

# **Die Übertragungsgenauigkeit eines Ohr-Gesichtsbogens**

Inaugural-Dissertation  
Zur Erlangung des Doktorgrades  
Der Hohen medizinischen Fakultät  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

Vorgelegt von  
Christian Loehr  
aus  
Leverkusen

1998

Angefertigt mit Genehmigung der Medizinischen  
Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. K.-H. Utz
2. Gutachter: Prof. Dr. M. Frentzen

Tag der mündlichen Prüfung: 20.10.1998.

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde der Rheinischen Friedrich-Willhelms Universität Bonn, Welschnonnenstr.  
17, 53111 Bonn (Direktor: Professor Dr. B. Koeck)

Druck: Digital Print Wuppertal

---

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
<b>2. LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERIAL UND METHODE</b>	<b>10</b>
3.1. Planung der Untersuchung	10
3.2. Beschreibung der Fallgruppe	11
3.3. Vorgehensweise bei den Probanden der vorangegangenen Untersuchung	12
3.4. Vorgehensweise bei neuen Probanden	18
3.5. Messung	26
3.6. Messungen zur Reproduzierbarkeit der Methodik	30
<b>4. ERGEBNISSE</b>	<b>33</b>
4.1. Meßergebnisse	33
4.2. Ergebnisse der Messungen zur Reproduzierbarkeit der Methode	41
4.3. Statistische Tests	43
<b>5. DISKUSSION</b>	<b>49</b>
5.1. Kritik der eigenen Methodik	49
5.2. Kritische Betrachtung des SAM <sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogens	49
5.3. Kritische Bewertung der mittelwertigen Achsenbestimmung mit dem SAM <sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen	59
<b>6. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>73</b>
<b>7. ANHANG</b>	<b>75</b>
<b>8. LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>79</b>
Danksagung	85
Lebenslauf	86

## **1. Einleitung**

Bis in die Anfänge unseres Jahrhunderts liegen die verschiedenen individuellen, bzw. mittelwertigen Methoden und Ergebnisse zur Bestimmung der Rotationsachse des Unterkiefers - der zentrischen Scharnierachse - im Interesse der zahnmedizinischen Forschung.

In seiner Abhandlung über die Bewegungen des Unterkiefers berichtete Campion 1905 erstmals, daß es bei der Mundöffnung initial zu einer reinen Rotation mit Zentrum im Bereich der Kondylen kommt. Im weiteren Verlauf der Mundöffnung beobachtete er auch translatorische Bewegungen der Kondylen. Ein umgekehrtes Bewegungsmuster beschrieb er beim Mundschluß. Im okklusionsnahen Bereich fand seiner Meinung nach eine reine Rotation der Kondylen statt. Er folgerte daraus, daß im Rahmen einer zahnärztlichen Rekonstruktion die Notwendigkeit besteht, die angefertigten Modelle der Zahnreihen im Artikulator zu plazieren. Dabei sollte die Relation vom Zahnmodell zur Artikulatorachse dieselbe sein, wie beim Patienten die Relation der Zähne zur Rotationsachse des Unterkiefers.

Diese Überlegung wurde später durch verschiedene Autoren (Brotman, 1960; Fox, 1967; Hofmann u. Pröschel, 1978; Piehslinger et al., 1995; Pröschel et al., 1995; Sörgel u. Körber, 1978; Weinberg, 1958,1961) wissenschaftlich belegt. Sie erkannten, daß ein okklusaler Fehler entsteht, wenn die Modellposition im Artikulator nicht der individuellen Situation des Patienten entsprach. Der okklusale Fehler konnte Störungen der Okklusions- und Artikulationsbeziehungen der Zähne bei der Anfertigung von Zahnersatz hervorrufen.

Mit der Zeit wurden Methoden entwickelt, die individuelle zentrische Scharnierachse am Patienten zu bestimmen und dessen Modelle mittels eines Gesichtsbogens in einen Artikulator zu übertragen. McCollum beschrieb 1921 ein Verfahren, die individuellen Scharnierachsenpunkte auf die Haut des Patienten zu markieren. An den markierten Punkten sowie an einem dritten Referenzpunkt konnte der Gesichtsbogen ausgerichtet und ein Gipsmodell individuell in einem Artikulator montiert werden. Der dritte Referenzpunkt diente dabei der Zuordnung des Modells zu einer definierten Ebene, in

deren Bezug wiederum andere Funktionparameter der Kiefergelenke, wie zum Beispiel der sagittale Kondylenbahnneigungswinkel, gesetzt wurden.

Die Technik der Registrierung der individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte wurde im Laufe der Zeit weiter verbessert. So stellte Lauritzen 1961 den Scharnierachsenlokalisator vor. Da auch heute noch vergleichbare Geräte bei mechanischen Achsiographen verwendet werden, wird die Technik im Allgemeinen als „Lauritzen-Technik“ bezeichnet (Reiber et al., 1985). Das Verfahren wurde von mehreren Autoren beschrieben und ist mit seiner Genauigkeit von  $\pm 1$  mm in sagittaler und vertikaler Richtung sehr präzise (Bernard et al., 1996; Lauritzen und Bodner, 1961; Lauritzen und Wolford, 1961; Schilling, 1983; Seiler und Hupfaut, 1973).

Die individuelle Bestimmung der zentrischen Scharnierachsenpunkte nach der „Lauritzen-Technik“ hat ein geübter Behandler innerhalb von etwa zehn Minuten durchgeführt. Trotzdem wurde schon früh der Versuch unternommen, einen einfacheren Weg zu ihrer Bestimmung zu finden. Dies geschah zum einen durch die Festlegung von Mittelwerten, bezogen auf markante oberflächliche Hautstrukturen (Bergström, 1950; Beyron, 1942; Brandrup-Wognsen, 1953; Fischer, 1935; Hobo, 1971; Reiber und Dickbertel, 1988; Utz et al., 1987). Zum anderen war es der Ohr-Gesichtsbogen, der eine einfache, mittelwertige Modellübertragung in den Artikulator erlaubte.

Anfang der sechziger Jahre machte sich Stuart (The Whip Mix Corporation, Louisville Ky, persönl. Mitteilung, 1997) die enge Lagebeziehung von *porus acusticus externus* und den Kondylen des Unterkiefers zu Nutze, und entwickelte den Quickmount Gesichtsbogen. Diesen, sowie den dazugehörigen Artikulator (Whip Mix<sup>®</sup> Artikulator), ließ er sich patentieren und von der Firma Whip Mix, Louisville, Kentucky herstellen. Andere Hersteller (Artex<sup>®</sup>, SAM<sup>®</sup>, Denar<sup>®</sup>, Panadent<sup>®</sup>, Hanau<sup>®</sup>, Dentatus<sup>®</sup>, KaVo<sup>®</sup>, Reference<sup>®</sup>) folgten dem Beispiel und entwickelten modifizierte Ohr-Gesichtsbögen. Von diesen fand - zumindest im europäischen Raum - der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen die größte Verbreitung.

Der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Ohr-Gesichtsbogen ist derjenige, der dem Original von Stuart am meisten ähnelt. Er funktioniert nach dem Scherenprinzip, was bedeutet, daß die horizontalen Arme in einer gleichsinnigen Bewegung ein- und ausgeschwenkt werden

können. Als dritter Referenzpunkt dient eine Glabellastütze, die mit leichtem Druck an der Nasenwurzel aufliegt. Ein Gelenkgestänge, welches mittels zweier Schrauben fixiert werden kann, verbindet die Bißgabel mit dem Gesichtsbogen.

Die vorliegende Untersuchung sollte klären, in wieweit der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Ohr-Gesichtsbogen geeignet ist, die zentrische Scharnierachse am Patienten zu bestimmen. Der Aufbau der Untersuchung ließ dabei zwei Möglichkeiten der Auswertung zu. Zum einen wurde die Lageveränderung der Okklusionsebene beim Vergleich der individuellen Modellmontage mit der Ohrbogenmontage vermessen. Dieser Teil der Untersuchung wurde durch Herrn Michael Cramer, Hammelburg, in seiner Dissertationsschrift beschrieben. Zum andern sollte die Lage der individuellen zentrischen Scharnierachse mit der mittelwertig durch den Ohr-Gesichtsbogen bestimmten Scharnierachse verglichen werden. Dieser Teil der Untersuchung ist Gegenstand der vorliegenden Dissertationsschrift. Es sollte ein präzises Meßverfahren zur Anwendung kommen, welches folgende Möglichkeiten der Auswertung zuließ:

- Wie genau überträgt der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen die individuelle zentrische Scharnierachse in der Sagittalebene?
- Wie groß sind die transversalen Abweichungen?
- Wie liegt die Bezugsebene des SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogens im Verhältnis zur Scharnierachse-Infraorbitalebene?
- Wie genau läßt sich die Übertragung eines Modells in den Artikulator mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen reproduzieren?
- Wie groß sind die behandlerspezifischen Unterschiede?

## 2. Literaturübersicht

In der folgenden tabellarischen Literaturübersicht sind Publikationen aufgeführt, die sich mit der Genauigkeit einer mittelwertigen Modellübertragung in den Artikulator mittels Ohr-Gesichtsbogen befassen.

Tab. 1 : Literaturübersicht zu Untersuchungen, die sich mit der Genauigkeit der mittelwertigen Scharnierachsenbestimmung mit Ohr-Gesichtsbögen befassen.

Autoren	Methode	Prozentuale Angaben über die in einem Radius von 5 mm liegenden individuellen Scharnierachsenpunkte
1. Teteruck u. Lundeen 1966 N=47	Whip Mix® Quickmount Ohr-Gesichtsbogen Manuelle Auswertung	56 % ( 6 mm Radius )
dito	Whip Mix® Quickmount Ohr-Gesichtsbogen Manuelle Auswertung	75,5 % (6 mm Radius)
2. Bratschko et al. 1979 N=48	Whip Mix® Quickmount Ohr-Gesichtsbogen Auswertung über das Fernröntgenseitenbild	8 %
3. J. J. ... 1957 N=18	Hanau® No. 159-4 Ohr-Gesichtsbogen Manuelle Auswertung	50 % 89 % ( 6 mm Radius )
4. Piehslinger et al. 1995 N=31	SAM®-ATB Ohr-Gesichtsbogen Computer simulierte Auswertung	23 %

Als Maß für die Genauigkeit einer Methode der mittelwertigen Scharnierachsenbestimmung dient die sog. Trefferquote. Sie gibt den prozentualen Anteil der individuellen zentrischen Scharnierachsen an, die in der Sagittalebene einen maximalen Abstand von 5 mm von der mittelwertigen Achse aufweisen.

Teteruck und Lundeen untersuchten 1966 zum ersten Mal die Übertragungsgenauigkeit eines Ohr-Gesichtsbogens. Es handelte sich dabei um den Quickmount-Bogen der Firma Whip Mix. Sie fanden, daß die mittelwertig bestimmten Scharnierachsen in 56,4% einen maximalen Abstand von 6 mm zur individuellen Scharnierachse aufwiesen. Ihre Untersuchung zeigte aber auch, daß der originale Quickmount-Bogen durch eine Veränderung im Bereich der Montagepunkte am Artikulator theoretisch optimiert werden konnte. Ein solcher optimierter Gesichtsbogen wies nach ihren Angaben eine rechnerische Genauigkeit von 75,5 % (bei  $r = 6\text{mm}$ ) auf. Es wurden allerdings keine quantitativen Angaben über die Änderung der Montagepunkte gemacht. Die Reproduzierbarkeit der Handhabung des Gesichtsbogens lag nach Angaben der Autoren im Mittel bei 1 mm. Keine Berücksichtigung fand eine mögliche transversale Komponente.

Bratschko et al. führten 1979 eine vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Methoden der mittelwertigen Scharnierachsenbestimmung durch. Als Referenzpunkt wurde die im Fernröntgenseitenbild bestimmte individuelle zentrische Scharnierachse verwendet. Die Trefferquote des Whip Mix<sup>®</sup> Quickmount Ohr-Gesichtsbogens wurde in dieser Publikation mit 8 % innerhalb von 5 mm angegeben. Die Untersucher machten keine Angaben zur Reproduzierbarkeit sowie zum Einfluß einer möglichen transversalen Komponente. Die Untersuchung ist insofern kritisch zu bewerten, als daß das Fernröntgenseitenbild ein Summationsröntgenbild ist, nur eine Kieferseite betrachtet werden kann und kein direkter anatomischer Zusammenhang zwischen dem röntgenologisch bestimmten Mittelpunkt der Kondylen des Kiefergelenks und der geometrischen Rotationsachse des Unterkiefers besteht.

Palik et al. veröffentlichten 1985 eine weitere Studie zur Genauigkeit eines Ohr-Gesichtsbogens. Es wurde der Hanau<sup>®</sup> No. 159-4 earpiece face-bow (Fa. Teledyne Dental Co.) verwendet. Der Versuchsaufbau war ähnlich dem von Teteruck und Lundeen. An 18 Probanden wurde der Ohr-Gesichtsbogen je vier mal angelegt. Der Versatz der mittelwertig bestimmten Achse zur individuellen zentrischen Scharnierachse wurde manuell in dorso-ventraler und kranio-kaudaler Richtung vermessen. Als Genauigkeit wurde eine Trefferquote von 50% bei 5 mm Radius und 89% bei 6 mm Radius

angegeben. Über die Genauigkeit des wiederholten Anlegens des Ohr-Gesichtsbogens wurde nur in dem Sinne eine Aussage getroffen, daß keine statistisch signifikante Reproduzierbarkeit nachzuweisen war. Die Veröffentlichung machte keine Angaben über eine transversale Komponente und traf auch keine Aussage darüber, ob ein veränderter Gesichtsbogen eine bessere Trefferquote aufweisen könnte.

Die 1995 von Piehslinger et al. veröffentlichte Untersuchung berechnete die Übertragungsgenauigkeit des SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogens über eine Computersimulation. Gipsmodelle der Oberkiefer von 31 Probanden wurden einmal nach Achsiographie und einmal mittels Ohr-Gesichtsbogen in einen Artikulator transferiert. Die Datenaufnahme erfolgte computergestützt über einen dreidimensionalen digitalen Wegaufnehmer im Bereich der Okklusionsebene. Als Meßpunkte dienten die zentralen Gruben der Zähne 16 und 26 sowie die palatinale Fossa des rechten zentralen Incisivus. Über eine Computersimulation wurden aus Änderungen im Bereich der Okklusionsebene Rückschlüsse auf die Abweichung der Kondylen gezogen. Die Trefferquote für eine Lokalisation der mittelwertig bestimmten Scharnierachsenpunkte in einem maximalen Abstand von 5 mm zu den individuellen Scharnierachsenpunkten wurde mit 23 % angegeben. Die Autoren machten keine Angaben über die Reproduzierbarkeit sowie über eine mögliche Optimierung des Gesichtsbogens.

Die vier Untersuchungen über Ohr-Gesichtsbögen zeigen teilweise recht unterschiedliche Ergebnisse. Dies könnte zum einen daran liegen, daß Bögen unterschiedlicher Hersteller verwendet wurden. Zum anderen werden keine quantitativen Aussagen über den Versatz der Montagepunkte für den Ohr-Gesichtsbogen zur Drehachse des Artikulators gemacht. Die Lage der Montagepunkte variiert herstellerspezifisch sehr stark. Sie hat jedoch entscheidenden Einfluß darauf, welche Position das Modell im Artikulator einnimmt.

