jeden Probanden individuell ausfallen und keine direkte Vergleichbarkeit ermöglichen. Daher wurden jeweils die Differenzen zwischen den relevanten Parametern errechnet und auf eine Darstellung der Rohdaten verzichtet.

Es wurden für jeden Patienten die Differenzen zwischen RP und IKP, EP und IKP sowie RP und ZV bei den einzelnen Kraftstufen berechnet.

Die statistische Bearbeitung der Messdaten erfolgte mit dem Programmpaket STATISTICA (Fa. StatSoft, Tulsa/USA).

Im Einzelnen wurden folgende Kennwerte berechnet:

- n - Anzahl der Werte
- \bar{x} - arithmetischer Mittelwert
- s - Standardabweichung
- Median - 50% der Werte der Stichprobe sind kleiner als der Median, 50% sind größer
- Min - Minimum
- Max - Maximum
- Unteres/Oberes Quartil

Zur Überprüfung auf Signifikanz wurden folgende statistische Tests eingesetzt:

- Bei abhängigen Stichproben werden Unterschiede in den Mittelwerten stetiger Variablen mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen geprüft. Liegen – wie hier - mehr als zwei Variablen vor (vier unterschiedliche Kraftintervalle) wird zunächst die Rangvarianzanalyse von Friedman angewendet. Mit Hilfe des **Post-hoc-Tests nach Wilcoxon** werden für statistisch signifikante Ergebnisse der Rangvarianzanalyse die einzelnen Variablen paarweise miteinander verglichen.
- Bei unabhängigen Stichproben werden Unterschiede in den Mittelwerten stetiger Variablen (hier: männlich/weiblich) mit dem **U-Test von Mann und Whitney** geprüft.

Ergebnis eines jeden Tests ist die Irrtumswahrscheinlichkeit p . Das Signifikanzniveau wurde bei $p = 0,05$ festgelegt. Die für einen Test aufgestellte Nullhypothese wird üblicherweise abgelehnt, wenn p kleiner als 0,05 (=5%) ist. Ein Testergebnis wird dann als statistisch signifikant bezeichnet.

4 Ergebnisse

4.1 Reliabilität des Messsystems

Die zur Registrierung eingestellten Koordinaten und die eingenommenen Positionen auf einem 1mm-Raster stimmten überein. Das Kraftintervall war im Bereich von 10-40N korrekt vorgegeben (Abb. 13).

Die Software arbeitete fehlerfrei und benutzerfreundlich, lediglich die gewöhnungsbedürftige Maussteuerung sollte verbessert werden.

Bei der Anwendung der Sensoren zeigte sich ein technisches Problem. Die silikongelagerten Deckplatten lösten sich bei 12 Messungen ab, da nach längerer Verweildauer im Mund Speichel durch die Kabelausführung eindrang. Allerdings sollen diese produktionsbedingten Probleme laut Hersteller mittlerweile gelöst sein.

Auf Grund der nicht vollständigen Abdichtung der Kabelausführung musste während der Messreihen für die vorliegende Untersuchung auch auf eine Sterilisation oder zumindest eine Tauchdesinfektion der Sensoren verzichtet werden. Die Desinfektion erfolgte daher als manuelle Instrumentendesinfektion mit handelsüblichen Desinfektionsmitteln gemäß den jeweiligen Herstellerangaben. Die mittlerweile durchgeführten technischen Verbesserungen an der Kabelausführungen ermöglichen inzwischen eine Dampfsterilisation sowohl des Sensors als auch des Flachbandkabels.

Um einer Abscherung oder Knickung des Sensorkabels vorzubeugen, ist es notwendig, selbst bei geringen Deckbissituationen eine mindestens 1 mm große okklusale Sperrung zur Registrierung einzustellen.

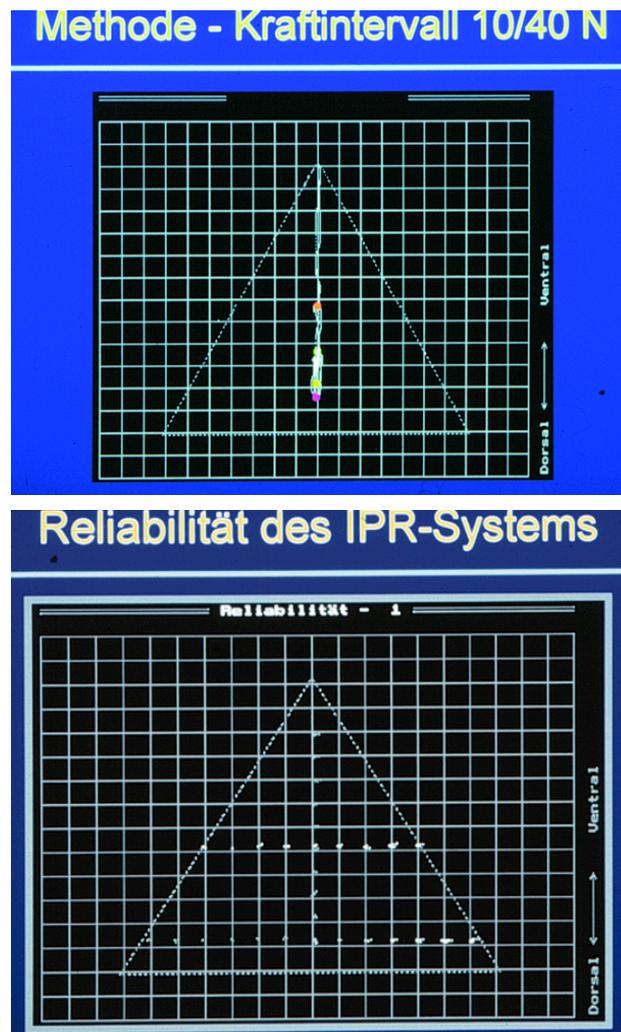


Abb. 13: Beispiel für einen Messzyklus zur Bestimmung der Reliabilität des IPR-Systems:
 oben: Geradlinige Vorschubbewegung auf der Y-Achse bei einem Kraftintervall von 10-40 N
 unten: Übereinstimmung zwischen den zur Registrierung eingestellten Koordinaten und den eingenommenen Positionen auf einem 1mm-Raster

4.2 Vergleich der Ergebnisse des IPR-Systems und des String Condylcomp

Im Folgenden werden die mit Hilfe des IPR-Systems ermittelten Parameter RP, EP, ZV mit der im String Condylcomp bestimmten Interkuspitationsposition (IKP) verglichen.

Zunächst werden die Daten aller Probanden ausgewertet (Kap. 4.2.1) und anschließend eine Analyse auf geschlechtsabhängige Unterschiede (Kap. 4.2.2) durchgeführt.

4.2.1 Auswertung der Daten aller Probanden

4.2.1.1 Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP)

Wie die folgende Tab. 1 zeigt, bestanden zwischen der mittels IPR-System ermittelten retrudierten Position und der im Artikulator bestimmten IKP Differenzen, die besonders bei den Protrusionsbewegungen deutlich wurden.

Bei den Laterotrusionen waren die Unterschiede der Mittelwerte zwischen den einzelnen Kraftintervallen nicht statistisch signifikant (Post-hoc-Test nach Wilcoxon: $p > 0,05$). Erkennbar an den hohen Standardabweichungen bestand eine große individuelle Schwankungsbreite bei den einzelnen Probanden, so dass hier in vielen Fällen Abweichungen über 1 mm zu verzeichnen waren.

Bei der Protrusion war die Differenz RP/IKP bei der niedrigsten Kraftstufe am größten. Auch die höheren Kraftstufen wiesen deutliche Differenzen auf und führten zu Abweichungen bis zu 2 mm. Es bestanden statistisch signifikante Unterschiede (Post-hoc-Test nach Wilcoxon: $p < 0,05$) der Ergebnisse beider niedrigen Kraftstufen (1-20, 10-30 N) gegenüber den beiden höheren Kraftstufen (20-40, 30-50 N).

Kraftintervall	n	Laterotrusion	Protrusion
1-20 N	30	0,09±0,70	-1,22±0,78
10-30 N	30	0,11±0,56	-0,83±0,81
20-40 N	30	0,14±0,50	-0,51±0,77
30-50 N	30	0,13±0,47	-0,50±0,75

Tab. 1a: Differenzen zwischen RP und IKP bei vier verschiedenen Kraftintervallen bei allen Probanden (Angaben in mm)

Laterotrusion	1-20 N	10-30 N	20-40N	30-50 N
1-20 N	-	n.s.	n.s.	n.s.
10-30 N	n.s.	-	n.s.	n.s.
20-40 N	n.s.	n.s.	-	n.s.
30-50 N	n.s.	n.s.	n.s.	-
Protrusion	1-20 N	10-30 N	20-40N	30-50 N
1-20 N	-	n.s.	p < 0,05	p < 0,05
10-30 N	n.s.	-	p < 0,05	p < 0,05
20-40 N	p < 0,05	p < 0,05	-	n.s.
30-50 N	p < 0,05	p < 0,05	n.s.	-

Tab. 1b: Ergebnisse des Post-hoc-Tests nach Wilcoxon (n. s. = statistisch nicht signifikant)