### **3. Material und Methode**

#### **3.1. Planung der Untersuchung**

Das grundsätzliche Prinzip der Untersuchungsmethodik sah vor, die individuelle scharnierachsenbezügliche Modellposition im Artikulator mit der durch den Ohr-Gesichtsbogen bestimmten Position zu vergleichen. Dabei sollte der Versatz der Kondylarkugeln, der sich durch die Ohrbogenposition ergab, in allen drei Raumebenen - bei fixierter Modellposition - vermessen werden. Bei der Planung der Untersuchung und der Meßmethodik waren folgende Vorgaben zu berücksichtigen:

- Als Ohr-Gesichtsbogen sollte der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen verwendet werden.
- Probanden aus einer vorangegangenen Untersuchung, deren Oberkiefermodelle individuell scharnierachsenbezüglich in einem Dentatus<sup>®</sup> Artikulator montiert vorlagen, sollten bei dieser Untersuchung wieder berücksichtigt werden. Hier konnte auf eine erneute, zeitaufwendige individuelle Modellmontage verzichtet werden. Die Probanden mußten nur noch einmal zum Anlegen des Ohr-Gesichtsbogens einbestellt werden.
- Der Vorgang der Auswertung sollte auf das Reference<sup>®</sup>-System der Firma Girrbach Dental ausgelegt sein. Zum einen war das Prinzip zur Modellarchivierung sehr vorteilhaft für die Durchführung der Untersuchung. Zum andern bestanden sehr gute persönliche Kontakte zu den Herren Dr. Dichter Reusch und Jochen Feyen (Begründer des Reference<sup>®</sup> Artikulatorsystems) sowie Herrn Rudolph Cramer (Feinmechaniker). Diese Kontakte gaben wichtige Impulse bei der Entwicklung der Meßmethodik und ermöglichten letztendlich die Herstellung der Meßapparatur durch die Firma Girrbach Dental.
- Die Datenerfassung sollte auf digitalem Weg erfolgen, um die Meßwerte einer computergestützten statistischen Auswertung zuführen zu können.

Aus diesen Voraussetzungen ergaben sich folgende Notwendigkeiten:

- Die Modelle derjenigen Probanden, die schon an der vorangegangenen Untersuchung teilgenommen hatten, mußten im Reference<sup>®</sup> Artikulator neu montiert werden. Es mußte ein Verfahren entwickelt werden, das die räumliche Position der Modelle im Dentatus<sup>®</sup> Artikulator exakt in den Reference Artikulator überführte.
- Die Modelle mußten ein spezielles Magnet-Splitcast System erhalten, welches erlaubte, daß sie drei Mal in unterschiedlichen Positionen einartikuliert werden konnten.
- Das Meßsystem mußte neu konzipiert werden, da die bisher bekannten den erwarteten Meßwegen nicht genügten.

### 3.2. Beschreibung der Fallgruppe

Bei der Auswahl der Probanden wurde darauf geachtet, daß diese oll bezahnt waren und gleichzeitig weitestgehend karies- und füllungsfreie Zähne im Oberkiefer hatten (S. Abb. 1).

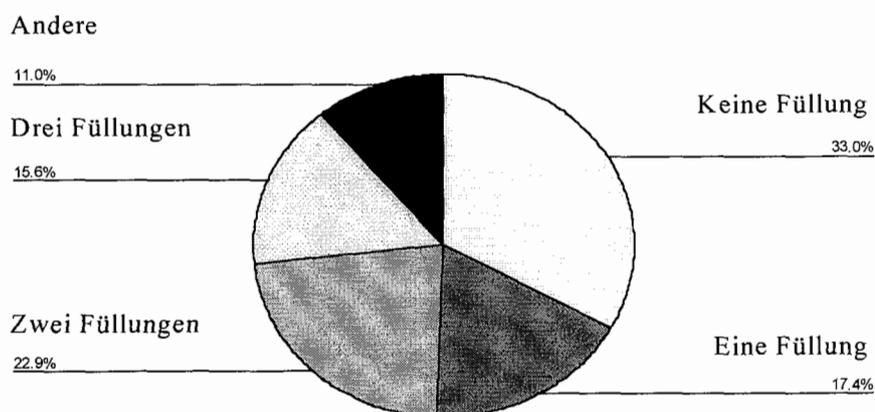


Abb. 1: Prozentuale Verteilung der Füllungsanzahl auf die Gesamtfallzahl.

Für die vorliegende Untersuchung stellten sich insgesamt 112 Personen zur Verfügung. Von 109 Probanden konnten die Meßergebnisse in die statistische Auswertung einfließen. Bei drei Probanden konnten keine Messungen durchgeführt werden, da es zu Paßungenauigkeiten zwischen Modell und Bißgabel kam. Die 109 Probanden, davon 78 männliche (71,6%) und 31 weibliche (28,4%), teilten sich in zwei Gruppen auf. Die erste

Gruppe stammte aus der vorangegangenen Untersuchung. Sie umfaßte 43 Fälle oder 39,4% des gesamten Fälle. Die zweite Gruppe umfaßte 66 neu untersuchte Personen.

Der klinische Teil der Arbeit wurde von zwei Behandlern durchgeführt. Behandler Eins (Christian Loehr) untersuchte insgesamt 61 Probanden, davon alle 43 Personen aus der Voruntersuchung. Behandler Zwei (Michael Cramer) führte die Untersuchung an 48 neuen Probanden durch. Die den Ergebnissen zugrunde liegenden Meßdaten wurden allesamt durch den Verfasser erhoben.

### **3.3. Vorgehensweise bei den Probanden der vorangegangenen Untersuchung**

#### **3.3.1. Achsiographie, individuelle Modellmontage**

Bei den 43 Probanden, die sich erneut für die vorliegende Untersuchung zur Verfügung gestellt hatten, wurde im Rahmen der vorangegangenen Forschungsarbeit eine Abformung des Oberkiefers mit dem Monophase-Silikon Panasil<sup>®</sup> Contact unter Verwendung der konfektionierten halbindividuellen Abformlöffel nach Prof. Schreinemakers durchgeführt. Von den Abformungen wurden mit dem synthetischen Superhartgips Twestone<sup>®</sup> Modelle hergestellt. Anschließend erfolgte die Bestimmung der individuellen zentrischen Scharnierachse der Probanden mit dem Achsiographen Nr. 2 der Firma SAM<sup>®</sup>. Die festgelegten Scharnierachsenpunkte wurden auf der Haut der Probanden markiert. Anhand der angezeichneten Punkte konnten die Oberkiefermodelle der Probanden mit einem Dentatus<sup>®</sup>-Gesichtsbogen individuell in einen Dentatus<sup>®</sup>-ARL Artikulator montiert werden. Als dritter Referenzpunkt zur räumlichen Übertragung diente der manuell palpierende Unterrand der linken Orbita.

### 3.3.2. Abgleich der Artikulatoren

Die Erfassung der Meßdaten war auf das Reference<sup>®</sup>-System der Firma Girrbaach ausgelegt. Aus diesem Grund mußte die Modelle im Reference<sup>®</sup>-Artikulator neu einartikuliert werden. Dabei durfte deren dreidimensionale Raumposition zur Artikulatorachse und Bezugsebene nicht verändert werden. Zu diesem Zweck wurde die folgende Übertragungsmöglichkeit entwickelt, die einen im Bezug zur Scharnierachse und zur Referenzebene exakt gleichen Sitz der Modelle in beiden Artikulatoren gewährleistete.

Der Dentatus ARL<sup>®</sup> Artikulator war zur einfacheren Handhabung mit dem Adesso<sup>®</sup> Quick-Split System der Firma Mälzer Dental ausgerüstet. Dieses System erlaubt es, ein Modell beliebig oft aus dem Artikulator herauszunehmen und es dort positionsgenau wieder zu reponieren (Bernard et al. 1993). Durch eine Gesichtsbogenübertragung der dreidimensionalen Raumposition der Quick-Split Platte vom Dentatus<sup>®</sup> Artikulator in den Reference<sup>®</sup>-Artikulator wurde eine Adesso Quick-Split Montageplatte auch am Unterteil des Reference Artikulators mit Gips (Kerr<sup>®</sup> Snow White Plaster No. 2) befestigt. So konnte ein Unterkiefermodell oder auch ein – unter Punkt 3.3.3. beschriebener - Gegensockel vom einen in den anderen Artikulator umgesetzt werden. Dabei war gewährleistet, daß die räumliche Position in Bezug zur Artikulatorachse und

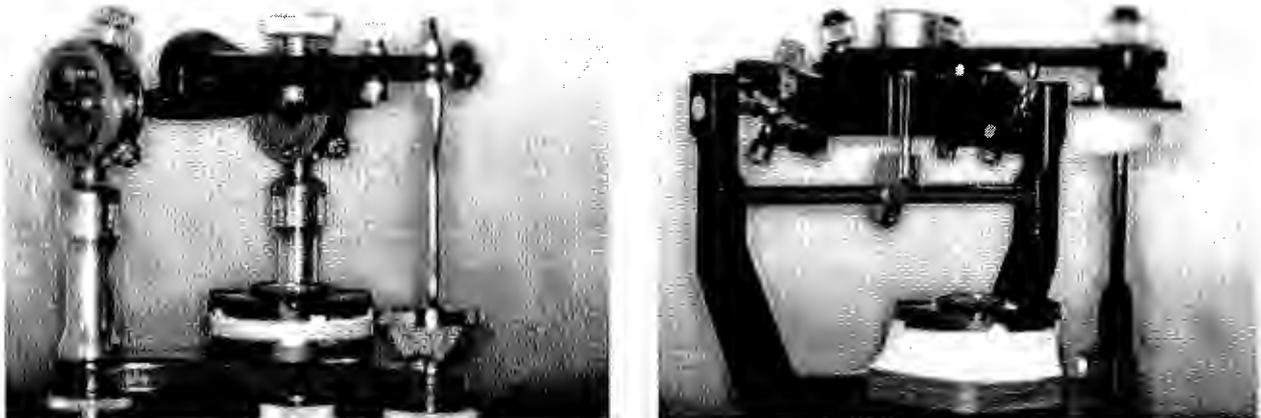


Abb. 2a u. 2b: Abgegliche Artikulatoren, Dentatus<sup>®</sup> ARL, Reference<sup>®</sup>, die Adesso<sup>®</sup> Magnet-Montageplatten nehmen die exakt gleiche räumliche Position in beiden Artikulatoren ein.

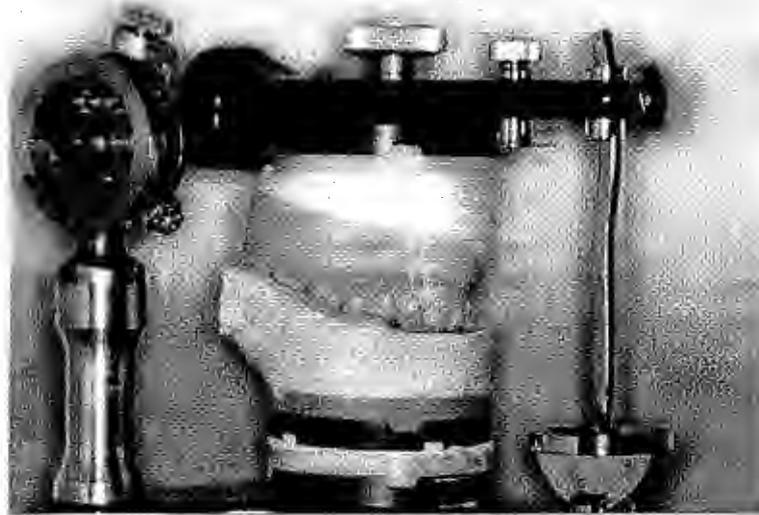
zur Referenzebene exakt gleich war. Nachfolgend ist die Vorgehensweise schrittweise erklärt.

- Herstellung eines Adesso<sup>®</sup> Quick Split Gipskonters mit eingegossener Bißgabel des SAM<sup>®</sup> ATB Ohr Gesichtsbogens.
- Aufsetzen des Konters auf die untere Adesso<sup>®</sup> Quick Split Magnetplatte des Dentatus<sup>®</sup> Artikulators.
- Anlegen des Gesichtsbogens an den Dentatus<sup>®</sup> Artikulator, vorsichtiges Festsetzen der Fixierschrauben, um eine Verwindung des Gesichtsbogens zu vermeiden.
- Umsetzen des Gesichtsbogens in das Montagegerät des Reference<sup>®</sup> Systems und Festgipsen der Bißgabel an einer grauen Montageplatte.
- Eine an der Unterseite mit Retentionen versehene Adesso<sup>®</sup> Split Magnetplatte wurde auf den Gipskonter aufgesetzt und am Unterteil des Reference<sup>®</sup> Artikulators festgegipst.

### **3.3.3. Herstellung eines Gegensockels, Montage der Modelle im Reference<sup>®</sup>**

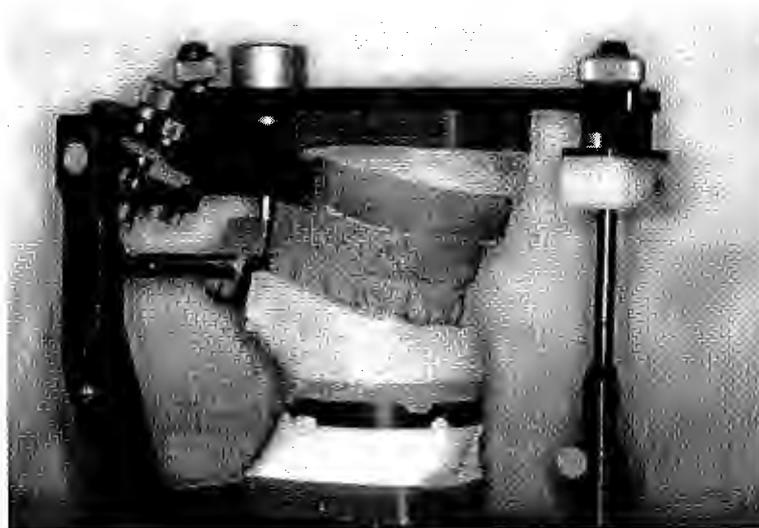
#### **Artikulator**

Um die Lage der Oberkiefermodelle zum Artikulatorunterteil zu fixieren, wurden Gegensockel aus Gips (Kerr<sup>®</sup> Snow White Plaster No. 2) hergestellt. Zunächst wurde ein Konter aus Superhartgips (Tewestone<sup>®</sup>) an der im Dentatus<sup>®</sup> ARL Artikulator befestigten unteren Adesso<sup>®</sup> Quick-Split Platte aufgesetzt. Auf die Zahnreihe des Oberkiefermodells wurde eine Platte erwärmtes Myoco<sup>®</sup> Wachs extra hart aufgebracht und das Modell in den Artikulator eingesetzt. Der Raum zwischen Wachs und Gipskonter wurde nun bei geschlossenem Artikulator mit Gips aufgefüllt. Nach Abbindung des Gipses wurde die Wachsplatte entfernt, die Zahnreihe des Modells mit Vaseline isoliert, und der verbliebene Spalt von ca. 1 bis 2 mm mit Gips aufgefüllt. Die Position des Oberkiefermodells war jetzt zum Unterteil des Artikulators fixiert.