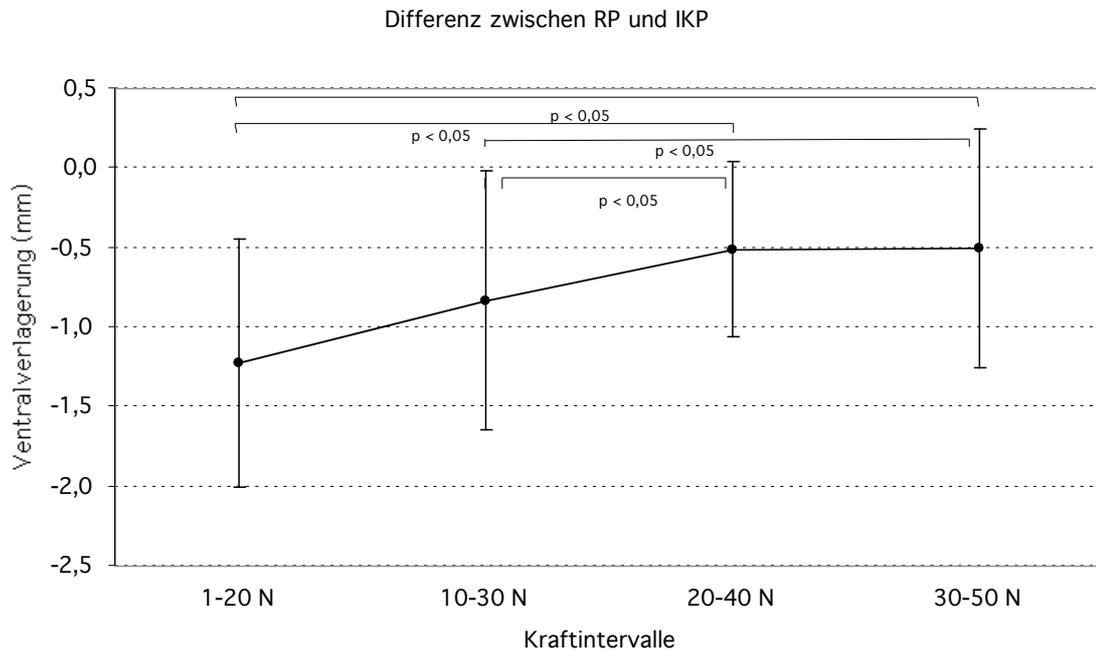


Abb. 14: Vergleich der Differenzen zwischen RP und IKP bei vier verschiedenen Kraftintervallen

4.2.1.2 Differenzen zwischen „errechneter Position“ (EP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP)

Auch zwischen der vom IPR-System errechneten Position und der im Artikulator ermittelten IKP traten – besonders bei den Protrusionsbewegungen - erhebliche Unterschiede auf.

Bei der Auswertung der Laterotrusionsbewegungen zeigten sich zwischen den vier gewählten Kraftintervallen nur geringfügige Unterschiede, die im Mittel zwischen 0,09 und 0,15 mm lagen (Post-hoc-Test nach Wilcoxon: $p > 0,05$). Es traten innerhalb der Probandengruppe in Einzelfällen recht große Abweichungen bis zu 1 mm zwischen EP und IKP auf.

Bei den Protrusionsbewegungen zeigte sich tendenziell eine Zunahme der Differenzen mit steigender Kraftstufe. In den beiden höchsten Kraftintervallen betrug der Unterschied IKP/EP 1,84 und 1,78 mm und überschritt in Einzelfällen 3 mm. Die statistische Überprüfung ergab bei der niedrigsten Kraftstufen signi-

fikant geringere Differenzen gegenüber den beiden hohen Kraftintervallen: Auch der Unterschied zwischen den Differenzen bei 10-30 und 20-40 N fiel statistisch signifikant aus (Post-hoc-Test nach Wilcoxon: $p < 0,05$).

Kraftintervall	n	Laterotrusion	Protrusion
1-20 N	30	0,11±0,60	1,09±1,35
10-30 N	30	0,09±0,52	1,12±1,18
20-40 N	30	0,14±0,39	1,84±1,20
30-50 N	30	0,15±0,35	1,78±1,27

Tab. 2a: Differenzen zwischen EP und IKP bei vier verschiedenen Kraftintervallen bei allen Probanden (Angaben in mm)

Laterotrusion	1-20 N	10-30 N	20-40N	30-50 N
1-20 N	-	n.s.	n.s.	n.s.
10-30 N	n.s.	-	n.s.	n.s.
20-40 N	n.s.	n.s.	-	n.s.
30-50 N	n.s.	n.s.	n.s.	-
Protrusion	1-20 N	10-30 N	20-40N	30-50 N
1-20 N	-	n.s.	$p < 0,05$	$p < 0,05$
10-30 N	n.s.	-	$p < 0,05$	n.s.
20-40 N	$p < 0,05$	$p < 0,05$	-	n.s.
30-50 N	$p < 0,05$	n.s.	n.s.	-

Tab. 2b: Ergebnisse des Post-hoc-Tests nach Wilcoxon (n. s. = statistisch nicht signifikant)

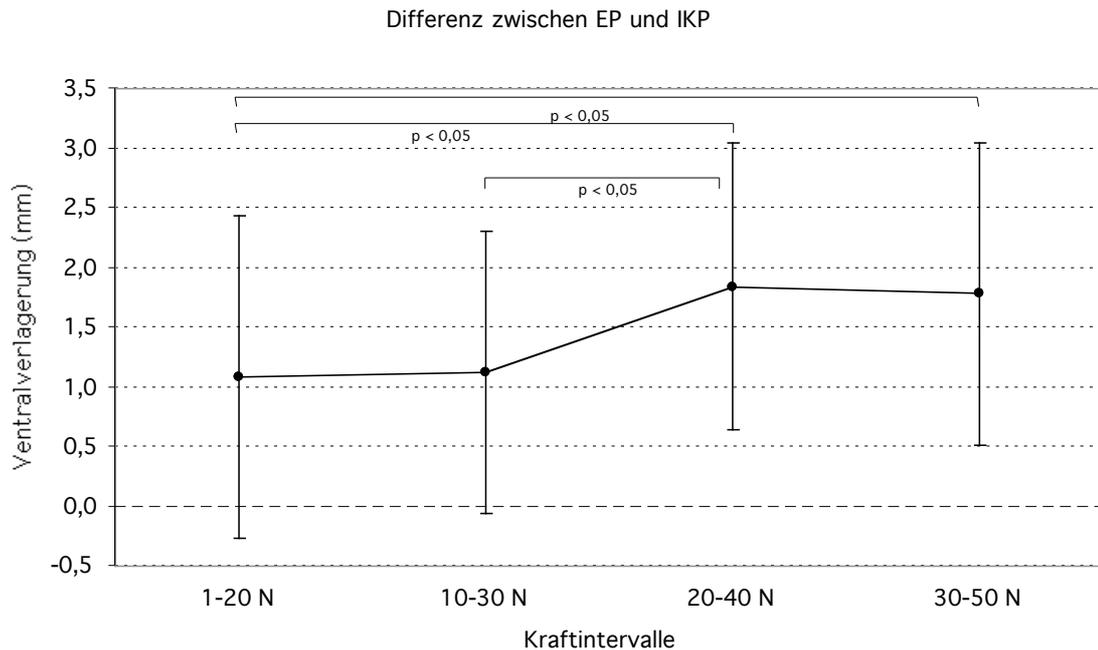


Abb. 15: Vergleich der Differenzen zwischen IKP und EP bei vier verschiedenen Kraftintervallen (n = 30)

4.2.1.3 Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und „Zone der Verdichtung“ (ZV)

Die Mittelwerte der Differenzen RP/ZV fallen bei den Laterotrusionen sehr homogen aus und betragen immer unter 1 mm. Es sind keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den vier Kraftintervallen nachweisbar (Post-hoc-Test nach Wilcoxon: $p > 0,05$).

Bei den Protrusionsbewegungen sind die Differenzen zwischen retrudierter Position und Zone der Verdichtung sehr variabel. Die Spannweite zwischen Minimal- und Maximalwerten reicht von 0,3 bis 11,1 mm. Signifikante Unterschiede lassen sich zwischen den vier Kraftstufen nicht nachweisen.

Kraftintervall	n	Laterotrusion	Protrusion
1-20 N	30	0,05±0,41	3,38±2,12
10-30 N	30	-0,04±0,38	2,72±1,30
20-40 N	30	0,04±0,42	3,53±2,30
30-50 N	30	0,04±0,48	3,37±1,91

Tab. 3: Differenzen zwischen RP und ZV bei vier unterschiedlichen Kraftintervallen (Angaben in mm)
(Post-hoc-Test nach Wilcoxon: alle $p < 0,05$, nicht dargestellt)

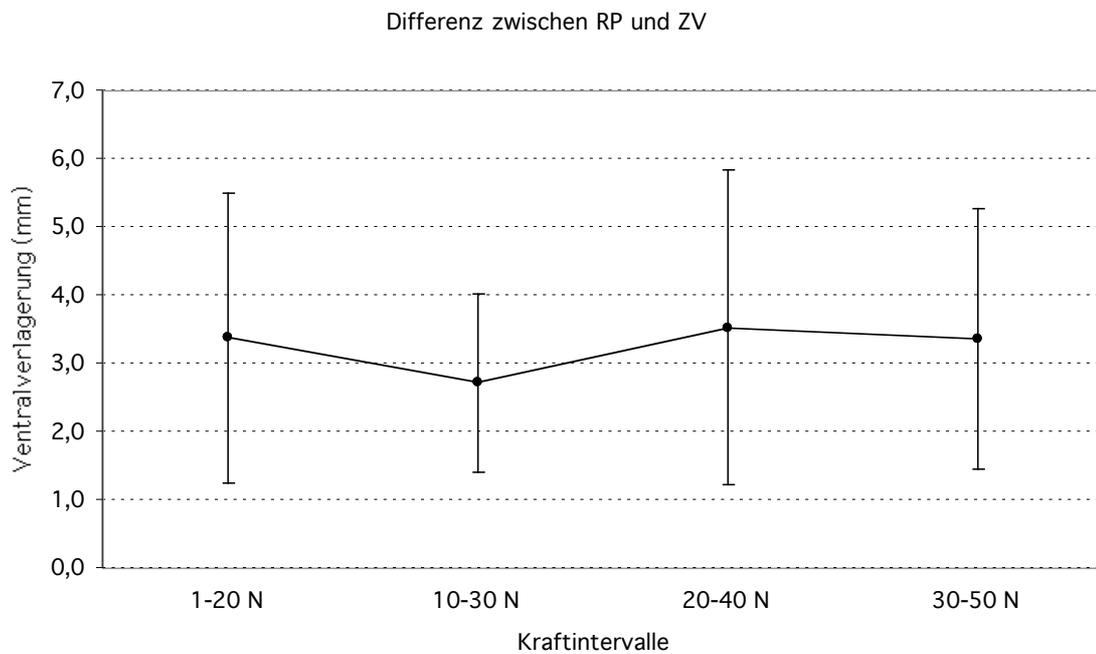


Abb. 16: Vergleich der Differenzen RP/ZV bei der Protrusion bei vier unterschiedlichen Kraftintervallen

4.2.2 Untersuchung auf geschlechtsspezifische Unterschiede

4.2.2.1 Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP)

Bei einer geschlechtsspezifischen Auftrennung des vorliegenden Datenmaterials ergaben sich keinerlei signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen bezüglich der Differenz RP/IKP. Auffallend sind aber die jeweils leicht höheren Differenzen bei den weiblichen Probanden, die auch während der Laterotrusion und der Protrusion eine höhere Schwankungsbreite aufwiesen.