*Abb. 3: Modell im Dentatus<sup>®</sup> - Artikulator mit Gegensockel.*

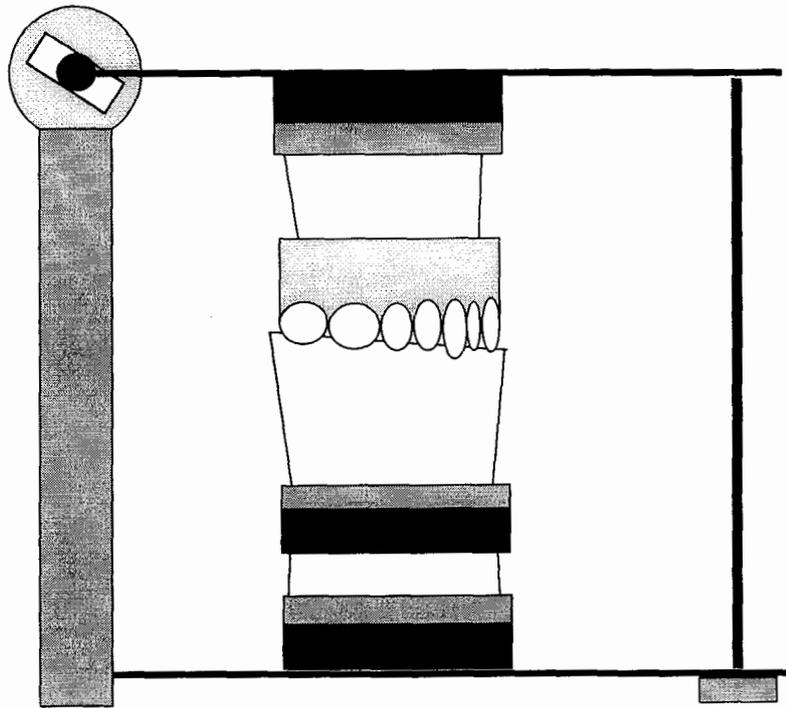
Durch Umsetzen des Gegensockels konnte das Oberkiefermodell nun in gleicher räumlicher Position im Reference<sup>®</sup>-Artikulator neu montiert werden. Dabei wurde ein unter 3.4.2. beschriebener Split Cast zwischen Modell und Montagesockel eingesetzt.



*Abb. 4: Modell im Reference<sup>®</sup>-Artikulator montiert, eingesetzter Magnet Splitcast.*

Die beschriebene Verfahrensweise ist in den Abbildungen 5a bis 5d nochmals schematisch dargestellt.

## Dentatus® Artikulator



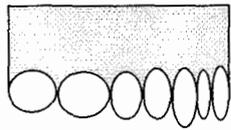
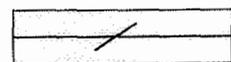
-  — Adesso® Quick Split Magnetplatte
-  — Adesso® Quick Split Konter aus Superhartgips
-  — Oberkiefermodell
-  — Kerr® Snow White Plaster No.2
-  — Montagesockel Reference®
-  — Superhartgips Magnet Split

Abb. 5a: Modell im Dentatus® Artikulator mit erstelltem Gegensockel, Legende für Abb. 5a-5d.

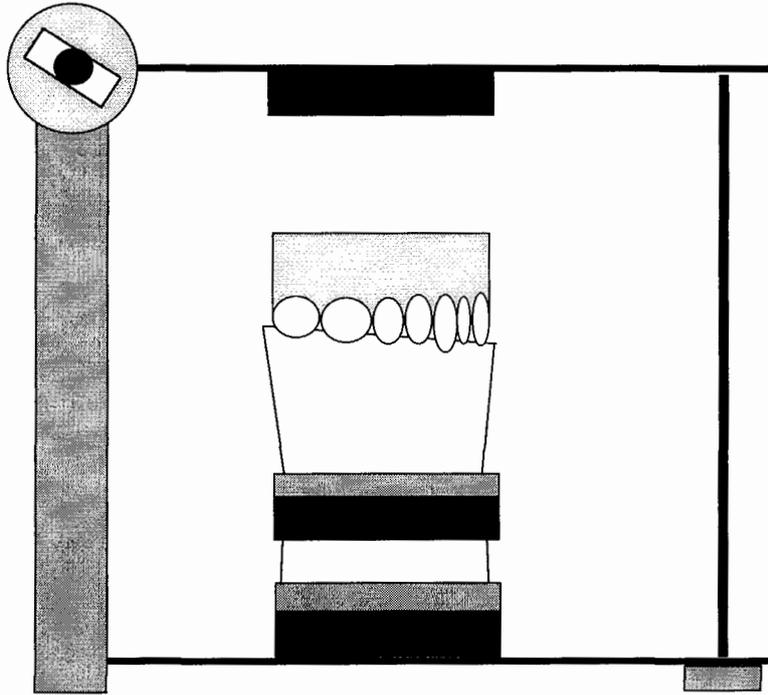


Abb. 5b: Modell m. Gegensockel im Dentatus<sup>®</sup> Artikulator, Montagegips herausgeschlagen.

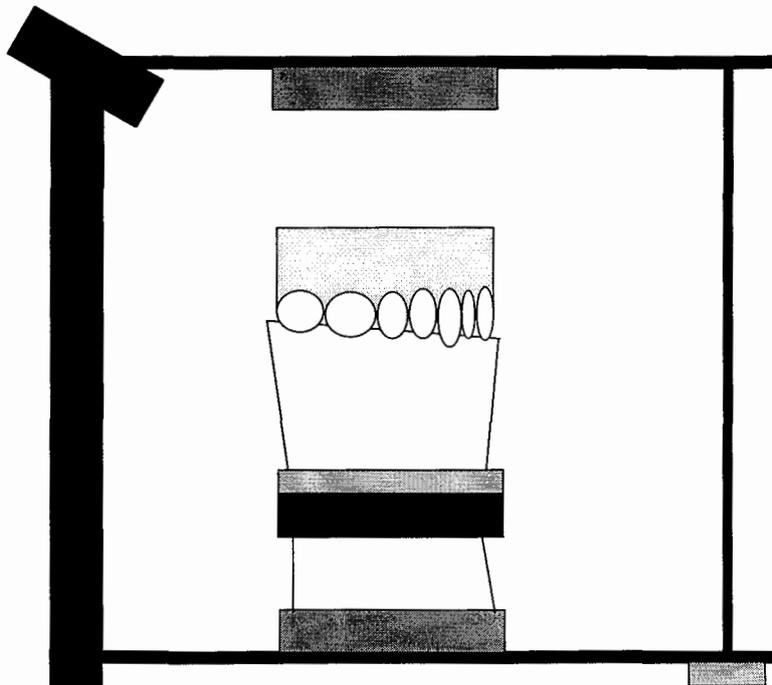


Abb. 5c: Gegensockel mit Modell, umgesetzt in den Reference<sup>®</sup> Artikulator.

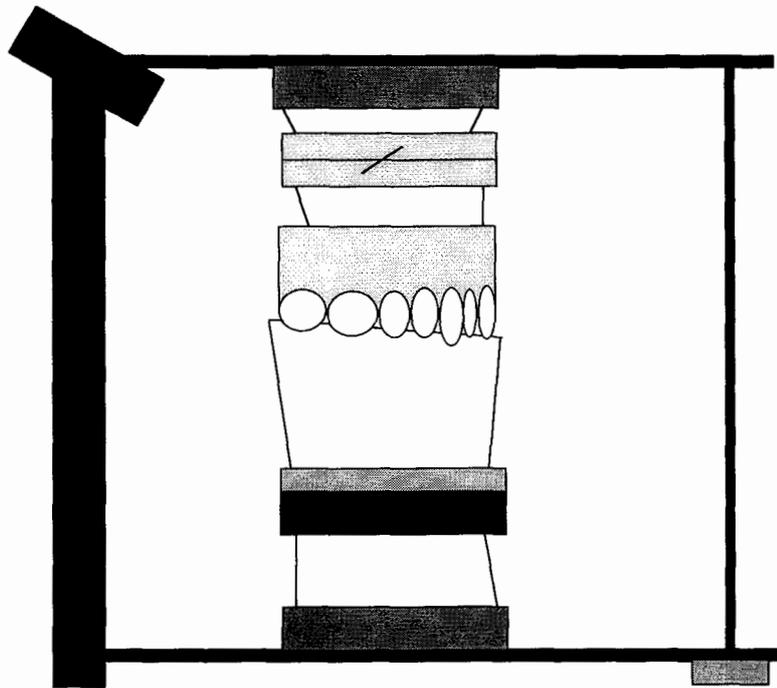


Abb. 5d: Modell mit Magnet Split Cast im Reference<sup>®</sup> Artikulator neu einartikuliert.

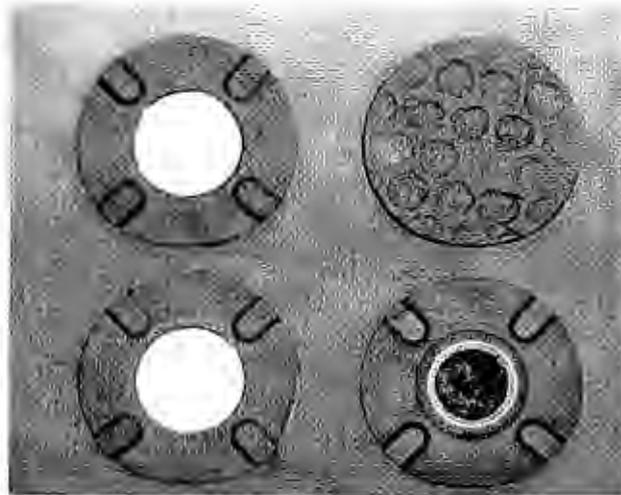
### 3.4. Vorgehensweise bei neuen Probanden

#### 3.4.1. Achsiographie, individuelle Modellmontage

Zunächst erfolgte die Abformung und die Modellerstellung analog der in Abschnitt 3.3.1. beschriebenen Verfahrensweise. Danach wurde die individuelle zentrische Scharnierachse der Probanden mit dem Reference<sup>®</sup> Condylographen gemäß der Arbeitsanweisung bestimmt und auf den Flaggen markiert. Das Modell wurde im Montagegerät des Reference<sup>®</sup> Systems einartikuliert, wobei ein im Folgenden beschriebener Magnet Splitcast zwischen Modell und Montageplatte eingesetzt wurde.

### 3.4.2. Herstellung eines Split Cast Systems

Die zwei unterschiedlichen Registrierverfahren, zum einen die individuelle Scharnierachsenbestimmung und zum anderen die Modellübertragung mittels Ohr-Gesichtsbogen, führten bei der Modellmontage im Artikulator zu unterschiedlichen Modellpositionen. Um diese vergleichen zu können, mußte eine Möglichkeit gefunden werden, ein Modell mehrmals in unterschiedlichen Positionen einzuartikulieren. Dies wurde durch eine Modifikation des Adesso® Split Systems erreicht.



*Abb. 6: Splitcast, abgeleitet aus dem Adesso® Quick Split System. Die Montageplatte (links unten) paßt exakt auf die Magnetplatte (rechts unten). Oben rechts ist die Rückseite der Platte mit eingearbeiteten Retentionen dargestellt.*

Durch den Ausguß des Sockelformers des Adesso®-Systems mit dem Methacrylat Palapress® wurde eine stabile Negativform des Sockelformers erstellt. Diese diente wiederum zur Erstellung einer Positivform aus synthetischem Superhartgips (Tewestone®) mit eingelegtem Magneten. Die so entstandene Platte paßte nun exakt zu den mit dem originalen Sockelformer erstellten Montageplatten. Bei der Montage eines Modells wurde nun ein solches Split Cast „Pärchen“ zwischen Modell und Artikulatoroberseite gesetzt, wobei die Platte mit dem Magneten zur Modellseite gewandt

war. Durch Trennen des Splitcasts konnte das Modell jetzt mit einer neuen originalen Montageplatte in einer anderen Position einartikuliert werden.

### 3.4.3. Mittelwertige Achsenbestimmung mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick

#### Ohr-Gesichtsbogen

Für einen Probanden wurden zwei Bißgabeln aus dem SAM<sup>®</sup> System mit jeweils drei Bite Tabs<sup>®</sup> im Bereich der Inzisivi und der 2. Molaren vorbereitet. Die Bite Tabs<sup>®</sup> wurden über einer Flamme erwärmt, und im Mund des Probanden an die Zahnreihen adaptiert, ohne dabei zu tiefe Impressionen zu erzeugen. Nach dem Abkühlen wurde die Bißgabel sowohl im Mund des Probanden als auch auf dem Modell auf schaukelfreien Sitz überprüft. Gegebenenfalls wurden die Impressionen mit einem Skalpell leicht beschnitten, um einen exakten Sitz des Modells zu gewährleisten.



*Abb. 7: Standardisierter Handgriff beim Anlegen des Gesichtsbogens.*

Der Proband wurde nun in ca. 30 Grad nach dorsal geneigter Position gelagert und aufgefordert, die Bißgabel bei geöffnetem Mund mit beiden Daumen an der oberen Zahnreihe mit gleichmäßigem Druck zu fixieren. Sodann wurde der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen angelegt. Zunächst wurden die Ohroliven mit sanftem Druck in die äußeren Gehörgänge eingeführt und die vordere Stellschraube fixiert. Danach wurde die Glabellastütze auf Spannung gesetzt und ebenfalls fixiert. Um hier eine möglichst große Standardisierung des Verfahrens zu erzielen, waren die entsprechenden Handgriffe unter den zwei Behandlern abgesprochen und wurden mit möglichst gleichmäßigem Druck bei den Probanden angewandt. Anschließend wurden der Gesichtsbogen und die Bißgabel mittels dem Übertragungsgestänge verbunden. Nachdem die Bißgabel ohne die Unterstützung der Daumen des Probanden auf spaltfreies Anliegen an den Zähnen hin überprüft worden war, konnte der Gesichtsbogen abgenommen werden. Dieser Vorgang wurde nun mit einer zweiten Bißgabel wiederholt.



*Abb. 8: Angelegter Gesichtsbogen, Bißgabel auf korrekten Sitz hin überprüft.*

#### 3.4.4. Modellmontage mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Ohr-Gesichtsbogen

Die Ohroliven des SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Ohr-Gesichtsbogens sind mit kleinen Bohrungen versehen, die an den SAM<sup>®</sup> Artikulatoren in dafür vorgesehene Zapfen an den Kondylarboxen eingehängt werden. Diese Zapfen weisen einen Versatz zur Artikulatorachse von 6,5 mm nach dorsal sowie 1,8 mm nach kranial bei einer vorjustierten Gelenkbahnneigung von 30 Grad auf. Der Inzisalteller des Artikulators liegt bei der Modellmontage auf der Querstrebe des Gesichtsbogens auf. Dadurch wird die dreidimensionale Positionierung des Modells zur Bezugsebene festgelegt. Um eine Modellmontage im Reference<sup>®</sup>-Artikulator zu ermöglichen, wurde der Ohr-Gesichtsbogen mit demontierbaren Zapfen versehen. Diese konnten in die Achse des Montagegerätes des Reference<sup>®</sup>-Systems eingehängt werden.

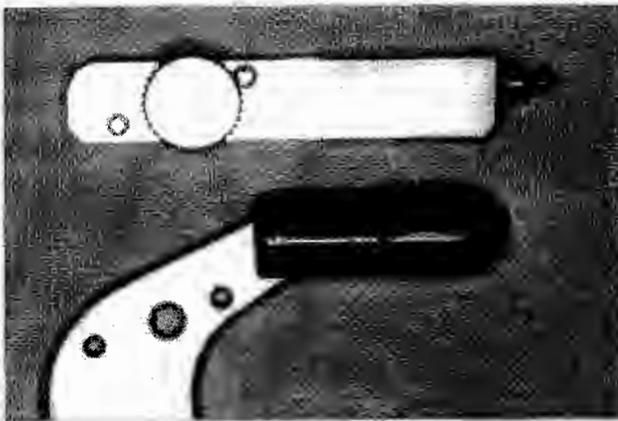


Abb. 9a: Montagezapfen und Ohrolive.