Kraftintervall	Laterotrusion		Protrusion	
	männlich (n = 15)	weiblich (n = 15)	männlich (n = 15)	weiblich (n = 15)
1-20 N	-0,03±0,57	0,16±0,82	-1,31±0,71	-1,16±0,88
10-30 N	0,02±0,54	0,15±0,58	-0,76±0,74	-0,89±0,93
20-40 N	0,10±0,45	0,15±0,56	-0,41±0,91	-0,60±0,67
30-50 N	0,04±0,35	0,15±0,52	-0,35±0,61	-0,63±0,88

Tab. 4: Differenzen zwischen RP und IKP bei unterschiedlichen Kraftintervallen in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden (Angaben in mm) (U-Test nach Mann und Whitney: alle $p < 0,05$, nicht dargestellt)

4.2.2.2 Differenzen zwischen „errechneter Position“ (EP) und maximaler Interkuspitationsposition (IKP)

Bei der Betrachtung der Differenz EP/IKP zeigten sich bezüglich der Laterotrusionen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Mit Ausnahme des Kraftintervalls 20-40 N waren in den übrigen Kraftstufen die Differenzen EP/IKP bei den Männern jeweils signifikant geringer als bei den Frauen (U-Test: $p < 0,05$). Bei den Protrusionsbewegungen traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf.

Kraftintervall	Laterotrusion		Protrusion	
	männlich (n = 15)	weiblich (n = 15)	männlich (n = 15)	weiblich (n = 15)
1-20 N	-0,04±0,44	0,22±0,72	1,11±1,33	1,06±1,46
10-30 N	-0,07±0,53	0,19±0,50	1,23±1,19	0,97±1,21
20-40 N	-0,11±0,32	0,15±0,46	1,84±1,16	1,81±1,30
30-50 N	0,04±0,16	0,20±0,41	2,20±1,36	1,39±1,14

U-Test nach Mann und Whitney (männlich / weiblich)	Laterotrusion	Protrusion
1-20 N	p < 0,05	n.s.
10-30 N	p < 0,05	n.s.
20-40 N	n.s.	n.s.
30-50 N	p < 0,05	n.s.

Tab. 5: Differenzen zwischen EP und IKP bei unterschiedlichen Kraftintervallen in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden (Angaben in mm) und Ergebnisse des U-Tests nach Mann und Whitney (n. s. = statistisch nicht signifikant)

4.2.2.3 Differenzen zwischen retrudierter Position (RP) und „Zone der Verdichtung“ (ZV)

Wie aus Tab. 6 hervorgeht, ergaben sich bezüglich der Differenz zwischen RP und ZV keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Die Abweichungen zwischen männlichen und weiblichen Probanden erwiesen sich auch bei der statistischen Prüfung als nicht signifikant (U-Test: $p > 0,05$).

Kraftintervall	Laterotrusion		Protrusion	
	männlich (n = 15)	weiblich (n = 15)	männlich (n = 15)	weiblich (n = 15)
1-20 N	-0,05±0,45	0,16±0,36	3,35±2,00	3,43±2,45
10-30 N	-0,16±0,33	0,11±0,35	2,62±1,19	2,69±1,40
20-40 N	0,07±0,43	0,04±0,41	3,15±1,19	3,77±2,86
30-50 N	0,09±0,53	0,04±0,45	3,67±2,10	3,06±1,81

Tab. 6: Differenzen zwischen RP und ZV bei unterschiedlichen Kraftintervallen in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden (Angaben in mm) (U-Test nach Mann und Whitney: alle $p < 0,05$, nicht dargestellt)

4.3 Kondylenpositionsanalyse

Die Software des IPR-Systems bietet neben der Aufzeichnung von kraftkontrollierten intraoralen Stützstiftregistratorn auch die Möglichkeit, eine als physiologisch angenommene Position zu berechnen (Abb. 17).

Da im Artikulator die Modelle der Probanden in Interkuspidalposition einartikuliert waren, konnten so die Differenzen zwischen RP/IKP, IKP/EP gemessen werden. Außer dem in Abb. 17 gezeigten beispielhaften Aufzeichnungsmuster traten zwei Abweichungen auf: In einem Fall konnten keine Laterotrusionsbewegungen ausgeführt werden (Abb. 18a), ohne dass beide Gelenke sich zusammen nach ventral verlagerten, d. h. hier wurde keine Zone der Verdichtung dargestellt. In dem anderen Fall wurden Laterotrusionsbewegungen über eine große Ventralverlagerung (Abb. 18b) dargestellt; es ergab sich eine sehr breite Zone der Verdichtung. Beide Aufzeichnungen konnten rechnerisch nicht ausgewertet werden.

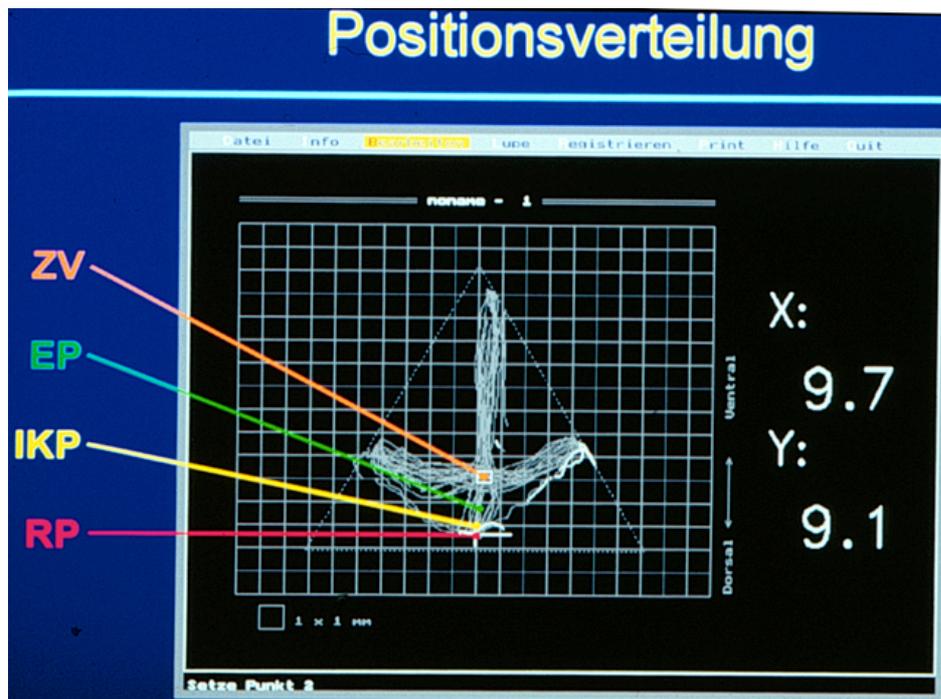


Abb. 17: Beispiel für eine Stützstiftregistrierung mit dem IPR-System (ZV = „Zone der Verdichtung“, EP = errechnete Position, IKP = Interkuspitationsposition, RP = retrudierte Position) X, Y: Koordinaten der EP (in mm)

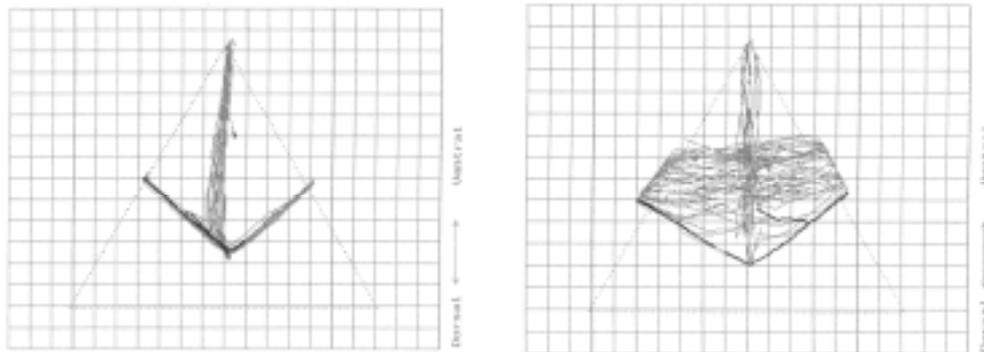


Abb. 18: Beispiele unterschiedlicher Aufzeichnungsmuster:
links: keine Zone der Verdichtung, rechts: breite Zone der Verdichtung

Nach simultaner Kondylenpositionsanalyse mit dem String-Condylcomp und dem IPR-System wurden die vom IPR registrierten Positionen RP, EP und ZV vom Probanden unter visueller Kontrolle eingenommen. Bei anschließender Kraftsteigerung von 10 auf 40 N traten die in Tab. 7 aufgeführten Verlagerungen vom Scharnierachsenpunkt auf. Es zeigte sich, dass an allen drei Messpositionen nur sehr geringe Abweichungen zu verzeichnen sind, wie schon an den kleinen Standardabweichungen erkennbar. Die statistische Analyse erbrachte lediglich für den Punkt EP einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Kieferhälften (Post-hoc-Test nach Wilcoxon: $p < 0,001$) (Abb. 19).

	rechts (n = 30)	links (n = 30)	Post-hoc-Test nach Wilcoxon
Differenz RP bei 10 und 40 N	-0,09±0,20	-0,06±0,11	n.s.
Differenz EP bei 10 und 40 N	0,01±0,15	-0,04±0,13	$p < 0,001$
Differenz ZV bei 10 und 40 N	-0,02±0,14	-0,03±0,11	n.s.

Tab. 7: Verlagerung der Scharnierachsenpunkte nach Erreichen der Positionen RP, EP und ZV bei einer Kraftsteigerung von 10 auf 40 N und Ergebnisse des Post-hoc-Tests nach Wilcoxon (n.s. = statistisch nicht signifikant)

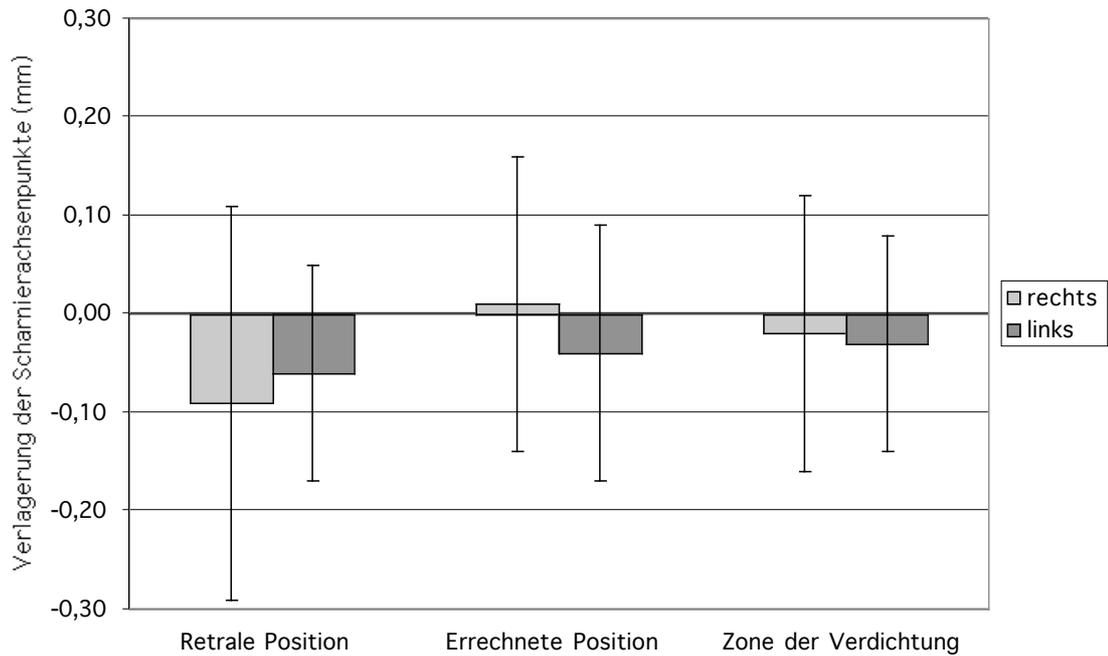


Abb. 19: Vergleich der Verlagerung der Scharnierachsenpunkte nach Erreichen der Positionen RP, EP und ZV bei einer Kraftsteigerung von 10 auf 40 N (KPA = Kondylenpositionsanalyse)

5 Diskussion

Die vorliegende Untersuchung wurde an 30 zahn- und kaufunktionsgesunden Probanden (15 Frauen, 15 Männer) durchgeführt. Das Durchschnittsalter der Frauen betrug $24,3 \pm 3,0$ Jahre, das der Männer $27,3 \pm 2,1$ Jahre) und war zwischen beiden Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich.

Das hier eingesetzte Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-System (Fa. Multident) erlaubt es, intraorale Stützstiftregistratur elektronisch sowohl positions- als auch kraftabhängig aufzuzeichnen, wobei die Stützstiftbewegungen in Echtzeit auf einem PC-Bildschirm visualisiert werden. Der Wert elektronischer Registriertechnik liegt prinzipiell in der höheren metrischen Auflösung, der besseren Speichermöglichkeit und dem Vorteil, den Bewegungsablauf wiederholt darzustellen (OHLROGGE 1987).

Der Umgang mit den Geräten und der mitgelieferten Software ist durch ausführliche und präzise Dokumentationen ohne lange Einarbeitungszeit zu erlernen. Die Umsetzung in ein Registrat erfolgt wie gewohnt und ist einfach durchzuführen. Das System weist eine ausreichende Messgenauigkeit und Kräfteichung des Sensors auf, wobei das Kraftintervall im Bereich von 10-30 N korrekt vorgegeben ist.

Während der Messungen werden die Probanden durch ein Biofeedback in Form eines Warntons bei nicht messbaren Kieferbewegungen zur Mitwirkung motiviert.

Durch eine Ablösung der Sensordeckplatte kam es häufig zu einem Sensorausfall, der teils Fehlmessungen bedingte und teils zum Abbruch der Registrierung führte. Es wurde gefordert, vor einem routinemäßigen Einsatz in zahnärztlichen Praxen/Kliniken diesen technischen Mangel zu beheben, was gemäß Herstellerangaben inzwischen auch geschehen ist.

Auf Grund der Kabelführung über die vorderen Inzisivi war eine große vertikale Sperrung notwendig (vgl. Abb. 7). Die erforderliche Bissperre, die mit Hilfe von Distanzringen problemlos vorgegeben werden konnte, lag im Bereich der Schneidezähne zwischen 2 und 6 mm. Dies ist kein spezifisches Problem des hier eingesetzten IPR-Systems. Auch in einer Studie von UTZ et al. (1992) betrug die zur Stützstiftregistrierung erforderliche Bissperre im Bereich der

Inzisiven etwa 4 ± 1 mm (2-6 mm) und am Inzisalstift der Artikulatoren rund 5 ± 1 mm (3-7 mm). UTZ et al. sehen es ebenfalls als Nachteil der intraoralen Stützstiftregistrierung an, dass die Aufzeichnung eine Bissperre voraussetzt, die in der Regel die vertikale Kieferrelation in Ruhelage übersteigt (UTZ et al. 1994).

Bei zwei Probanden gestaltete sich die Bestimmung der Zone der Verdichtung schwierig. Ein Proband konnte keine Laterotrusionsbewegungen ausführen, ohne dass beide Gelenke sich zusammen nach ventral verlagerten, so dass sich keine Zone der Verdichtung abbildete. Bei dem anderen Probanden stellten sich im Rahmen der Laterotrusion so große Ventralverlagerungen ein, dass die „Zone der Verdichtung“ zu breit war, um eine rechnerische Auswertung zu ermöglichen. In diesen seltenen Fällen wird die Zone der Verdichtung teilweise subjektiv vom Untersucher bestimmt (JORDAN 2002). Ein solches Vorgehen ist jedoch auch vom selben Untersucher nicht reproduzierbar (JORDAN 2002). Da die Zone der Verdichtung zusammen mit der retrudierten Position die rechnerische Basis für die Ermittlung der wichtigen Interkuspitationsposition darstellt, sollte von einer subjektiven Bestimmung Abstand genommen werden. Zudem widerspricht die subjektive Entscheidung einer der Hauptforderungen des IPR-Systems nach objektiven, reproduzierbaren Messungen (VOGEL 1999).

Neben Schädigungen des Muskel-Band-Apparates im Kiefergelenk können die beschriebenen Probleme mit der Aufzeichnung einer auswertbaren Verdichtungszone bei Latero- und Protrusionsbewegungen auch auf anderen Störfaktoren beruhen. Da dem Kausystem kybernetische Prinzipien zu Grunde liegen, bei dem lokale Irritationen via Regelkreis kompensiert werden, können übergeordnete Zentren bei außergewöhnlichen Belastungssituationen wie z. B. Stress eine lokale Regulierung außer Kraft setzen (JÄGER und SCHNEIDER 1992). Für die letztgenannte Interpretation spricht die Tatsache, dass bei beiden Probanden bei der Messwiederholung zu einem späteren Zeitpunkt die Aufzeichnung einer präzisen Zone der Verdichtung möglich war. In diesem Zusammenhang bezeichnet JORDAN (2002) den Probanden als „nicht kontrollierbare Fehlerquelle“, da auch bei großer Messpräzision zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf Grund der aktuellen physischen und physischen Konstitution des Patienten häufig verschiedene Messergebnisse erzielt werden. Zu ver-

gleichbaren Resultaten gelangten auch SHAFGAH et al. (1975) und LATTA (1992) bei Wiederholungsuntersuchungen innerhalb eines Tages.

Wie bereits angesprochen, stellt die Bestimmung der Zone der Verdichtung eine der Voraussetzungen zur Berechnung der Interkuspitationsposition dar. Im Idealfall zeichnet sich nach Latero- und Protrusionsbewegungen auf dem Monitorbild eine querliegende Acht ab, deren Taille das „neuromuskuläre Verdichtungsfeld“ widerspiegelt (VOGEL 1999).

Zur Bestimmung der Interkuspitationsposition wird der Abstand zwischen retrudierter Position und Zone der Verdichtung um 1 mm gekürzt und anschließend halbiert. Das Ergebnis entspricht nach VOGEL der Kieferlage, bei der „Kondylen in jedem Fall frei liegen“, d. h. der Diskus in allen Bewegungsrichtungen nicht komprimiert wird, und wird als diejenige Kieferrelation empfohlen, die die Basis für die intraorale Verschlüsselung darstellt.

Daher stellte es ein Ziel der vorliegenden Untersuchung dar, zu prüfen, inwieweit die vom IPR-System errechnete Position mit der vom String Condylcomp LR3 ermittelten Interkuspitationsposition übereinstimmt.

Bei Betrachtung der Laterotrusionsbewegungen bestanden unabhängig von der Höhe der vorgewählten Kraftstufe keine statistisch signifikanten Differenzen zwischen der errechneten Position und der Interkuspitationsposition. Bei der Protrusion zeigte sich eine statistisch signifikante Zunahme der Differenz mit steigender Kraftstufe. Auch bei einer geringen Belastung bis 30 N betrug die ventrale Abweichung etwa 1 mm, bei den beiden höheren Intervallen sogar durchschnittlich 1,84 bzw. 1,78 mm. Als Ursache für diese Abweichungen ist zunächst die Auswirkung der eingesetzten Kraft zu sehen.

JÜDE et al. (1990, 1991) wiesen nach, dass es durch Belastungen mit Kräften über 30 N in sagittaler Richtung zu deutlichen Verschiebungen und Kippungen der Registrierplatten in unterschiedliche Richtungen kommt. Dabei maßen sie der Positionierung des Stützstiftes eine weniger große Bedeutung zu als der eingesetzten Kraft. Ihrer Meinung nach stellt sich das neuromuskuläre System auf die Stützstiftposition ein, wobei die dabei entstehende Balance entweder durch Kippung oder Verschiebung des Unterkiefers erreicht wird. Dagegen verfälschen große Kräfte das Ergebnis der Kieferrelationsbestimmung. Der Kontakt des Stützstiftes mit der Registrierplatte scheint Reflexreaktionen mit

dem Ziel auszulösen, den Unterkiefer über den zentralen Stützpunkt zu balancieren.