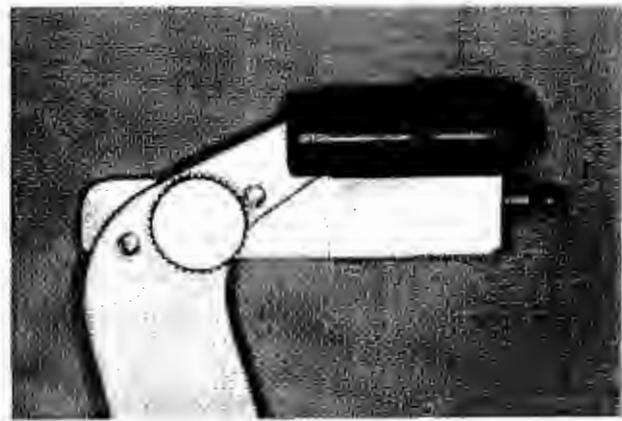
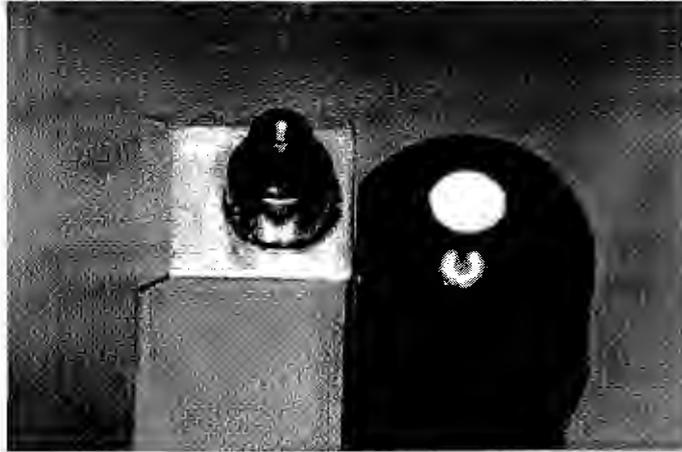


Abb. 9b: Montagezapfen aufgesetzt.

Um geometrisch exakt gleiche Verhältnisse zu erreichen, mußten folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Die Achse des Reference<sup>®</sup>-Montagegerätes mußte genau auf die Breite des SAM<sup>®</sup>-Artikulatoroberteils eingestellt werden.
2. Der korrekte Bezug zur Referenzebene wurde durch Absenken eines um ca. 1 cm verlängerten Orbitalebeneanzeigers des Montagegerätes bis auf die Querstrebe des SAM<sup>®</sup> Axioquick Gesichtsbogens erreicht.

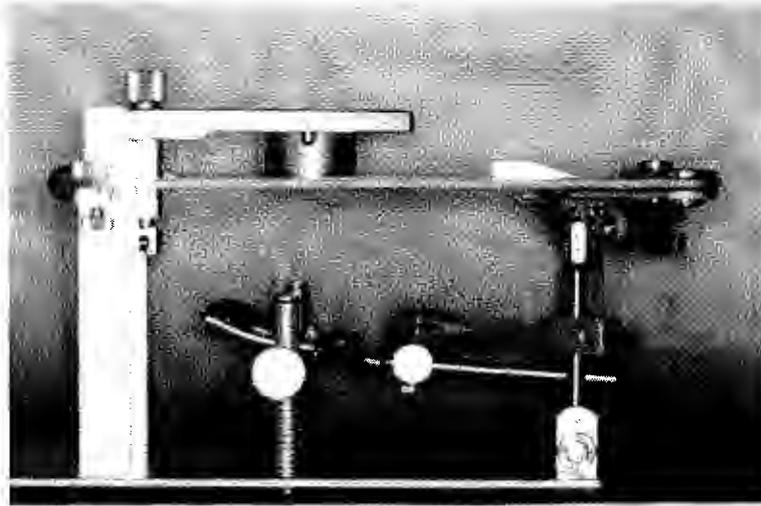
3. Die demontierbaren Montagezapfen wiesen einen Versatz von 6,5 mm nach ventral und 1,8 mm nach kaudal auf. Dadurch wurde ein Versatz der Ohroliven von 6,5mm/1,8mm nach dorsal/kranial erzielt. Die technische Umsetzung dieser Vorgaben wurde von Herrn Rudolph Cramer durchgeführt.



*Abb. 10: Ansicht von medial/kaudal auf den Montagezapfen und die Ohrolive.*

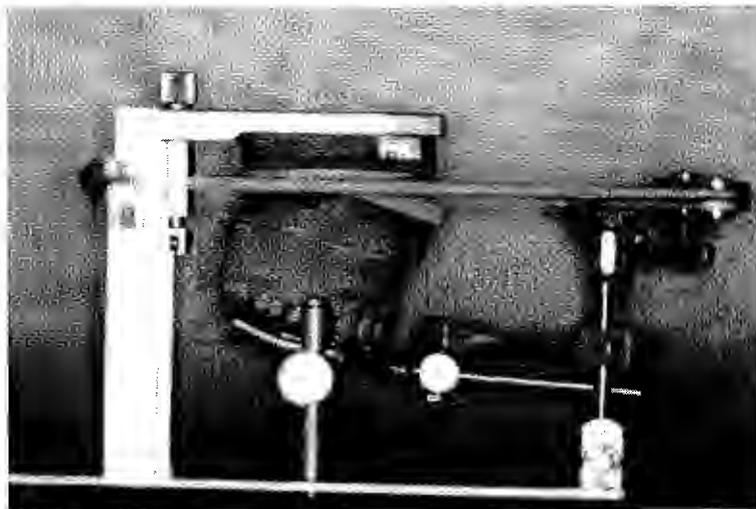


*Abb. 11: Montagezapfen am Reference<sup>®</sup> Montagegerät eingehängt.*



*Abb. 12: SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen am Reference<sup>®</sup> Montagegerät eingehängt, verlängerter Orbitalebeneanzeiger auf die Querstrebe des Gesichtsbogens abgesenkt.*

Das Oberkiefermodell wurde nun zwei mal mit Kerr<sup>®</sup> Snow White Plaster No. 2 und jeweils einer neuen Adesso<sup>®</sup> Quick Split Montageplatte entsprechend den zwei Übertragungen mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick Gesichtsbogen im Reference<sup>®</sup> Montagegerät einartikuliert.



*Abb. 13: Modell im Reference<sup>®</sup> Montagegerät mit SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen einartikuliert.*

Zum Abschluß der Untersuchung erhielt man für jeden Probanden folgende Teile :

- Ein Oberkiefermodell, fix verbunden mit einer Magnet-Splitcast Platte.
- Einen Zwischensockel, der die individuelle Scharnierachsenposition des Oberkiefermodells zum Reference<sup>®</sup> Artikulatoroberteil fixierte, gekennzeichnet als Sockel „I“ (I=individuell).
- Zwei Zwischensockel, die die nach Ohr-Gesichtsbogen bestimmten mittelwertigen Positionen des Oberkiefermodells zum Reference<sup>®</sup> Artikulatoroberteil fixierten, gekennzeichnet als Sockel „A1“ und „A2“ (A=arbiträr).
- Einen Gegensockel aus Gips, der die individuelle Scharnierachsenposition des Oberkiefermodells zum Artikulatorunterteil fixierte.

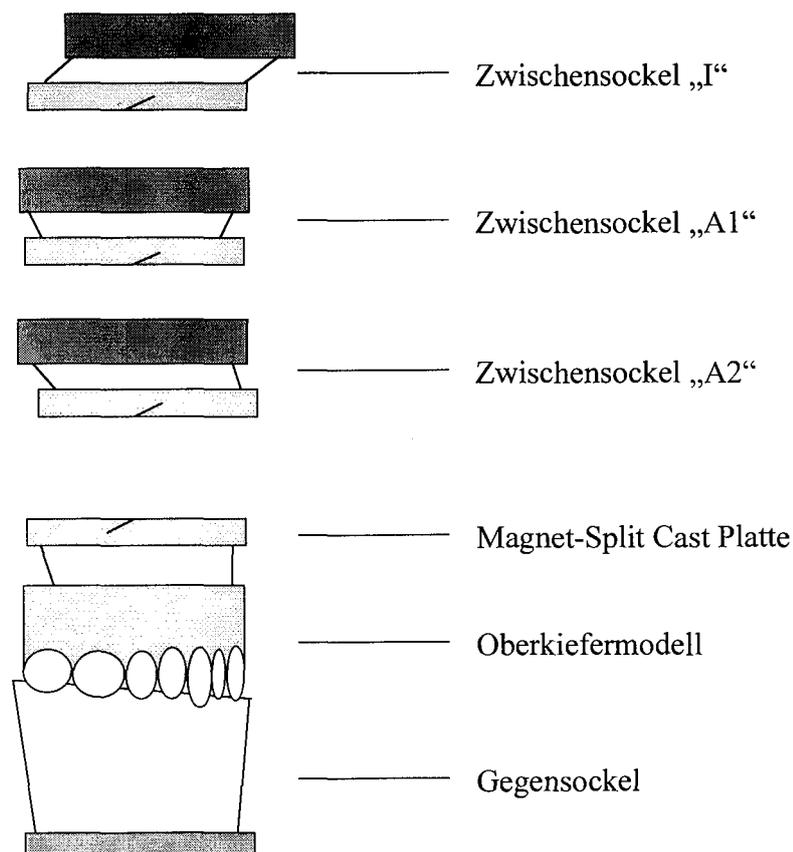


Abb. 14: Schematische Darstellung der verschiedenen Gipssockel (Vergl. auch Abb. 5d).

Die verschiedenen Sockel waren letztendlich die Informationsträger der verschiedenen Modellpositionen.

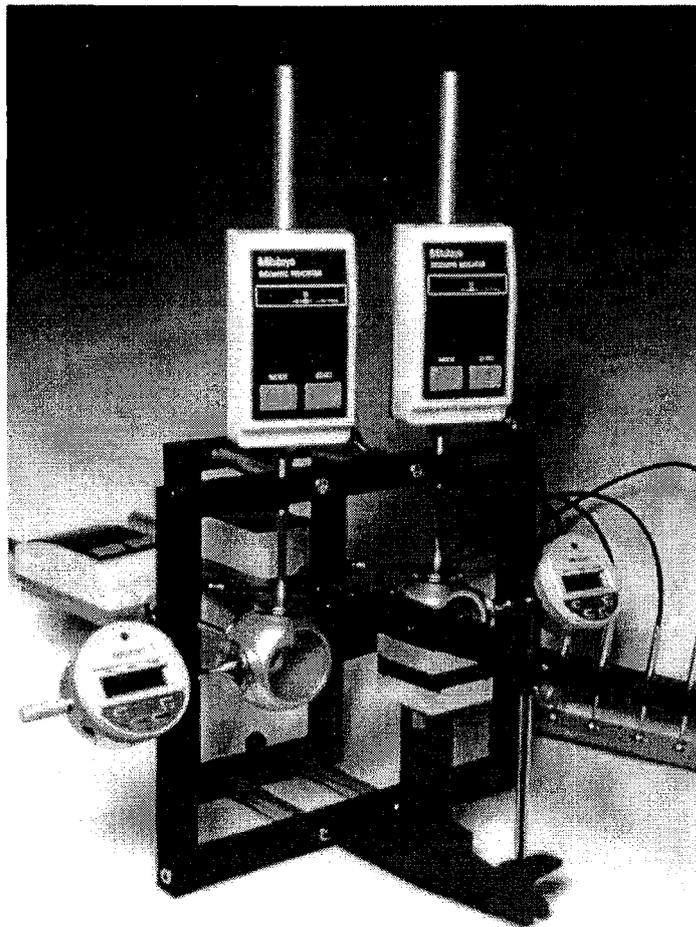
- **Zwischensockel „I“:** Individuelle Modellposition in Relation zum Reference<sup>®</sup> Artikulatoroberteil.
- **Zwischensockel „A1“:** Mittelwertige Modellposition, ermittelt durch die erste SAM Axioquick Gesichtsbogenübertragung, in Relation zum Reference<sup>®</sup> Artikulatoroberteil.
- **Zwischensockel „A2“:** Mittelwertige Modellposition, ermittelt durch die zweite SAM<sup>®</sup> Axioquick Gesichtsbogenübertragung, in Relation zum Reference<sup>®</sup> Artikulatoroberteil
- **Gegensockel:** Fixierte die individuelle Modellposition zum Reference<sup>®</sup> Artikulatorunterteil.

## 3.5. Messung

### 3.5.1. Der Meßartikulator

Für die durchzuführenden Messungen war es notwendig, ein Meßgerät zu konstruieren, welches in der Lage war, einen räumlichen Versatz der Artikulatorkondylen im Verhältnis zu einer Nullposition zu messen. Es wurden Meßwege von  $\pm 15$ mm in sagittaler (x-Achse) und vertikaler (y-Achse) Richtung sowie von  $\pm 6$  mm in transversaler Richtung (z-Achse) erwartet. Aus diesem Grund konnte kein herkömmlicher Artikulator modifiziert werden, sondern das Meßgerät mußte gänzlich neu konzipiert werden. Nach der Konstruktion und Herstellung eines Prototyps durch den Verfasser und dessen erfolgreicher Testung wurde die endgültige Version von Herrn Rudolph Cramer mit Unterstützung der Firma Girrbach Dental gebaut. Die verwendeten digitalen Meßuhren der Firma Mitutoyo wiesen Meßwege von 50 mm für die sagittale und vertikale Richtung sowie 12 mm für die Transversalachse auf. Die Uhren waren mit CNC - gefrästen Meßtellern von 30 mm Durchmesser versehen. Um eine gegenseitige Behinderung der

Meßteller zu vermeiden, wurden Kondylarkugeln von 60 mm Durchmesser verwendet. Diese wurden ebenfalls computergesteuert aus Aluminium gefräst und zur Gewichtsersparnis innen hohl hergestellt. Die Meßteller der vier Uhren für die Sagittalebene konnten über Fernauslöser von den Kondylarkugeln abgehoben werden. Die Nullstellung dieser Uhren erfolgte berührungslos über eine Infrarot Fernbedienung



*Abb. 15.: Der Meßartikulator*

### 3.5.2. Der Meßvorgang

Der Meßvorgang ging wie folgt vor sich:

#### 1. Null-Justierung

- Einsetzen des Gegensockels am Unterteil des Meßartikulators.
- Aufsetzen des Oberkiefermodells des Probanden auf den Gegensockel.
- Aufsetzen des nach individueller Scharnierachsenbestimmung erstellten Zwischensockels (Sockel „I“).
- Aufsetzen des Artikulatoroberteils und Beschwerung mit einem Gewicht aus Edelstahl von 1 kg.
- Rückstellung der sechs Meßuhren auf Null.
- Abnehmen von Gewicht, Artikulatoroberteil, Zwischensockel und Modell.

#### 2. Erster Meßsatz

- Aufsetzen des Oberkiefermodells auf den Gegensockel.
- Aufsetzen des ersten, nach Ohrbogenmontage erstellten Zwischensockels (Sockel „A1“).
- Aufsetzen des Artikulatoroberteils und Beschwerung.
- Auslösen der Messung, Ablesen des Wertes am Stützstift.
- Abnehmen von Gewicht, Artikulatoroberteil, Zwischensockel und Modell.
- Zweimalige Wiederholung des beschriebenen Vorgangs.

#### 3. Zweiter Meßsatz

- Analog dem ersten Meßsatz unter Verwendung des zweiten, nach Ohrbogenmontage erstellten Zwischensockels (Sockel „A2“).

Die erhobenen Meßdaten konnten wie folgt aufgegliedert werden:

1. 7 Meßwerte **je Messung**, (sagittal, vertikal und transversal, jeweils rechts und links, sowie der Wert am Stützstift).
2. 21 Meßwerte **je Meßsatz** (Dreimalige Wiederholung der Messung).
3. 42 Meßwerte **je Proband** (je 21 für die zwei Ohr-Gesichtsbogenübertragungen).