JÜDE et al. (1991) zogen den Schluss, die Lage des Unterkiefers müsse über einen neuromuskulären Kontrollmechanismus gesteuert werden. Wie schon bei den Versuchen mit sagittaler Stützstiftverschiebung war auch bei lateralen Abweichungen eine deutlichere Kippung bei größeren Kräften zu verzeichnen, so dass es geboten erscheint, bei Stützstiftregistrierungen die vom Patienten aufgewandte Kraft zu überwachen und große Kräfte auszuschließen.

Die hier beobachteten Abweichungen zwischen empfohlener und Interkuspida-tionsposition traten aber auch – in geringerem Maße – bei kleineren Kraftinter-vallen bis zu 30 N auf. Daher ist davon auszugehen, dass es sich bei der vom Hersteller für die Registrierung empfohlenen Position nicht um eine physiolo-gische Unterkieferlage handelt. Bei der herstellerseits empfohlenen Belastung bis zu 30 N sind allerdings die Übereinstimmungen zwischen der errechneten Kieferrelation und der Interkuspida-tionsposition für die klinische Anwendung des IPR-Systems als ausreichend hoch einzustufen. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kam JORDAN (2002): Jeweils parallel durchgeführte Bestimmungen der zentrischen und habituellen Kieferrelation mit dem IPR-System und dem klassischen Stützstiftregistrat nach Gerber wiesen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Methoden nach.

Wie POSSELT bereits 1958 feststellte, stimmt die Interkuspida-tionsposition in der Regel nicht mit der retrudierten Position überein. Einige Autoren vermuten bei einer manuellen Führung des Unterkiefers durch den Behandler während einer Pfeilwinkelaufzeichnung eine nach retro-kaudal forcierte Haltung der Mandibula (GERBER 1973, MARXKORS 1970). Nach der Erfahrung von UTZ et al. (1991) zieht eine geführte Aufzeichnung bei der Pfeilwinkelregistrierung keinesfalls eine forcierte Unterkieferhaltung nach sich, zudem wird durch eine manuelle Führung eine bessere Reproduzierbarkeit erreicht (CELENZA 1973, HELKIMO et al. 1973, INGERVALL et al. 1971, SMITH 1973). Da die manuell herbeigeführte, retrudierte Position sicher zu reproduzieren ist, wurde sie in der vorliegenden Untersuchung eingesetzt, um die Auswirkungen der einge-setzten Kraftintervalle zu prüfen.

Erwartungsgemäß fielen die Differenzen zwischen RP und IKP bei der Laterotrusion sehr gering aus und betragen durchschnittlich 0,1 mm. Eine unterschiedlich starke Belastung zeigte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Differenz zwischen retrudierter und Interkuspitationsposition bei Laterotrusionen. Es traten in beiden Positionen individuelle Abweichungen bei den einzelnen Probanden auf, die bis über 1 mm reichten.

Die Protrusionsbewegungen führten dagegen zu signifikant größeren Differenzen bei niedrigen Kraftintervallen von 1-20 und 10-30 N. Hier traten Abweichungen in die ventrale Richtung zwischen 0,83 und 1,22 mm auf, während bei den höheren Kraftintervallen von 20-40 und 30-50 N lediglich Verschiebungen von durchschnittlich 0,50 mm auftraten. Erkennbar an hohen Standardabweichungen bestand eine große Variationsbreite der individuellen Reaktion auf die unterschiedliche Belastung. In ähnlicher Weise fielen auch die Differenzen zwischen retrudierter Position und der vom IPR bestimmten Zone der Verdichtung bei den Protrusionsbewegungen sehr variabel aus. Sie reichten in ventrale Richtung von 0,3 bis 11,1 mm bei einem Mittelwert von etwa 3 mm. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zu den unterschiedlichen eingesetzten Kraftstufen.

Innerhalb der eingesetzten Kraftschwankungen konnten keine signifikanten Positionsabweichungen der Kondylen nachgewiesen werden. Somit kann das vom Hersteller empfohlene Kraftintervall von 10-30 N für das IPR-System bestätigt werden.

Geschlechtsspezifische Einflüsse auf die hier untersuchten Parameter konnten nicht nachgewiesen werden. Lediglich bei den Laterotrusionen traten bei Männern signifikant geringere Differenzen zwischen empfohlener und Interkuspitationsposition auf. Ursächlich besteht hier möglicherweise ein Zusammenhang zu einem geschlechtsspezifisch unterschiedlichen Kauverhalten, wie es YOUSSEF et al. (1997) nachweisen konnten. Ihren Untersuchungsergebnissen zufolge setzen Männer eine höhere Kraft bei kürzeren Kauzyklen und einer schnelleren Kaugeschwindigkeit ein, auch wenn elektromyographisch keine Differenzen zwischen den Geschlechtern nachweisbar sind.

Obwohl das IPR-System bis auf die Lagerung des Sensorkabels technisch gesehen als ausgereift erscheint, gibt die vom Gerät errechnete, empfohlene Relati-

on, die als Basis für die eigentliche intraorale Verschlüsselung dient, nicht zwangsläufig eine physiologische Unterkieferposition wieder. Daher sollte die empfohlene Relation nicht vorbehaltlos als Basis für definitive prothetisch-restaurative Maßnahmen genutzt werden.

6 Zusammenfassung

Das Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-System (Vertrieb Fa. Multident) ermöglicht es elektronisch und computergestützt, eine intraorale Stützstiftregistrierung sowohl positions- als auch kraftabhängig durchzuführen.

An 30 vollbezahnten, zahngesunden Probanden (15 Männer, 15 Frauen) im Alter von 16-32 Jahren wurde mit Hilfe des IPR die horizontale Unterkieferbewegung bei vier verschiedenen Kraftstufen (0-20, 10-30, 20-40 und 30-50 N) aufgezeichnet und die retrudierte Position (RP), die Zone der Verdichtung (ZV) sowie eine vom Gerät errechnete empfohlene Position (EP) ermittelt. Die Ergebnisse wurden zu der mittels String-Condylolcomp erhaltenen Interkuspitationsposition (IKP) in Beziehung gesetzt. Weiterhin wurde mit Hilfe der Kondylenpositionsanalyse die Verlagerung der Scharnierachsenpunkte bei einer Kraftsteigerung von 10 bis 40 N gemessen. Geschlechtsspezifische Einflüsse auf die bestimmten Positionen waren nicht erkennbar.

Im Einzelnen sollten folgende Fragen beantwortet werden:

1. Weist das IPR-System eine ausreichende Positionsgenauigkeit und Krafteichung des Sensors auf?
2. Stimmt die vom System errechnete und als Basis für die intraorale Verschlüsselung empfohlene Kieferrelation mit der Interkuspitationsposition gesunder Probanden überein?
3. Wirken sich Kaukraftdifferenzen auf die Kondylenposition bzw. die Scharnierachse aus?
4. Kann das IPR-System für die klinische Anwendung empfohlen werden?

ad 1. Die zur Registrierung eingestellten Koordinaten und die eingenommenen Positionen auf einem 1mm-Raster stimmten überein. Das Kraftintervall war im Bereich von 10-40N korrekt vorgegeben (Abb. 13).

ad 2. Die vom System errechnete und als Basis für die intraorale Verschlüsselung empfohlene Relation wies hingegen signifikante Abweichungen

von 1-1,5 mm anterior der Interkuspitationsposition bei nicht funktionsgestörter Probanden auf.

- ad 3. Kraftabhängig traten besonders bei der Protrusion deutliche Differenzen bei höheren Kraftintervallen auf. Mittels Kondylenpositionsanalyse konnte keine signifikante Verlagerung der Scharnierachsenpunkte in Abhängigkeit von der gewählten Kraftstufe nachgewiesen werden.
- ad 4. Das IPR-System kann prinzipiell wie jedes andere intraorale Stützstiftregistriersystem empfohlen werden. Die Option, mit diesem System die angeblich „individuelle physiologische Kieferrelation“ berechnen zu lassen, sollte aufgrund der zu ausgeprägten Ventralisierung des Unterkiefers nicht vorbehaltlos genutzt werden. Der Unterschied zwischen der vom IPR-System errechneten Position und der mit Hilfe des String-Condylcomp bestimmten Interkuspitationsposition betrug bei den höheren Kraftstufen im Mittel 1,84 bzw. 1,78 mm. Ein wesentlicher Nachteil einer über die physiologische Unterkieferposition hinaus nach ventral verschobenen Interkuspitationsposition bestünde in der Vergrößerung des retrusiven Bewegungsraumes des Unterkiefers aus der Interkuspitationsposition. Dies könnte im Einzelfall zu nicht beherrschbaren okklusalen Diskrepanzen führen.

7 Summary

The Intraoral Pressuredependent Registration (IPR) system according to Dr. Vogel allows an electronic needle point tracing depending on position and force.

The study was conducted on 30 volunteers (15 m, 15 f, 16-32 years) with complete and healthy dentitions. The IPR system registered the horizontal mandibular movements at four force intervals (0-20, 10-30, 20-40 and 30-50 N), determined the retruded position (RP), the zone of compression (ZV) and calculated recommended position (EP). The results were compared with the intercuspidal position determined by the String-Condylcomp. By means of a condylar position we measured the shift of hinge axis points upon increasing the force from 10 to 40 N. Gender did not influence the results.

The following questions should be answered:

1. Are the position determination and force gauging of the IPR system sufficiently precise?
2. Is the EP calculated by the IPR system different from the intercuspidal position?
3. How are condylar position and hinge axis point influenced by force gauging?
4. Which recommendation can be given for the IPR system?

ad 1: The coordinates adjusted for registration and the occupied position agreed on a 1mm-frame. The force interval was correctly defined in the range of 10 to 40 N.

ad 2: The EP – which is recommended as the base for intraoral codification – however differed 1-1,5 mm anterior from the intercuspidal position in volunteers without functional imbalances, particularly during protrusion at high force intervals.

ad 3: The assessment of condylar position showed no force-dependent displacement of the hinge axis points.

ad 4: The system can be recommended as any other intraoral registration system. The system's determination of the definite centric relation should not be used according to the distinct ventralisation of the mandible. The difference between the position determined by the IPR-system and the

intercuspidal position measured by the String-Condylcomp came to 1,84 and 1,78 mm at high forces. The ventrally dislocated maximum intercuspidation enlarges the retrusive movement capacity of the mandible which can cause severe occlusal discrepancies.