### 3.5.3. Die Datenerfassung

Die Erfassung der Daten erfolgte computergestützt über die digitalen Datenausgänge der sechs Meßuhren. Ein Interface (Multiplexer MUX-50, Fa. Mitutoyo) ermöglichte es, Meßdaten der Uhren über die COM-Schnittstelle in einen IBM-kompatiblen Rechner zu laden. Ein eigens, durch Herrn Dipl. Phys. Manfred Grüner entwickeltes Programm lieferte dabei folgende Möglichkeiten der Datenerfassung:

- Probandennummer
- Name
- Geburtsdatum
- Behandler
- Einlesen von zwei Meßsätzen zu jeweils drei Messungen

Die gespeicherten Daten konnten auf verschiedene Arten ausgewertet werden

- Ausdruck der Meßdaten, probandenzugeordnet
- Umwandlung der Daten in einen ACCII - File
- Umwandlung der Daten in das SPSS - Format und Einlesen in das Statistikprogramm SPSS for Windows®.

Die visuell erfaßten Daten der Abweichungen am Stützstift wurden manuell in SPSS for Windows® eingegeben.

### **3.6. Messungen zur Reproduzierbarkeit der Methodik**

Der gewählte Meß- und Versuchsaufbau konnte zu verschiedenen systembedingten Fehlern führen. Die im Folgenden beschriebenen Meßreihen dienten der Quantifizierung dieser Fehler.

#### **3.6.1. Die Genauigkeit der Meßapparatur**

Die grundsätzliche Genauigkeit der Meßapparatur wurde dadurch ermittelt, indem eine Meßreihe mit dem originalen Justierschlüssel des Reference<sup>®</sup>-Systems durchgeführt wurde. Dieser Justierschlüssel wird vom Hersteller zur Kalibrierung des Reference<sup>®</sup> Artikulators mitgeliefert. Er wurde insgesamt zehn Mal in den Meßartikulator eingesetzt. Nach einer initialen Null-Stellung der Meßuhren wurde nach jedem Reponieren des Justierschlüssels eine Messung ausgelöst. Dadurch wurde die Ungenauigkeit durch Verwindung des Meßartikulators oder Stellfehler einzelner Meßuhren ermittelt.

#### **3.6.2. Fehler durch die Modellarchivierung**

Der Reference<sup>®</sup> Artikulator ist mit einem Split-System ausgerüstet, welches es erlaubt, Modelle aus dem Artikulator zu nehmen und positionsgenau wieder einzusetzen. Darüber hinaus ist es möglich, durch Lösen einer Fixierungsschraube das Modell von der grauen Sockelplatte zu trennen. Dies ist vom Hersteller nur zum Zweck der Modellarchivierung vorgesehen. Während des labortechnischen Arbeitsprozesses soll diese Verbindung aus Gründen der Montagegenauigkeit nicht geöffnet werden. Bei der Durchführung der Untersuchung war es notwendig, für die zwischenzeitliche Lagerung der verschiedenen Modelle und Zwischensockel die Verbindung zwischen grauer Sockelplatte und roter Montageplatte zu lösen. Der dadurch entstandene Fehler wurde durch folgende Meßreihe quantifiziert.

Im Reference<sup>®</sup> Artikulator wurde ein Quader aus Superhartgips an oberer und unterer Sockelplatte mit Kerr<sup>®</sup> Snow White Plaster No. 2 befestigt. Dadurch erhielt man einen

entsprechenden Justierschlüssel aus Gips, welcher oben und unten mit den Modellsockelplatten versehen war. Nach Nullstellung der Meßuhren mit dem Original Justierschlüssel wurde der Gips-Justierschlüssel zehn Mal in das Meßgerät eingesetzt und die Meßwerte abgespeichert. Vor jeder neuen Messung wurden die Schraubverbindungen zwischen roter Montageplatte und grauer Sockelplatte gelöst und wieder festgezogen. Der Fehler, der durch das Lösen und Festziehen der Schraubverbindung entstand, konnte so ermittelt werden.

### **3.6.3. Fehler beim Abgleich der Artikulatoren**

Durch eine weitere Meßreihe überprüften wir die Genauigkeit des unter 3.1.2. beschriebenen Verfahrens. Die beschriebene Gesichtsbogenübertragung wurde zehn Mal wiederholt. Der Vergleich der verschiedenen Positionen im Meßartikulator führte einerseits zu einer Überprüfung der Reproduzierbarkeit des gewählten Verfahrens. Andererseits konnten aus den ermittelten Werten für die drei Raumachsen, jeweils rechts und links, Korrekturfaktoren errechnet werden. Die Meßwerte der 43 nachuntersuchten Probanden wurden anschließend um diese Werte berichtigt.

## Ablaufdiagramm

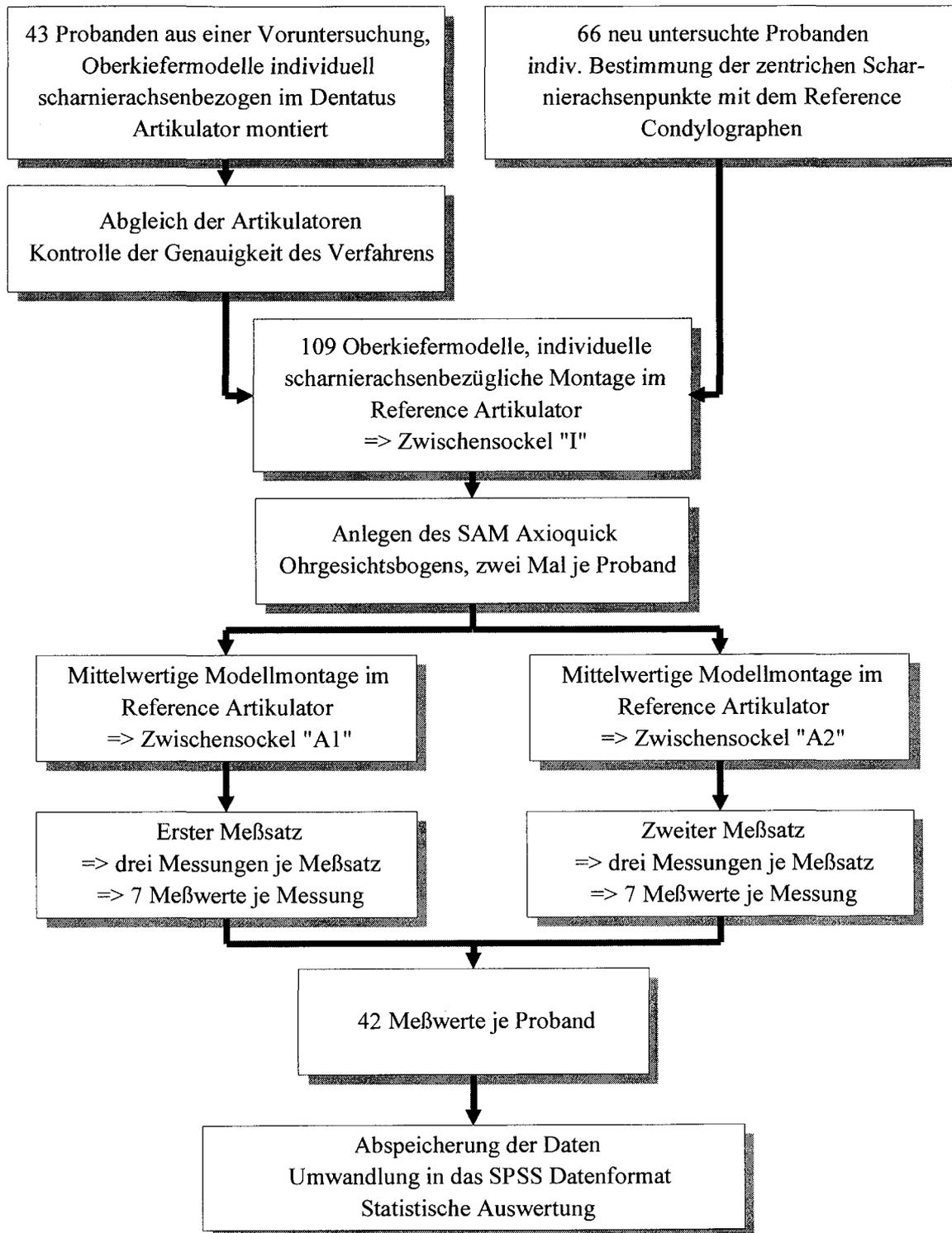


Abb. 16: Ablaufdiagramm des gewählten Untersuchungsaufbaus

## 4. Ergebnisse

Alle statistischen Größen und grafischen Darstellungen in dieser Arbeit wurden mit SPSS for Windows® erstellt. Die verwendeten Meßuhren besaßen eine Auflösung von 1 Mikrometer (Sagittalebene), bzw. 10 Mikrometer (transversal). Eine derart hohe Genauigkeit war für die vorliegende Untersuchung nicht relevant. Da die Auswertung der Daten über den Computer liefen, wurden alle statistische Größen mit dieser Genauigkeit berechnet. In den folgenden Tabellen sind sie jedoch zur besseren Lesbarkeit und aufgrund der klinischen Relevanz nur bis zur ersten Dezimalstelle gerundet aufgeführt.

### 4.1. Meßergebnisse

#### 4.1.1. Abweichungen in transversaler Richtung

In nachfolgender Tabelle sind die Ergebnisse der Abweichungen in transversaler Richtung dargestellt. Die nahe bei Null liegenden Mittelwerte zeigen, daß sich durch die Modellübertragung mittels Ohr-Gesichtsbogen keine tendenzielle Verschiebung nach rechts oder links ergab. Es muß allerdings beachtet werden, daß sich der Wertebereich von -4,8 mm bis + 4,8 mm rechts und -5,2 mm und +5,7 mm links erstreckte. Im Einzelfall konnte es zu einer starken transversalen Verschiebung des Modells im Artikulator kommen.

*Tab. II.: Mittelwert, Standardabweichung und 95 % Konfidenzintervall für die Meßwerte der transversalen Abweichungen.*

<b>N=109</b>	<b>Mittelwert (mm)</b>	<b>Standardabweichung (mm)</b>	<b>95 % Konfidenzintervall für den Mittelwert</b>
Rechts	-0,2	1,7	-0,5/ 0,2
Links	0	1,7	-0,3 / 0,4

In Abbildung 17 und 18. sind die Histogramme der Meßwertverteilungen für links und rechts dargestellt. Dargestellt ist auch die zu erwartende Normalverteilung der Meßwerte für die transversalen Verschiebungen.

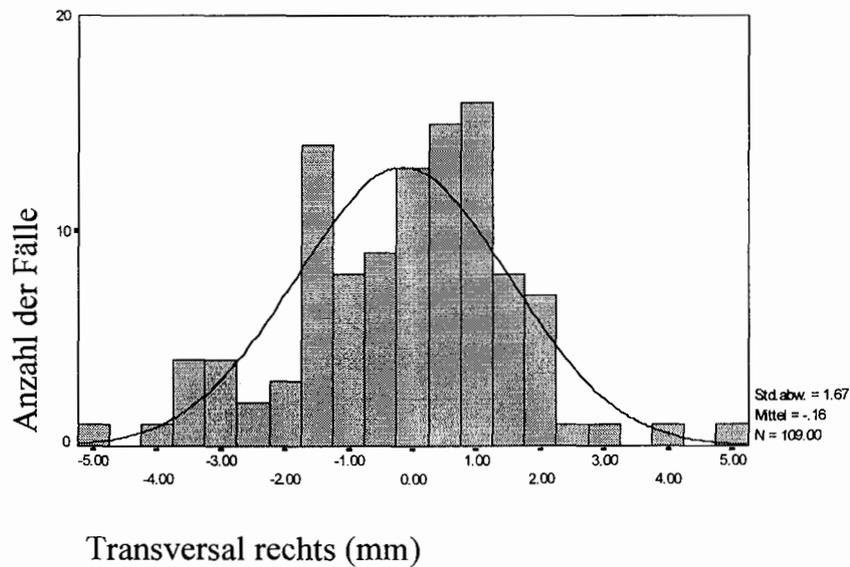


Abb. 17: Histogramm der Meßwertverteilung Transversal rechts, Normalverteilungskurve.

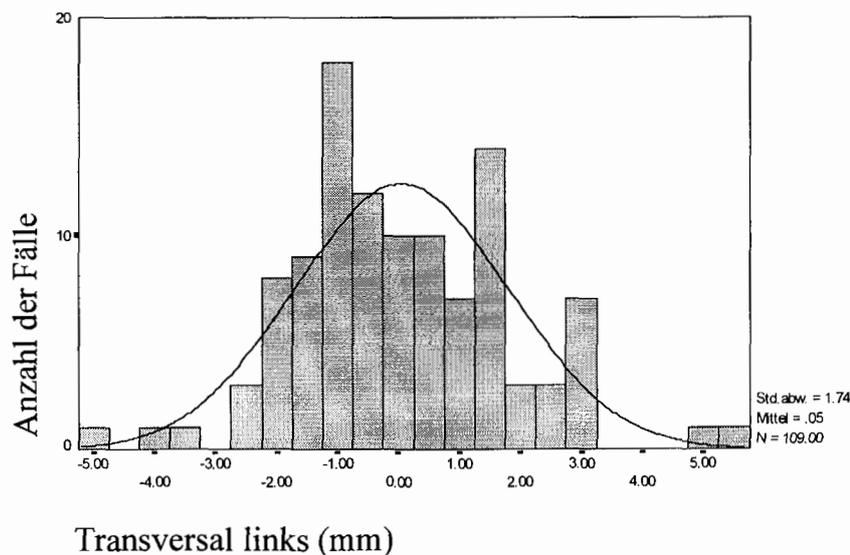


Abb. 18: Histogramm der Meßwertverteilung Transversal links, Normalverteilungskurve.

#### 4.2.2. Abweichungen in der Sagittalebene

In Tab. III sind für die Meßwerte in der Sagittalebene, jeweils rechts und links, berechnete statistische Werte aufgelistet. Sie zeigen unter anderem eine starke Streuung von bis zu 20 mm für den Abstand von Minimum und Maximum. Die Mittelwerte sind alle von Null verschieden. Die 95% Konfidenzintervalle für die Mittelwerte liegen bei einer Breite von 1,2 bis 1,3 mm.

Tab. III: Berechnete statistische Werte für sagittal und vertikal, jeweils rechts und links in mm.

<b>N=109</b>		<b>Sagittal</b>	<b>Sagittal</b>	<b>Vertikal</b>	<b>Vertikal</b>
<b>[mm]</b>		<b>rechts</b>	<b>links</b>	<b>rechts</b>	<b>links</b>
Mittelwert		3,6 ± 3,2	4,2 ± 3	-2,8 ± 3,2	-1,9 ± 3,4
Median		3,9	4,3	-3,3	-2,5
Standardfehler		0,3	0,3	0,3	0,3
Varianz		10,4	9,1	10	11,5
95% Konfidenzintervall		3	3,6	-3,4	-2,6
für den Mittelwert		4,2	4,8	-2,2	-1,3
Minimum		-9,1	-4,0	-10,1	-11,1
Maximum		10,8	13,5	8,2	7
Streubreite		19,9	17,5	18,3	18,1
Percentile	5%	-2,5	-1,8	-7,5	-6,8
	25%	1,6	2,5	-5,2	-4,8
	75%	6,3	6,6	-0,5	0,4
	95%	8,1	8,4	2,2	3,9

In Abb. 19 sind die Häufigkeitsverteilungen für die Meßwerte in der Sagittalebene in Form von Boxplots dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Verteilungen rechts / links eine recht gute Übereinstimmung zeigen. Im Sinne einer guten Übertragungsgenauigkeit des Ohr Gesichtsbogens müßten die Mediane der einzelnen Werte jedoch annähernd bei Null liegen. Dies würde eine gleichmäßige Verteilung der mittelwertig bestimmten Scharnierachsenpunkte um die individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte zeigen.

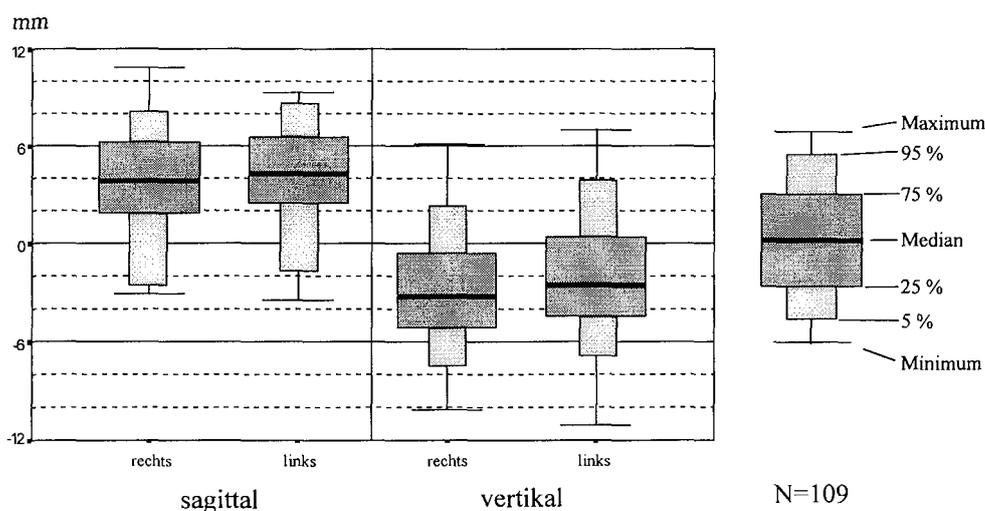


Abb. 19: Darstellung der Meßwertverteilung, sagittal und vertikal, jeweils rechts und links, anhand von Boxplots.

Zur besseren Visualisierung der Ergebnisse sind in den Abbildungen 20 und 21 die Meßwerte in der Sagittalebene für rechts und links in ein Koordinatensystem gedruckt. Der Koordinatenursprung ist identisch mit der Lage der individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte. Die eingezeichneten Punkte zeigen den Lageversatz der mittelwertig mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen bestimmten Scharnierachsenpunkte. Ein Punkt ist dabei je einem Probanden zugehörig und wurde aus dem Mittelwert der zwei Übertragungen gebildet. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Mehrzahl der Punkte im anterioren kaudalen Quadranten des Koordinatensystems liegen. Dies bedeutet, daß der Abstand zwischen den Schneidekanten der Inzisivi und der Artikulatorachse bei der Modellmontage mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen bei diesen Probanden gegenüber der individuellen Situation verkürzt war.

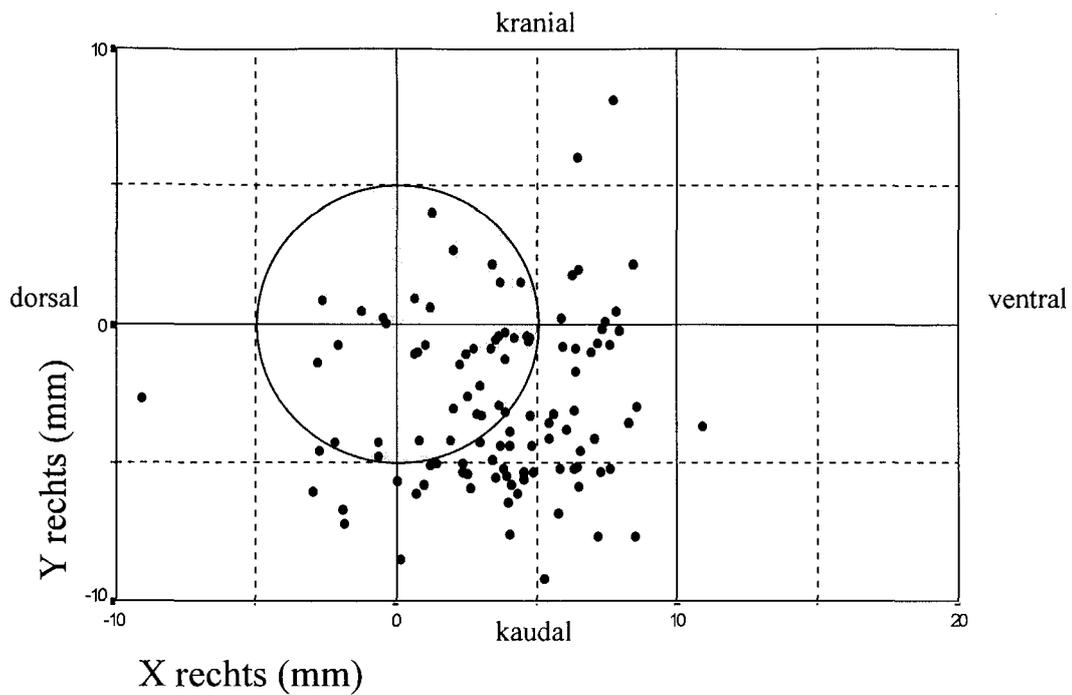


Abb. 20: Scatterplot der Meßwerte in der Sagittalebene (X/Y) rechts. Der Koordinatenursprung ist identisch mit den individuellen zentralen Scharnierachsenpunkten der Probanden, die Punkte zeigen die Lage der mittelwertigen, mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen bestimmten Scharnierachsen.

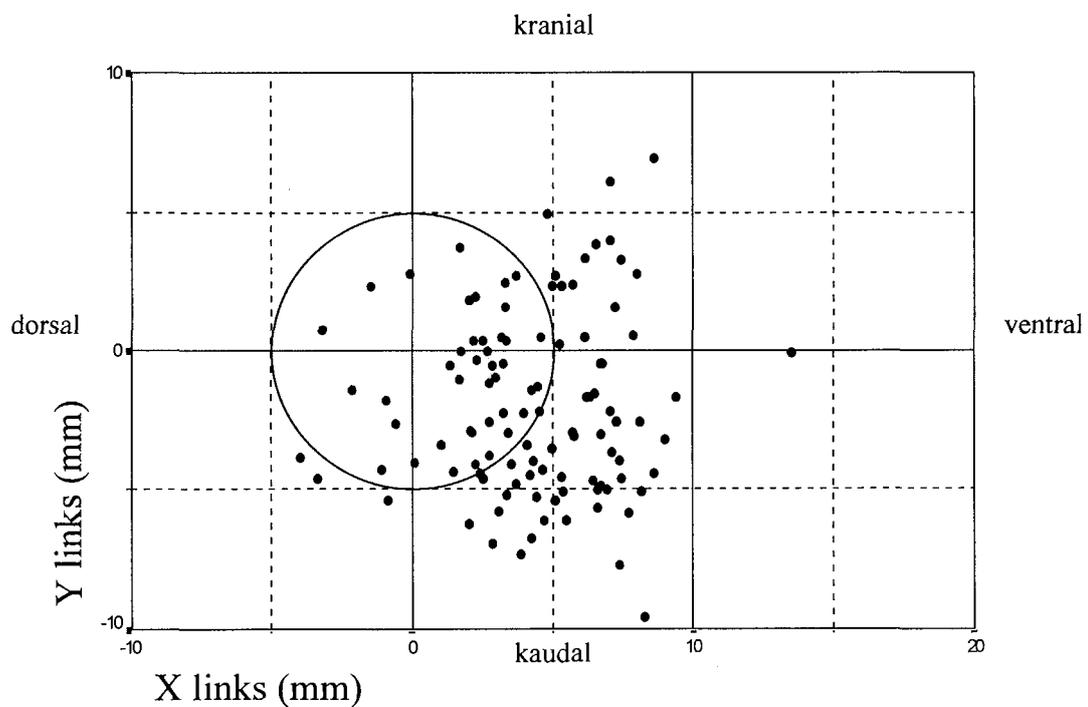


Abb. 21: Scatterplot der Meßwerte sagittal (X) und vertikal (Y) links.

Um die Aussage der vorliegenden Studie mit anderen Untersuchungen vergleichbar zu machen, wurde die Trefferquote für den SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen berechnet. Die Trefferquote gibt den prozentualen Anteil der mittelwertig bestimmten Scharnierachsenpunkte an, die einen maximalen Abstand von 5 mm zum individuell bestimmten Scharnierachsenpunkt aufweisen. Dieser Bereich ist in den Plots mit einem Kreis markiert und grau unterlegt. Folgende Trefferquoten ergaben sich für den SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Ohr-Gesichtsbogen:

- **Rechts: 36,7%**
- **Links: 37,6%**

#### **4.1.3. Dritter Referenzpunkt**

Bei der individuellen Scharnierachsenlokalisierung dient der palpierende knöchernen Unterrand der linken Orbita als Bezugspunkt, um das Oberkiefermodell einer definierten Ebene, der Scharnierachse-Infraorbitalebene zuzuordnen. Beim SAM<sup>®</sup> Ohr-Gesichtsbogen wird der dritte Referenzpunkt durch die Glabellastütze festgelegt. Die Höhe der Glabellastütze ist nicht einstellbar, woraus sich aufgrund von anatomischen Gegebenheiten individuelle Unterschiede in der Lage der Bezugsebene ergeben. Die Untersuchung zeigte, daß diese in der Regel nicht mit der Scharnierachse-Infraorbitalebene übereinstimmte.

Die Lageabweichung wurde durch manuelles Ablesen des Wertes am Stützstift nach Einsetzen der Zwischensockel „A1“ und „A2“ am Meßartikulator quantifiziert. Abb. 22 zeigt die Verteilung der ermittelten Meßwerte anhand eines Histogramms. In Tabelle IV sind Minimum, Maximum, 5% und 95% Percentile sowie die Quartile des vertikalen Meßwertes am Stützstift dargestellt. Aus der Verteilung ist ersichtlich, daß 25% der Fälle Werte kleiner Null und 75 % der Fälle Werte größer Null aufwiesen. Dies bedeutet, daß im überwiegenden Teil der Fälle der Winkel zwischen Bezugsebene und Okklusionsebene nach Achsbestimmung mit dem Ohr-Gesichtsbogen im Verhältnis zur individuellen Achsbestimmung kleiner war.

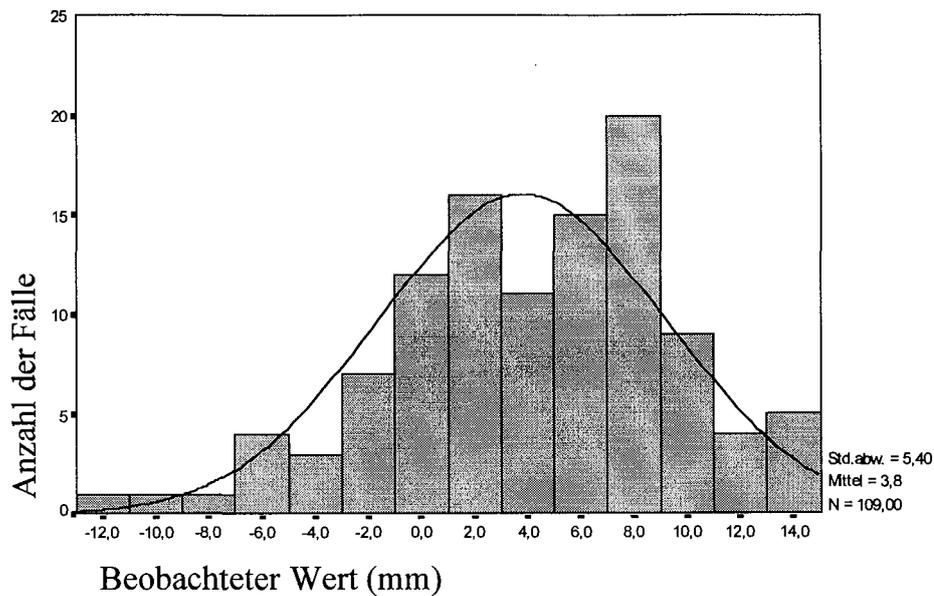


Abb. 22: Histogramm der Meßwertverteilung der vertikalen Abweichung am Stützstift.

Tab. IV: Minimum, Maximum und Perzentilen der Meßwerte am Stützstift, entsprechende Winkeldifferenz der Bezugsebenen

Percentile	Meßwert	Winkel
Minimum	-11,5 mm	+5,1°
5%	-6,3 mm	
25%	0,0 mm	
Median	4,0 mm	-1,8°
75%	7,3 mm	
95%	12,5 mm	
Maximum	14,5 mm	-6,4°

Anders ausgedrückt verringerte sich der Abstand zwischen der Okklusionsebene und dem Artikulatoroberteil. Die Winkelangaben in der Tabelle sind errechnete Werte aus dem Abstand der Kondylarachse zum Stützstift und dem gemessenen Wert am Stützstift. Der

Winkel zwischen Maximalwert und Minimalwert betrug  $11,4^\circ$ . Die mittlere Abweichung zur Ebene, die bei der individuellen Scharnierachsenbestimmung bestimmt wurde, betrug  $-1,8^\circ$ .

#### 4.1.4. Reproduzierbarkeit

Um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Achsbestimmung mittels Ohr-Gesichtsbogen treffen zu können, wurde jedem Probanden der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen zwei Mal angelegt. Das Modell wurde nach der jeweiligen Situation, wie in Abschnitt 3.4.4. f. beschrieben, einartikuliert. Anhand der durchgeführten Messungen ließ sich eine Aussage darüber treffen, wie genau die Gesichtsbogenübertragung reproduziert werden konnte. In Tabelle V sind die Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit dargestellt.

Tab. V: Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit, berechnet aus den Differenzen der Mittelwerte des ersten und zweiten Meßsatzes.

[mm] N=109	Sagittal rechts	Sagittal links	Vertikal rechts	Vertikal links	Transversal
<b>Minimum</b>	0	0	0	0	0
<b>Maximum</b>	7	4,9	9,4	7,2	5,8
<b>Mittelwert</b>	$1 \pm 1,1$	$1 \pm 1$	$1,2 \pm 1,6$	$1,6 \pm 1,5$	$0,7 \pm 0,9$
Percentile 5%	0,1	0,1	0,1	0,1	0
25%	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2
Median	0,7	0,7	0,8	1	0,4
75%	1,3	1,3	1,6	5,4	0,9
95%	3,3	3,3	4,5	7,2	2,2

In transversaler Richtung lag die Reproduzierbarkeit bei 78 % der Probanden unter einem Millimeter. Sagittal ließ sich die Gesichtsbogenübertragung rechts in 67,9% und links in 60,6% mit einer Genauigkeit von 1 mm reproduzieren. Vertikal lag der Anteil bei 60,6% rechts und 46,8% links.

## 4.2. Ergebnisse der Messungen zur Reproduzierbarkeit der Methode

### 4.2.1. Genauigkeit der Meßapparatur

Bei den Messungen zur grundsätzlichen Genauigkeit der Meßapparatur (S. Abschnitt 3.6.1.) zeigten die vier Meßuhren in der Sagittalebene maximale Werte von 4 Mikrometer an. Die zwei Meßuhren auf der Transversalachse zeigten immer den Wert Null.