8 Literaturverzeichnis

- ACADEMY OF DENTURE PROSTHETICS: Glossary of prosthodontic terms.
J Prosthet Dent 10, 6, 1960
- BLARCOM, C. W. van: Glossary of prosthodontics. J Prosthet Dent 71, 43-104,
1994
- BOOS, R. H.: Intermaxillary relation established by biting power. J Am Dent
Assoc 27, 1192-1195, 1940
- BUMANN, A., LOTZMANN, U.: Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien.
In: RATEITSCHAK, K. H., WOLF, H. F. (Hrsg.), Farbatlant der Zahn-
medizin, Band 12, Thieme-Verlag, Stuttgart-New York, 2000
- CELENZA, F. V.: The centric position: Replacement and character. J Prosthet
Dent 30, 591-595, 1973
- CHRISTENSEN, F. T.: The compension curve for complete dentures. J Prosthet
Dent 10, 637-641, 1960
- CRADDOCK, F. W.: Prosthetic dentistry. A clinical outline. 2. Aufl., Mosby,
St. Louis, 1959
- DE BONT, L. G. M., LIEM, R. S. B., BOERING, G.: Ultrastructure of the articular
cartilage of the mandibular condyle: Aging and degeneration. Oral Surg
60, 631-635, 1985
- DENEN, H. E.: Movements and positional relations of the mandible.
J Am Dent Assoc 25, 548-556, 1938
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHNÄRZTLICHE PROTHETIK UND
WERKSTOFFKUNDE e.V.: Nomenklaturvorschläge der Nomenklatur-
kommission. Internet-Veröffentlichung, 2002.
- DIEDRICHS, G.; KORDASS, B.: Behandlungskonzept der Funktionsstörungen
des Kausystems. Dt Zahnärztebl 193, 70-75, 1993

- DIXON, A. D.: Structure and functional significance of the intraarticular disc of the human temporomandibular joint. *Oral Surg* 15, 48-53, 1962
- EL-ARMANY, M. A., GEORGE, A., SCOTT, R. H.: Evaluation of the needle point tracing as a method for determining centric relation. *J Prosthet Dent* 15, 1043-1054, 1965
- FALLSCHLÜSSEL, G.K.H.: Psychische Disposition und Stress als ätiologische Faktoren stomatognather Funktionsstörungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 39: 445-451, 1984
- FEHR, C. R.: Theorie und Praxis des Artikulationsproblems. *Zahnärztl Welt* 3, 7-9, 1948
- FREESMEYER, W. B., LUCKENBACH, A., MÜLLER, TH., HÜLS, A.: Vergleichende Untersuchung zwischen mechanischer und elektronisch registrierter Unterkieferbewegung in Beziehung zur Gelenktopographie. *Dtsch Zahnärztl Z*, 39, 870-875, 1984
- FRUCHT, S., JONAS, I., KAPPERT, H. F.: Muskelentspannung durch transkutane Elektroneurostimulation (TENS) bei Bruxismus. *Fortschr Kieferorthop* 56, 245-253, 1995
- FUCHS, P.: Das Kiefergelenk - Funktion und Dysfunction. *Quintessenz* 8, 1369-1378, 1986
- FUHR, K.; REIBER, T.: Die Totalendoprothese. Urban und Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore, 1993
- GEERING, A. H.: Das Kiefergelenk im zahnärztlich-prothetischen Fall. Eine anatomisch-radiographische Untersuchung. Karger, Basel, 1978
- GERBER, A.: Die Micro-Denture-Methode nach McGrane. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 65, 129, 1955
- GERBER, A.: Registriertechnik für Prothetik. Okklusionsdiagnostik, Okklusionstherapie. *Artikulator*, Zürich, 1970

- GERBER, A.: Kiefergelenk und Zahnokklusion. Dtsch Zahnärztl Z 26, 119-141, 1971
- GERBER, A.: Beiträge zur totalen Prothetik (VI). Prinzipielles zur Bissnahme für totale Prothesen. Quintessenz 24, 51-54, 1973
- GERNET, W.: Funktionsanalysen im stomatognathen System. Hanser, München, 1982
- GRANGER, E. R.: Centric relation. J Prosthet Dent 2, 160-168, 1952
- GRANT, P. G.: Lateral pterygoid: Two muscles? Am J Anat 138, 1-10, 1973
- GRIFFIN, C. J., SHARPE, C. J.: The structure of the human temporomandibular meniscus. Austr Dent J 6, 35-39, 1960
- GYSI, A.: The problem of articulation. Dent Cosmos 52: 148-170, 1910
- GYSI, A.: Artikulation. In: C. BRUHN, A. KANTOROWICZ, C. PARTSCH (Hrsg.): Handbuch der Zahnheilkunde, Band 3, Zahnärztliche Prothetik, J. F. Bergmann, München, 1930
- HANAU, R. L.: Occlusal changes in centric relation. J Am Dent Assoc 16, 1903—1911, 1929
- HANSSON, T., ÖBERG, T., CARLSSON, G. E., KOPP, S.: Thickness of the soft tissue layers and articular disc in the temporomandibular joint. Acta Odont Scand 35, 77-83, 1977
- HEISER, W., SLAVICEK, R.: Grundlagenuntersuchung über den Funktionszustand dysgnathier Patienten vor Beginn orthopädischer Therapie. Orthop Kieferorthop 1, 7-23, 1986
- HELFGEN, E. H., KOECK, B., GRÜNER, M.: Muskulär bedingte Krafteinwirkungen auf die Unterkieferzahnreihe bei horizontalen Mandibularbewegungen. Dt Zahnärztebl 102, 261-266, 1993a
- HELFGEN, E. H., MÜLLER, F., GRÜNER, M.: Altersspezifische Zusammenhänge zwischen Führungsart und Kaumuskelpotential. Dt Zahnärztebl 102, 332-336, 1993b

- HELKIMO, M., INGERVALL, B., CARLSSON, G. E.: Recording of different methods in active and passive recording of the retruded position of the mandible. *Scand J Dent Res* 81, 265-260, 1973
- HROMATKA, A.: Die Schlussbissnahme zur funktionellen Bestimmung der Zentralokklusion. *Quintessenz* 19, 39-46, 1959
- HUPFAUF, L.: Vergleichende Untersuchung verschiedener Registrierverfahren. *Dtsch Zahnärztl Z* 26, 158-162, 1971
- IMD: Handbuch IPR-System. Institut für Medizin- und Dentaltechnologie (Hrsg.), Leipzig, 2. Aufl., 1995
- INGERVALL, B., HELKIMO, M., CARLSSON, G. E.: Recording of the retruding position of the mandible with application of varying external pressure to the lower jaw in man. *Arch Oral Biol* 16, 1165-1169, 1973
- JÄGER, K., SCHNEIDER, M.: Wie beeinflussen Okklusionsstörung und Stress die kybernetische Kaukraftsteuerung? *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 536-540, 1992
- JÄHNIG, A., KUBEIN, D., KRÜGER, W., STACHNISS, V.: Okklusion und Kiefergelenkfunktion-vergleichende pantographische Funktionsuntersuchung am Patienten mit paraokklusalen Löffeln. *Dtsch Zahnärztl Z* 35, 635-638, 1980
- JÄHNIG, A., KUBEIN, D.: Über das gekoppelte Öffnungs- und Schließknacken des Kiefergelenkes (reziprokes Knacken). *Dtsch Zahnärztl Z* 39, 242-249, 1984
- JAKSTAT, H.: Zur Lage des neutralen Belastungspunktes im zahnlosen Unterkiefer. *Dtsch Zahnärztl Z* 48, 576-577, 1993
- JANKELSOM, N., SPARKS, S., CRANE, P. F., RADKE, J. C.: Neural conduction of the Myo-Monitor stimulus: A quantitative analysis. *J Prosthet Dent* 34, 245-250, 1975

- JORDAN, T.: Vergleich eines computergestützten Registrierungssystems mit dem klassischen Stützstiftregistriert nach Gerber. Med diss Kiel, 2002
- 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
- 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
- KAPPERT, H. F., JONAS, I., SCHNELL, K.-D., RAKOSI, TH.: Elektromyogramme von Mm. masseter und temporalis in Abhängigkeit von der Muskellänge. Dtsch Zahnärztl Z 44: 908-910, 1989
- KLETT, R.: Elektronische Registrierverfahren für die Kiefergelenksdiagnostik. Dtsch Zahnärztl Z 37, 991-997, 1982
- KOECK, B.: Über der Reproduzierbarkeit der Bestimmung der sagittalen Gelenkbahnneigung. Dtsch Zahnärztl Z 28, 781-784, 1973
- KOECK, B., BIERWIRTH, J. T.: Die Veränderung der Ruheschwebe des Unterkiefers in Abhängigkeit von Schwerkraft, Kopf- und Körperhaltung. Dtsch Zahnärztl Z 41, 1161, 1986
- KÖHLER, L.: Quantitative kritische Untersuchungen der Kieferbewegungen beim Zahnlosen und Bezahnten. Dtsch Zahnärztl Z 13, 495-499, 1958
- KOLNDORFFER, K., WILLNER, G.: Die praxis-ökonomische Bisslagenbestimmung. Dt Zahnärztebl 97, 112-118, 1988
- KUBEIN, D., STACHNISS, V., KRÜGER, W., JÄHNIG, A.: Teilaspekte eines Konzeptes für die Kiefergelenkfunktion. Dtsch Zahnärztl Z 35: 631-634, 1980
- KUBEIN-MEESENBURG, D.: Die kraniale Grenzfunktion des stomatognathen Systems des Menschen. Hanser Verlag, München, 1985

- KÜHL, W.: Untersuchungen über die intraorale Pfeilwinkeltechnik in der Totalprothetik. Dtsch Zahnärztl Z 23, 522-527, 1968
- LATTA, G. H.: Influence of circadian periodicity on reproducibility of centric relation records for edentulous patients. J Prothet Dent 68, 780-783, 1992
- LAURITZEN, A.: Arbeitsanleitung für die Lauritzen-Technik. Carstens & Homvoc, Hamburg, 1972
- LEFF, A.: Gnathodynamics of four mandibular positions. J Prosthet Dent 16, 844-847, 1966
- LOTZMANN, U.: Die Prinzipien der Okklusion. Neuer Merkur, München, 5. Aufl. 1998
- LOTZMANN, U. Paraokklusale Achsiographie mit dem Scharnierachsen-Schreibsystem nach Meyer/dal Ri im Rahmen einer funktionsanalytischen Studie. Med Diss, Göttingen, 1987
- LOTZMANN, U.: Entwicklung und Anwendung des Temporo-Mandibular-Positions-Comparators (TMPC) zur dreidimensionalen Erfassung statischer Verlagerungen der Mandibula. Untersuchungen zur mandibulären Autoreposition im Verlauf der okklusalen Initialtherapie dysfunktionsbedingter Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems. Med. Habilschr., Göttingen, 1994
- LOTZMANN, U.: Die Prinzipien der Okklusion. Neuer Merkur, München, 5. Aufl., 1998
- LOTZMANN, U.: Studien zum Einfluß der okklusalen Prä-Therapie auf die zentrische Kieferrelation. Quintessenz, Berlin, 1999
- LOTZMANN, U., KOBES, L. W. R.: Zum Einfluss von Gewicht und Schwerpunkt-lage des Unterkieferregistrierbogens auf den Verlauf achsiographischer Spuren. Dtsch Zahnärztl Z 43, 567-570, 1988

- LOTZMANN, U., STEINBERG, P.: Klinische Anwendung der Kistler-Messplattform zur computergestützten Posturographie im Rahmen einer funktionsdiagnostischen Vergleichsstudie. Zahnärztl Welt 99, 18-23, 1993
- 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
- LUCIA, V. O.: Centric relation – Theory and practice. J Prosthet Dent 10, 849-858, 1960
- LUCKENBACH, A., FREESMEYER, W. B.: Positionsüberprüfung einer Aufbisschiene mit Hilfe eines elektronischen Registriersystems (ECRS). Dtsch Zahnärztl Z 40, 1219-1222, 1985
- MARXKORS, R.: Zur Vermeidung psychosomatischer Störungen, beispielhaft dargestellt am Krankheitsbild „phasische Depression“. In: H. Müller-Fahlbusch, H. Sergi (Hrsg.): Der psychosomatische Fall in der zahnärztlichen Praxis. Quintessenz, Berlin, 1990
- 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
- McCOLLUM, B. B., STUART, C. E.: A research report. University of Southern California. Scientific Press, South Pasadena, 1955
- McGRANE, H. F.: Five basic principles of the McGRANE full denture procedure. Florida State Dent J 20, 5-12, 1955
- McLEAN, D. W.: Diagnosis and correction of occlusal deformities prior to restorative procedures. J Am Dent Assoc 26, 928-937, 1939
- McLEAN, D. W.: Diagnosis and correction of pathologic occlusion. J Am Dent Assoc 29, 1202-1211, 1942

- MEYER, G.: Entwicklung und Anwendung eines elektronischen Verfahrens zur dreidimensionalen scharnierachspunktbezüglichen Registrierung von Unterkieferbewegungen für die Funktionsdiagnostik des stomatognathen Systems. Med. Habilschr. Göttingen, 1986
- MEYER, G.: Diagnostik okklusaler Interferenzen. In: Schriftenreihe APW: Das funktionsgestörte Kauorgan. Eine Herausforderung an das gesamte Fach, Hanser, München, 1989
- MEYER, G.: Praxisgerechte instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: Schriftenreihe APW: Funktionslehre: Aktueller Stand und praxisgerechte Umsetzung. Hanser, München, 1993
- MOSES, C. H.: Studies in articulation. J Prosthet Dent 2, 341-349, 1952
- MÜLLER, F.: Biofeedback im Rahmen der Behandlung mandibulärer Dysfunktionen. Dtsch Zahnärztl Z 33: 938-941, 1989
- NAKASHIMA, A., HIGASHI, K., ICHINOSE, M.: A new, simple and accurate method for evaluating masticatory ability. J Oral Rehab 16, 373-380, 1989
- ÖBERG, T., CARLSSON, G. E., FAJERS, C. M.: The temporomandibular joint. A morphological study on a human autopsy model. Acta Odont Scand 29. 349-354, 1971
- OHLROGGE, H.: Die Relevanz der instrumentellen Analyse bei Kopf- und Gesichtsschmerz. Philipp J 4, 360-365, 1987
- OTT, K. H. R., OLAVARRIA, L. E., BOSE, M.: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit von Registrierungen mit dem Condylcomp LR 2. Dtsch Zahnärztl Z 46, 596-598, 1991
- PALLA, S.: Bestimmung der Kieferrelation. In: HUPFAUF, L. (Hrsg.): Totalprothesen. 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, Minden, 131-194, 1991
- PERNKOPF, E.: Atlas der topographischen und angewandten Anatomie des Menschen. Hrsg. W. PLATZER, Einbändige Ausgabe der 3. Aufl. von 1987/1989, Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien, 1994

- PHILLIPS, G.: Fundamentals in the reproduction of the mandibular movements. J Am Dent Assoc 14, 409-421, 1927
- POUND, E.: Let „S“ be your guide. J Prosthet Dent 38, 482-488, 1977
- POSSELT, U.: Range of movement of the mandible. J Am Dent Assoc 56, 10-17, 1958
- PRETI, G., SCOTTI, R.: A clinical study of graphic registration of the condylar path inclination. J Prosthet Dent 48, 461-466, 1982
- PROBST, G. M.: Über Kaukraftmessungen an implantatverankertem Zahnersatz im Vergleich zu konventionellen Prothesen. Med Diss, München, 1977
- PRÖBSTER, L., BENZING, U.: Vergleich der computergestützten Registriersysteme MT 1602 und Compugnath. Dtsch Zahnärztl Z 45: 54-60, 1991
- REES, L. A. : The structure and function of the mandibular joint. Brit Dent J 96, 125-133, 1954
- RICHTER, H.: Funktionstherapie und psychosomatische Schmerzfixierung Zahnärztl Mitt 18: 1973-1974, 1982
- ROSSBACH, A.: Untersuchungen über die Belastungsänderung am unteren Prothesenlager bei der intraoralen Pfeilwinkeltechnik. Dtsch Zahnärztl Z 27, 630-636, 1972
- ROSSBACH, A., POLANETZKI, H.: Vergleichende Untersuchungen über die Bestimmung der vertikalen Kieferrelation beim Zahnlosen. Dtsch Zahnärztl Z 257-281, 1975
- SACHS, L.: Angewandte Statistik. Springer, Berlin, 8. Aufl., 1997
- SCHMIDT, R., JONAS, I., SCHULTE-MÖNTING, J., KAPPERT, H. F., RAKOSI, TH.: Integral- und Frequenzspektrum der Elektromyogramme bei Patienten mit Kiefergelenksymptomen. Fortschr Kieferorthop 52: 339-345, 1991
- SCHULTE, W.: Gezielte Funktionsanalyse und Physiotherapie - Erfahrungen bei 442 Patienten mit Myoarthropathien. Dtsch Zahnärztl Z 27: 779, 1972

- SCHULTE, W.: Die exzentrische Okklusion. Quintessenz, Berlin, 1983
- SCHUHMACHER, G.-H.: Morphologie und Funktion des Kiefergelenkes.
Dtsch Stomatol 22, 561-566, 1972
- SCHUMACHER, G.-H.: Das orofaziale System als Regelkreis. In: BENNER, K.-U., FANGHÄNEL, J., KOWALEWSKI, R., KUBEIN-MEESBURG, D., RANDZIO, J. (Hrsg.): Morphologie, Funktion und Klinik des Kiefergelenkes, Quintessenz-Verlag, Berlin, 13-34, 1993
- SCHUYLER, C. H.: Intra-oral method of establishing maxillo-mandibular relation. J Am Dent Assoc 19, 1012-1016, 1932
- SETZ, D.: Vergleichende Untersuchungen über die Messung der Gelenkbahnneigung. Dtsch Zahnärztl Z 26, 187-190, 1971
- SHAFGAH, I., YODER, J. L., THAYER, K. E.: Diurnal variance of centric relation position. J Prosthet Dent 34, 574-582, 1975
- SHANAHAN, T. E., LEFF, A.: Mandibular and articulator movements. III. The mandibular axis dilemma. J Prosthet Dent 12, 292-301, 1962
- SICHER, H.: Oral anatomy. Mosby, St. Louis, 1960
- SILVERMAN, M. M.: Okklusion in der Prothetik und im natürlichen Gebiss. Quintessenz, Berlin, 1964
- SLACIVEK, R.: Gelenkpositionsdiagnostik und gezielte Initialtherapie mit Aufbissschienen im Unterkiefer. Dtsch Zahnärztl Z 35, 616-620, 1980
- SLAVICEK, R.: Die funktionellen Determinanten des Kauorgans. Zahnärztliches-medizinisches Schrifttum, München, 1984
- SLAVICEK, R., LUGNER, P.: Über die Möglichkeit der Bestimmung des Bennett-Winkels bei sagittaler Aufzeichnung. Österr Z Stomatol 75, 270-274, 1978
- SMITH, E. S.: Vertical dimension and centric jaw relation in complete denture construction. J Prosthet Dent 8, 31-39, 1958

- SMITH, H. F.: A comparison of empirical centric relation records with location of terminal hinge axis and apex of the gothic arch tracing. *J Prosthet Dent* 33, 511-516, 1973
- SPERR, W.: Indikation zur Anwendung der graphischen Methode bei der Funktionsanalyse des Gebisses. *Zahnärztl Praxis* 29, 133-137, 1978
- SPRING, K. L.: Anatomisch registrierte oder physiologisch bestimmte zentrale Okklusionslage des Unterkiefers? *Österr Z Stomatol* 11, 572-575, 1953
- STACHNISS, V.: Möglichkeiten und Grenzen der Diagnostik und Therapie okklusionsbedingter Störungen der Kiefergelenkfunktion. Verlag Carl Hanser, München 1984
- STEINHARDT, G.: Anatomy and physiology of the temporomandibular joint: Effect and function. *Int Dent J* 8, 155-156, 1958
- STUART, C. E.: Articulation of human teeth. *Items Interest* 61, 1029-1037, 1939
- THILANDER, B.: The structure of the temporo-mandibular disc in man. *Acta Odont Scand* 22, 135-141, 1964
- THOMPSON, J. R.: The rest position of the mandible and its application to analysis and correction of malocclusion. *Angle Orthodont* 19, 163-170, 1949
- TOLDT, C., HOCHSTETTER, F.: Anatomischer Atlas. Topographische und systematische Anatomie des Menschen in 2 Bänden. Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien, 1975
- TROIANO, M. F.: New concept of the insertion of the lateral pterygoid muscle. *J Oral Surg* 25, 337-341, 1967
- TRYDE, G., McMILLAN, D. R., STOLE, K., MORIMOTO, T., SPANNER, O., BRILL, N.: Factors influencing the determination by means of a screw jack. *J Oral Rehabil* 1, 233-237, 1974