### 4.2.2. Fehler durch die Modellarchivierung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der unter 3.6.2. beschriebenen Meßreihe aufgeführt. Da sich aus den Messungen keine Richtungstendenzen für die Verschiebungen der Kondylarkugeln ergaben, sind die Ergebnisse als Absolutwerte aufgeführt.

Tab. VI: Fehler durch das Modellarchivierungsprinzip des Reference<sup>®</sup>-Systems

Abweichung in Richtung	Mittlere Abweichung in mm (Absolutwert)	Maximale Abweichung in mm (Absolutwert)
Sagittal	0,074	0,168
Vertikal	0,005	0,013
Transversal	0,041	0,12

#### 4.2.3. Fehler durch das selbst erstellte Magnet Splitcast- System

Der Fehler, der durch eine Ungenauigkeit des selbst erstellten Magnet Splitcast-Systems entstehen konnte, wurde dadurch berücksichtigt, daß ein Meßsatz aus drei Einzelmessungen bestand. Für die statistische Auswertung wurde der Mittelwert aus den drei Einzelmessungen gebildet. Im Durchschnitt wichen die Einzelmessungen um 0,02 mm und maximal um 0,08 mm vom errechneten Mittelwert ab.

#### 4.2.4. Reproduzierbarkeit der Ohrbogenübertragung in vitro

Der Abgleich der Artikulatoren wurde durch das unter 3.6.3. beschriebene Verfahren überprüft. Die errechneten Mittelwerte der Messungen wurden als Korrekturfaktoren in die Meßwerte der 43 nachuntersuchten Probanden eingerechnet, um den Fehler der neuen Montage im Reference<sup>®</sup> Artikulator auf ein geringes Maß zu reduzieren. Aus den gewonnenen Daten konnte jedoch auch errechnet werden, wie gut sich die Übertragung mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen in vitro reproduzieren ließ. In Tabelle VII sind die Ergebnisse dieser Berechnungen aufgeführt.

Tab. VII: Ergebnisse der Messungen zur Reproduzierbarkeit der Übertragung mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen unter Laborbedingungen.

N=10	Mittelwert [mm]	Maximum [mm]
Sagittal rechts	0,19	0,47
Sagittal links	0,14	0,32
Vertikal rechts	0,2	0,5
Vertikal links	0,24	0,53
Transversal	0,18	0,6

### 4.3. Statistische Tests

#### 4.3.1. Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest überprüft numerische Daten auf eine bestimmte statistische Verteilung. Für die gemessenen Daten wurde eine Normalverteilung angenommen. Dies wurde durch den Test bestätigt (Signifikanz-niveau 0.05).

*Tab.VIII.: Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest.*

<b>N=109</b>	<b>Kolmogorov-Smirnov-Z</b>	<b>Asymptotische Signifikanz 2-seitig</b>
Sagittal rechts	0,91	0,379
Sagittal links	0,721	0,676
Vertikal rechts	1,01	0,26
Vertikal links	0,768	0,597
Transversal rechts	0,689	0,729
transversal links	0,783	0,572

#### 4.3.2. T-Test bei gepaarten Stichproben, Korrelation nach Pearson

Aus den vorliegenden Daten konnten Datenpaare gebildet werden, unter denen ein statistischer Zusammenhang zu vermuten war. Dies war zum einen für die Datenpaare Rechts – Links der Fall. Zum anderen konnten aus den Daten der ersten und zweiten Messung (Reproduzierbarkeit) Paare gebildet werden. Mit dem T-Test für gepaarte Stichproben wurden diese auf ihre Mittelwertgleichheit hin untersucht. Die Nullhypothese (Die Mittelwerte sind gleich) wurde für die Meßwerte der Sagittalebene beim

Seitenvergleich abgelehnt. Die Mittelwerte der ersten und zweiten Messung unterschieden sich nicht signifikant.

Tab. IX: T-Test bei gepaarten Stichproben, Korrelation nach Pearson, Seitenvergleich.

Paare (rechts – links)	N=109	T	Signifikanz 2-seitig	Korrelation Signifikanzniveau 0,01
Sagittal		2,485	0,014	0,67
Vertikal		3,338	0,001	0,676
Transversal		0,628	0,531	-0,995

Tab. X: T-Test bei gepaarten Stichproben, erste und zweite Messung (Reproduzierbarkeit).

Paare (1. Mess. – 2. Mess.)	N=109	T	Signifikanz 2-seitig	Korrelation Signifikanzniveau 0,01
Sagittal rechts		0,787	0,433	0,897
Sagittal links		-1,382	0,17	0,894
Vertikal rechts		-1,691	0,094	0,851
Vertikal links		-1,814	0,072	0,824
Transversal rechts		0,244	0,808	0,825
Transversal links		-0,285	0,531	0,838

Mit dem Korrelationstest nach Pearson wurden die Datenpaare auf einen möglichen linearen Zusammenhang geprüft. Absolutwerte nahe bei eins deuten auf eine hohe Korrelation der Datenpaare hin. Die Korrelation wurde auf einem Signifikanzniveau von 0,01 berechnet.

### 4.3.3. Nichtparametrische Tests

Die verschiedenen Untergruppen der Stichprobe wurden auf ihre Mittelwertgleichheit hin untersucht. Zur Anwendung kamen der Mann-Whitney-U-Test und der Kolmogorov-Smirnov-Test für zwei unabhängige Stichproben. Diese Tests sind auch dann geeignet, wenn innerhalb der Untergruppen keine Normalverteilung vorliegt. Getestet wurden die Gruppen männlich und weiblich sowie die durch den Behandler definierten Gruppen. Die Mittelwerte unterschieden sich nur für den Meßwert Vertikal rechts, Untergruppe Behandler, signifikant. Für alle anderen Meßwerte kann Mittelwertgleichheit angenommen werden. Der Einfluß von verschiedenen Behandlern oder das Geschlecht des Probanden auf den Mittelwert war hier nicht signifikant.

Tab. XI: Nichtparametrische Tests, Untergruppe Geschlecht.

<b>Untergruppe Geschlecht</b>	<b>Mann-Whitney</b>	<b>Kolmogorov-Smirnov</b>
<b>Weiblich: N=31</b>	<b>2-seitige asymptotische</b>	<b>2-seitige asymptotische</b>
<b>Männlich N=78</b>	<b>Signifikanz</b>	<b>Signifikanz</b>
Sagittal rechts	0,062	0,134
Sagittal links	0,165	0,198
Vertikal rechts	0,158	0,226
Vertikal links	0,489	0,748
Transversal rechts	0,504	0,884
Transversal links	0,541	0,935

Tab. XII: Nichtparametrische Tests, Untergruppe Behandler.

<b>Untergruppe Behandler</b>		<b><u>Mann-Whitney</u></b>	<b><u>Kolmogorov-Smirnov</u></b>
<b>Behandler 1</b>	<b>N=61</b>	<b>2-seitige asymptotische</b>	<b>2-seitige asymptotische</b>
<b>Behandler 2</b>	<b>N=48</b>	<b>Signifikanz</b>	<b>Signifikanz</b>
Sagittal rechts		0,001	0,004
Sagittal links		0,453	0,501
Vertikal rechts		0,774	0,928
Vertikal links		0,092	0,038
Transversal rechts		0,49	0,219
Transversal links		0,431	0,289

#### 4.3.4. Grafische Darstellungen

Die folgenden Abbildungen 23 und 24 zeigen jeweils einen Q-Q Plot, der die Quantilen der Meßwerteverteilung gegen die Quantilen der durch Mittelwert und Standardabweichung zu erwartenden Normalverteilung grafisch darstellt. Liegen die Punkte annähernd auf einer Geraden, so stammen die Meßwerte aus einer normal verteilten Stichprobe.

Zwei weitere Abbildungen (Abb. 25 und 26) zeigen trendbereinigte Q-Q Plots. Die beobachteten Werte sind hier gegen die Werte der erwarteten Normalverteilung, bereinigt um die Steigung der in den Abb. 23 und 24 eingezeichneten Geraden (Trendbereinigung) geplottet. Die enge Streuung der Punkte um die Null-Linie zeigt, daß die ermittelten Werte aus einer normal verteilten Stichprobe stammen.

Exemplarisch sind die Q-Q Plots und trendbereinigten Q-Q Plots für die Meßwerte Transversal rechts und links gezeigt. Weitere Grafiken finden sich im Anhang.

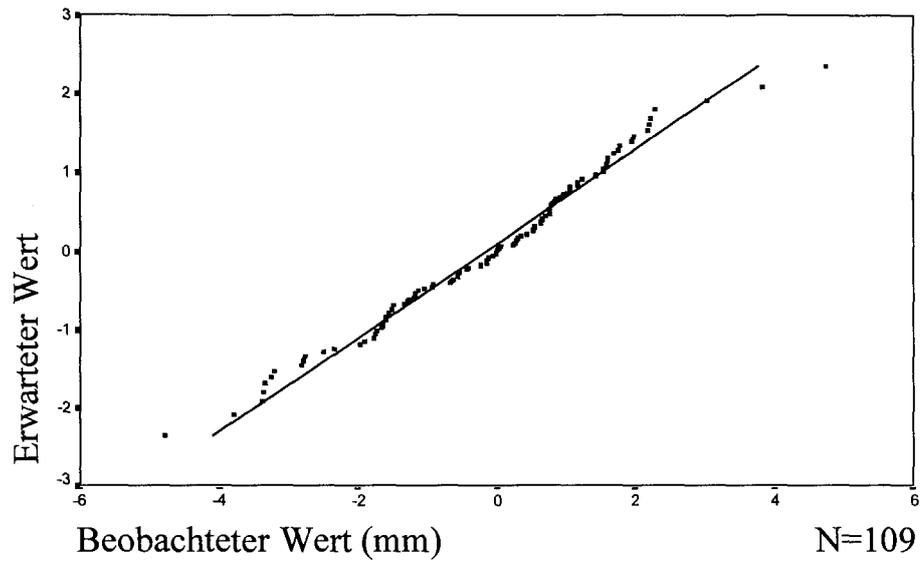


Abb. 23: Normal Q-Q Plot für Transversal rechts

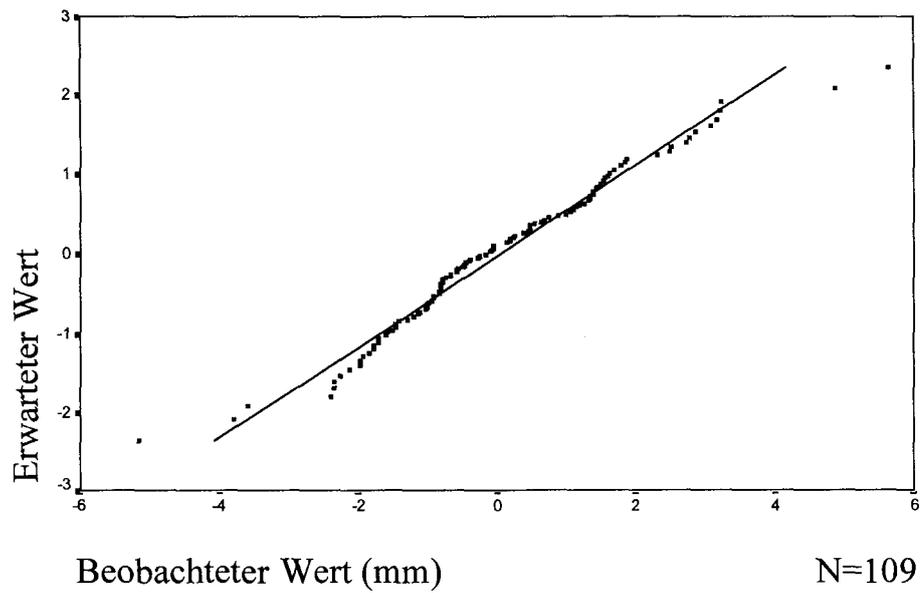


Abb. 24: Normal Q-Q Plot für Transversal links.

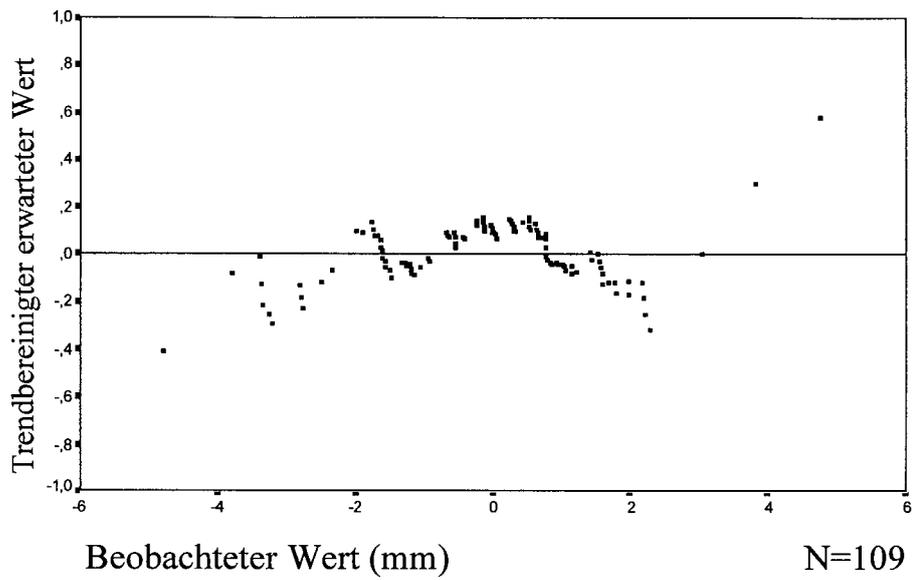


Abb. 25: Trendbereinigter Q-Q Plot für Transversal rechts.

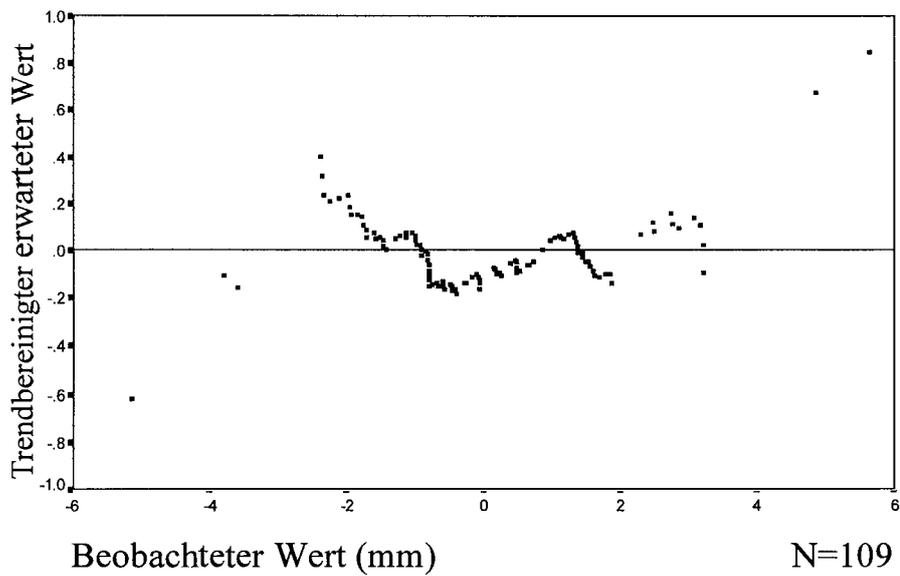


Abb. 26: Trendbereinigter Q-Q Plot für Transversal links.