- URSTEIN, M., FITZIG, S., MOSKONA, D., CARDASH, H. S.: A clinical evaluation of materials used in registering interjaw relationships. *J Prosthet Dent* 65, 372-377, 1991
- UTZ, K. H.: Untersuchungen über Veränderungen der Interkuspitationsposition und der terminalen Scharnierachsenposition nach dem Einfügen von Totalprothesen. *Med Habil-Schr, Bonn*, 1990
- UTZ, K. H., DUVENBECK, H., OETTERSHAGEN, K.: Distanz zwischen terminaler Scharnierachsenposition und Interkuspitationsposition im Kiefergelenksbereich. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100, 42-48, 1990
- UTZ, K. H., MÜLLER, F., BERNARD, N., HÜLTENSCHMIDT, R., KURBEL, R.: Handbissnahme oder Stützstiftregistrierung zur Einstellung der maximalen Interkuspitation bei Totalprothesenträgern. *Dt Zahnärztebl* 102, 780-791, 1991
- UTZ, K. H., BERNARD, N., HÜLTENSCHMIDT, R., WEGMANN, U., HUNTEBRINKER, W.: Reproduzierbarkeit der Pfeilwinkelregistrierung bei Vollbezahnten in Abhängigkeit vom Registratmaterial. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 299-307, 1992
- UTZ, K. H., MÜLLER, T., BERNARD, N., HÜLTENSCHMIDT, R., KURBEL, R.: Handbissnahme oder Stützstiftregistrierung zur Einstellung der maximalen Interkuspitation bei Totalendoprothesenträgern? *Dt Zahnärztebl* 102, 780-791, 1993
- UTZ, K. H., BERNARD, N., HÜLTENSCHMIDT, R., KURBEL, R.: Differenzen zwischen myozentrischer und zentrischer Kondylenposition bei Totalprothesenträgern. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 557-562, 1994
- VOGEL, A.: Objektive Messtechnik zur physiologischen Bestimmung der Unterkieferposition. *Dtsch Zahnärztebl* 108, 136-138, 1999
- VOGEL, A., JAKSTAT, H., JÜDE, H.-D.: Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Registrierkraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung. *Dtsch Stomatol* 40, 363-366, 1990

- WALKHOFF, O.: Die Ermittlung der zentralen Okklusion. Zahnärztl Rdsch 27, 466-477, 1926
- WEBER, R., STACHNISS, V.: Ist das zentrische Wachsbißregistrat entbehrlich? Eine Methode zur pantographischen Bestimmung der zentralen Relation für die Modellmontage. Dtsch Zahnärztl Z 37, 900-903, 1982
- WEINBERG, L. A.: The transverse hinge axis: Real or imaginary. J Prosthet Dent 9, 775-778, 1959
- WOELFEL, J., HICKEY, J. C., RINEAR, L.: Electromyographic evidence supporting the mandibular hinge axis theory. J Prosthet Dent 7, 361-369, 1957
- WÖSTMANN, B., VEHRING, A.: Zur Genauigkeit der Übertragung der Kieferrelation durch verschiedene interokklusale Registerate in den Artikulator. Dtsch Zahnärztl Z 49, 554-558, 1994
- WÖSTMANN, B., VEHRING, A.: Die Eignung elastomerer „Bissregistrierungsmaterialien“ zur Verschlüsselung von Stützstiftregistraten. Dtsch Zahnärztl Z 50, 496-498, 1995
- YOUSSEF, R. E., THROCKMORTON, G. S., ELLIS, E., SINN, D. P.: Comparison of masticatory patterns in men and women using a custom computer program. J Prosthet Dent 78, 179-186, 1997

9 Anhang

9.1 Abkürzungen

EP	„errechnete Position“
IKP	maximale Interkuspitationsposition
IPR	Intraoral Pressuredependent Registration
KPA	Kondylenpositionsanalyse
OK	Oberkiefer
RP	retrudierte Position
s	Standardabweichung
UK	Unterkiefer
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert
ZV	„Zone der Verdichtung“

9.2 Nomenklatur

Die in dieser Studie benutzte Nomenklatur entspricht – mit Ausnahme der vom Hersteller des IPR-Systems spezifisch verwendeten Begriffe – den Vorschlägen der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik innerhalb der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.

<u>Okklusion</u>	Jeder Zahnkontakt zwischen den Zähnen des Ober- und des Unterkiefers.
<u>Statische Okklusion</u>	Alle Zahnkontakte ohne Bewegung des Unterkiefers.
<u>Maximale Interkuspitation</u>	Statische Okklusion mit maximal erreichbarem Vielpunktkontakt.
<u>Zentrische Okklusion</u>	Maximale Interkuspitation bei zentrischer Kondylenposition.
<u>Dynamische Okklusion</u>	Alle Zahnkontakte bei Bewegung des Unterkiefers.
<u>Frontzahnführung</u>	Dynamische Okklusion zwischen den Oberkiefer- und Unterkieferfrontzähnen.
<u>Eckzahnführung</u>	Dynamische Okklusion zwischen den Oberkiefer- und Unterkiefereckzähnen.
<u>Gruppenkontakte</u>	Dynamische Okklusion zwischen mehreren Zähnen auf der Laterotrusionsseite.
<u>Zentrische Kondylenposition</u>	Kranioventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Beziehung und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe.
<u>Scharnierachse</u>	Dem Unterkiefer zugeordnete, ortsfeste Drehachse bei Öffnungs- und Schließbewegungen des Unterkiefers.
<u>Zentrische Scharnierachse</u>	In zentrischer Kondylenposition bestimmte Scharnierachse.
<u>Kondylenbahn</u>	Dreidimensionale Bewegungsbahn des Kondylus im schädelbezogenen Koordinatensystem.
<u>Scharnierachsbahn</u>	Dreidimensionale Bewegungsbahn der Scharnierachse im schädelbezogenen Koordinatensystem am Ort der Aufzeichnung.
<u>Interkondylarachse</u>	Die durch den geometrischen Mittelpunkt beider Kondylen verlaufende Verbindungslinie.
<u>Interkondylardistanz</u>	Kürzester Abstand der geometrischen Mittelpunkte beider Kondylen. Die Interkondylardistanz schwankt mit der elastischen Deformation der Mandibula.

Unterkieferbewegung

<u>Protrusion</u>	Bewegung des Unterkiefers in ventraler Richtung.
<u>Retrusion</u>	Bewegung des Unterkiefers in dorsaler Richtung.
<u>Laterotrusion</u>	Bewegung einer Unterkieferseite von der Medianebene weg.
<u>Mediotrusion</u>	Bewegung einer Unterkieferseite zur Medianebene hin.
<u>Laterotrusionsseite</u>	Die Seite, bei der sich der Unterkiefer von der Medianebene nach lateral bewegt.
<u>Mediotrusionsseite</u>	Die Seite, bei der sich der Unterkiefer zu der Medianebene hin bewegt.
<u>Bennett-Bewegung</u>	Seitliches Versetzen des Laterotrusionskondylus während einer Laterotrusionsbewegung des Unterkiefers.
<u>Bennett-Winkel</u>	In der Horizontalebene gemessener Winkel, zwischen der Sagittalrichtung und der Verbindungslinien vom Startpunkt zu einem jeweiligen Punkt auf der Mediotrusionsbahn des Kondylus.

Kieferrelationsbestimmung

Dreidimensionale Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer.

<u>Ruhelage</u>	Unbewusste Abstandshaltung des Unterkiefers vom Oberkiefer bei aufrechter Kopf- und Körperhaltung.
<u>Okklusionsebene</u>	Ebene, die durch den unteren Inzisalpunkt und durch die distobukkalen Höcker der zweiten unteren Molaren festgelegt ist.

Weitere Begriffsbestimmungen

<u>Terminale Scharnierachse</u>	(entspricht der „centric relation“) Hierbei befindet sich die Scharnierachse in der retralen und kranialen Lage, die Kondylen in nicht seiterverschobener Position. Als Referenzpunkte dienen die scheinbaren Durchtrittsstellen der Achse durch die Haut.
<u>Retrale (retrudierte, terminale Kontaktposition)</u>	Die Okklusion in terminaler Scharnierachseposition.

Nomenklatur des IPR-Systems

<u>Retrudierte Position (RP)</u>	Retralste Lage des Stützstiftes im Registrat. (auch horizontale Relation genannt)
<u>„Zone der Verdichtung (ZV)“</u>	Schnittpunkt auf der Horizontalebene zwischen unmanipulierten Pro- und Retrusionsbewegungen und freien ungeführten Laterotrusions- und Mediotrusionsbewegungen.
<u>„Errechnete Position (EP)“</u>	Empfohlene Relation, die über einen Algorithmus aus der retrudierten Position und der Zone der Verdichtung berechnet wird.

10 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen/Herren:

Aumüller, Aurich, Austermann,

Beato, Bittinger,

Dibbets,

Feuser, Flores de Jakoby, Fuhrmann,

Gente, Gloerfeld,

Habermehl, Hochbahn,

Karlson, Kern, Klötzer, van Kraft, Krause,

Lehmann, Lang, Lemke, Lotzmann,

Mannherz, Mittag,

Paul, Pflüger,

Radsak, Rinze,

Schachtschabel, Stachniss, Seitz, Stöckhausen,

Umstadt,

Vogt,

Wisser,

Zelder.

11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Ulrich Lotzmann für die freundliche Überlassung des Promotionsthemas, für die wertvolle Hilfe bei der Planung und Durchführung dieser Arbeit sowie für die zahlreichen Anmerkungen und Literaturhinweise danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Wolfgang Wisser für die vielen wertvollen Tipps und Anregungen und für die umfassende und sachverständige Betreuung sowie für die detaillierte und qualifizierte Unterstützung bei der Versuchsdurchführung und ihrer Auswertung.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn PD Dr. Vogel, der mir das IPR-System zur Verfügung stellte.