## **5. Diskussion**

### **5.1. Kritik der eigenen Methodik**

In Abschnitt 4.2. wurden die mittleren und maximalen Fehler, die durch den gewählten Meß- und Versuchsaufbau bedingt waren, beschrieben. Im ungünstigsten Fall hätten sich diese Fehler zu einem Gesamtfehler von maximal 0,9 mm aufaddieren können. Die Addition der Mittelwerte der Einzelfehler hätte einen mittleren Gesamtfehler von 0,35 mm ergeben. Da die Einzelfehler jedoch in gegenläufiger Richtung auftreten und sich damit gegenseitig aufheben konnten, war damit zu rechnen, daß der mittlere Gesamtfehler weniger als 0,35 mm betrug. Zudem lagen die Mittelwerte der Einzelfehler bei Berücksichtigung der Richtung der Einzelmessung (positives oder negatives Vorzeichen) nahe bei Null. Eine generelle Tendenz der Einzelfehler in eine bestimmte Richtung war nicht zu beobachten. Insgesamt konnte der Einfluß der methodisch bedingten Fehler als sehr gering eingestuft werden.

### **5.2. Kritische Betrachtung des SAM<sup>®</sup> ATB Gesichtsbogens**

#### **5.2.1. Allgemeines**

Der SAM<sup>®</sup> ATB Gesichtsbogen ist in seiner Handhabung einfach. Mit etwas Routine betrug der durchschnittliche Zeitaufwand für das Anlegen des Bogens eine knappe Minute, einschließlich des intraoral vorgenommenen Anpassens der Bißgabel. Dieser Arbeitsschritt konnte auch durch die Verwendung der Bite Tabs<sup>®</sup>, jeweils drei Stück für eine Bißgabel, kurz gehalten werden. Die Kontrolle der Bißgabel nach Anlegen des Bogens auf korrekten Sitz an den Zähnen ergab, daß dieser in der Regel schon beim ersten Anziehen der zwei Fixierungsschrauben richtig saß. Eine Nachjustierung war nur

in den seltensten Fällen notwendig. Beim Festziehen der Schrauben ist darauf zu achten, daß der Gesichtsbogen festgehalten wird und ein leichter Gegendruck entgegen der Drehrichtung der Schrauben erzeugt wird. Bei der Wahl des Verbindungsgestänges zwischen Gesichtsbogen und Bißgabel ist der Ausführung mit den Flügelschrauben der Vorzug zu geben. Es hat sich gezeigt, daß die beim Anziehen der Schrauben entstehende Verwindung des Bogens hier besser kontrollierbar ist. Diese Verwindung wird um so stärker, je weiter die Glabellastütze - bei schmalem, kurzem Gesichtsschädel - ausgezogen werden muß. Dies war vor allem bei den weiblichen Probanden zu beobachten.

Die Meinungen der Probanden zum Gesichtsbogen waren sehr unterschiedlich. Die meisten Probanden empfanden das Anlegen des Gesichtsbogens als unangenehm, aber tolerierbar. Teilweise wurde auch über eine leichte Schmerzhaftigkeit im Bereich der Glabellastütze oder der Ohroliven berichtet. Keiner der Probanden verweigerte das zweite Anlegen des Bogens aufgrund dieser Mißempfindungen. Zum Teil wurde auch beobachtet, daß die Probanden die zwei Gesichtsbogenübertragungen als sehr unterschiedlich empfanden. Einmal wurde Schmerzhaftigkeit angegeben, das andere Mal über keine Probleme berichtet. Die Ursache liegt sicherlich darin, daß der Anpreßdruck der Glabellastütze, trotz geübter Handhabung, doch unterschiedlich stark ausfiel. Ein großer Teil der Probanden berichtete andererseits über keine unangenehmen Eigenschaften des Bogens.

Ein Vorteil des SAM<sup>®</sup>-Bogens ist die Möglichkeit, die Bißgabel mit fixiertem Verbindungsgestänge vom Gesichtsbogen zu lösen. Somit ist man nicht darauf angewiesen, vor einer erneuten Verwendung das Gipsmodell des Patienten im Artikulator zu montieren. Für die Untersuchung standen nur ein Gesichtsbogen, aber 12 Bißgabeln mit Verbindungsgestänge zur Verfügung. Dies erlaubte die Behandlung von sechs Probanden, bevor das erste Mal einartikuliert werden mußte. Das Einartikulieren selbst ist durch die Vielzahl der Möglichkeiten, die das SAM<sup>®</sup>-System bietet, und die stabile Ausführung des Bogens einfach und mit geringen Fehlermöglichkeiten durchzuführen. Mit den speziell angefertigten Ausgleichszapfen war auch das Einartikulieren im Montagegerät des Reference<sup>®</sup>-Systems problemlos zu handhaben.

### 5.2.2. Das Prinzip des Scherenbogens – ein Nachteil?

Der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen ist wie der Original Whip Mix<sup>®</sup> Quickmount Gesichtsbogen von Stuart nach dem Scherenprinzip gebaut. Dies bedeutet, daß die Arme, an deren Ende sich die Ohroliven befinden, am Vorderteil des Bogens gelenkig angebracht sind. Durch die mechanische Kopplung der beiden Arme erfolgt die Schließ- und Öffnungsbewegung immer synchron. Dabei beschreiben die Ohroliven die Bahnen von Kreisausschnitten, deren Mittelpunkte in den Gelenkverbindungen zum Vorderteil des Gesichtsbogens liegen. Wenn nun die Gesichtsbreite des Patienten nicht mit der Breite des Artikulators im Bereich der Kondylenboxen (=Montagebreite) übereinstimmt, kann es zu einer fehlerhaften Übertragung in sagittaler Richtung kommen. Der Fehler konnte durch einfache Winkelfunktionen berechnet werden. In Tab. XIII sind die Fehler für verschiedene Gesichtsbreiten angegeben.

Tab. XIII: Sagittaler Montagefehler bei unterschiedlichen Gesichtsbreiten, verursacht durch das Scherenprinzip des SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogens.

Gesichtsbreite	Sagittaler Fehler
130 mm	0,28 mm
110 mm	Kein Fehler
100 mm	0,35 mm

Die Gesichtsbreiten (i.e.S. der Abstand der Ohroliven bei angelegtem Bogen) der Probanden der Untersuchung bewegten sich zwischen 110 und 130 mm. Bei einer Breite von 110 mm entsteht kein Fehler. Die Gelenke der Scherenarme haben einen Abstand von 130 mm, weshalb hier der Montagefehler bei einer Montagebreite von 150 mm eliminiert wird. Der Maximalfehler bei 130 mm Gesichtsbreite ist mit 0,28 mm so klein, daß keine klinisch relevanten Einflüsse von dieser Fehlerquelle ausgehen.

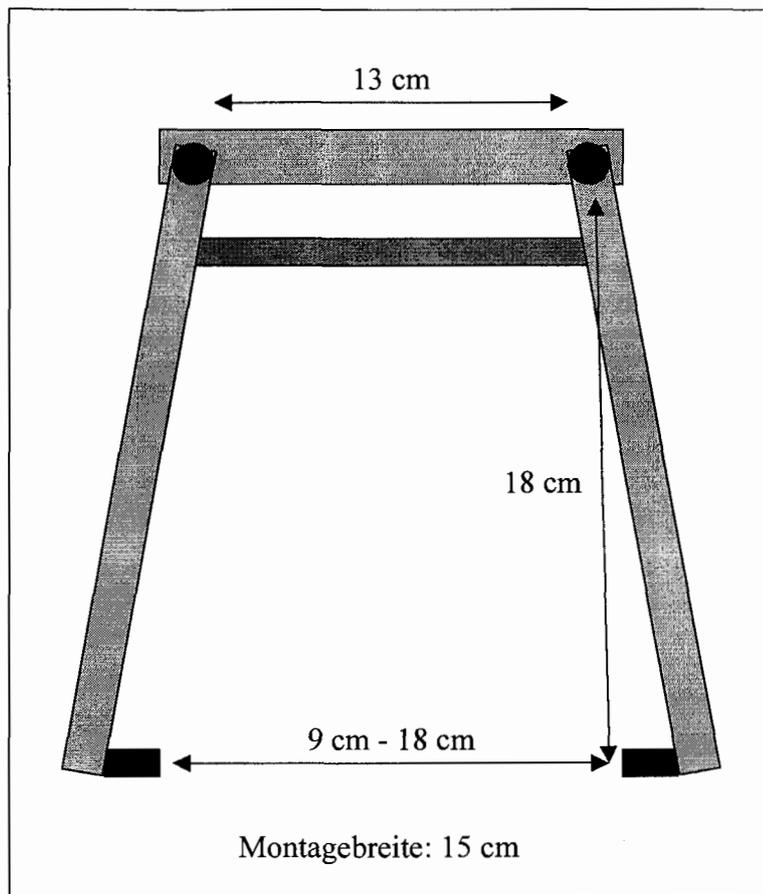


Abb. 27: Schematische Darstellung des Scherenprinzips des SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr Gesichtsbogens. Die Gesichtsbreiten der Probanden schwankten zwischen 110 und 130 mm.

### 5.2.3. Die Übertragungsgenauigkeit

Die Genauigkeit der individuellen Bestimmung der zentralen Scharnierachse ist vielfach untersucht worden. Schilling beschrieb 1983, daß sich die Streuung der Scharnierachsenpunkte bei wiederholter individueller Lokalisation innerhalb einer Fläche von 4 Quadratmillimetern bewegte. Seiler und Hupfauß zeigten 1973, daß sich dieses Ergebnis auch dann erzielen ließ, wenn zwischen den einzelnen Scharnierachsenlokalisationen größere Zeiträume von 2 bis 8 Wochen lagen. Bernard et al. stellten 1996 fest, daß diese Präzision auch durch unterschiedliche Behandler erzielt werden konnte. Weitestgehend unbeeinflusst blieb dies auch durch die Wahl der

Registriermethode. Utz et al. konnten 1990 zeigen, daß die Unterschiede in der Lage der individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte durch verschiedene Registriermethoden sehr gering waren. Allerdings ist die individuelle Bestimmung der zentrischen Scharnierachse mit einem recht hohen instrumentellen und zeitlichen Aufwand verbunden. Sie wird von einem geübten Behandler in etwa 10 Minuten durchgeführt. Deshalb wurde schon sehr früh damit begonnen, Methoden zur mittelwertigen Bestimmung der zentrischen Scharnierachse zu entwickeln.

Verfahren zur mittelwertigen Bestimmung der Scharnierachse wurden von sehr vielen Autoren angegeben (Bergström 1950, Beyron 1942, Brandrup-Wognsen 1953, Fischer 1935, Hobo 1971, Reiber und Dickbertel 1988, Utz et al. 1987). Die Vorgehensweise der Untersucher bestand darin, die individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte einer Fallgruppe zu bestimmen und auf der Haut der Probanden zu markieren. Als weiterer Schritt wurden diese markierten Punkte in ein Lageverhältnis zu markanten oberflächlichen Haut- oder palperten Knochenstrukturen gesetzt. Utz et al. haben 1987 für das Bezugssystem Tragus/Kanthus (Ursprung des Koordinatensystems im Hinterrand des Tragus, die Abszisse verläuft durch den lateralen Augenwinkel) an 121 Probanden folgende Werte ermittelt:

Tab. XIV: Mittelwertige Scharnierachsenpunkte im Bezugssystem Tragus / Kanthus (Utz et al. 1987).

Mittelwertiger Achsenpunkt	Sagittal / Vertikal	Trefferquote
Rechts	11 mm / 4 mm	59%
Links	11 mm / 3 mm	65%

Als weiteres Beispiel sei die von Reiber und Dickbertel 1988 inaugurierte Methode erwähnt. Diese zeichnete sich durch eine äußerst hohe Trefferquote aus. Der Koordinatenursprung des gewählten Bezugssystems lag hier im palperten lateralen Kondylenpol. Als zweiter Bezugspunkt dienten entweder Kanthus, Nasion, palpierter

Infraorbitalrand oder Subnasalpunkt. Da sich die Ergebnisse bezüglich der Trefferquote nicht wesentlich unterscheiden, sind in der nachfolgenden Tabelle die Werte für das Bezugssystem Kondylus / Kanthus angegeben.

*Tab: XV: Mittelwertige Scharnierachsenpunkte im Bezugssystem Kondylus / Kanthus (Reiber und Dickbertel 1988).*

Bezugssystem	Sagittal / vertikal	Trefferquote
Kondylus / Kanthus	-1,6 mm / 6,6 mm	90,5%

Beim Ohr-Gesichtsbogen wird das Bezugssystem durch die Lage der Ohroliven in den äußeren Gehörgängen sowie durch die Abstützung der Glabellastütze an der Nasenwurzel vorgegeben. Auch zu diesem Bezugssystem können die individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte in ein Lageverhältnis gesetzt werden. Dieses Lageverhältnis wurde letztlich durch die Meßwerte für jeden einzelnen Probanden ermittelt. Faßt man nun alle gemessenen Werte zusammen und drückt diese in ein Koordinatensystem, so erhält man das in Abb. 28 dargestellte Bild. Der Ursprung des Koordinatensystems ist der Mittelpunkt der Ohrolive, die Abszisse ist identisch mit dem horizontalen Arm des Gesichtsbogens. Die individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte sind zunächst ohne die Berücksichtigung eines Montageversatzes am Artikulator, sondern nur in ihrem definierten Lageverhältnis zum Bezugssystem Ohr-Gesichtsbogen, dargestellt.

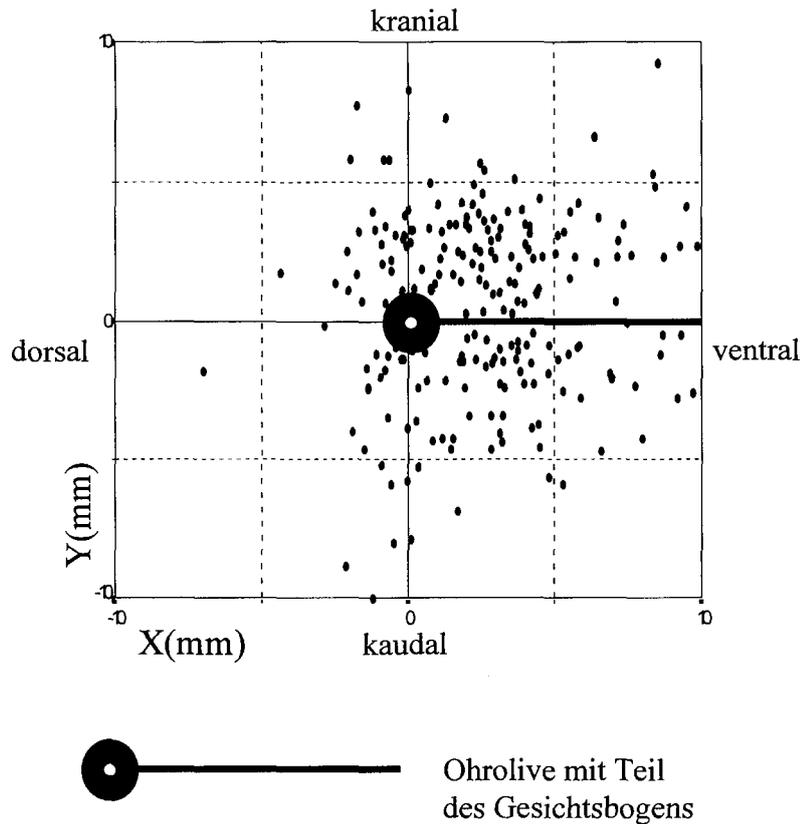


Abb. 28: Lageverhältnis der individuellen zentralen Scharnierachsenpunkte zum Ohr-Gesichtsbogen.

Um bei der Übertragung nun die größtmögliche Trefferquote zu erzielen, sollten die Montagepunkte für den Gesichtsbogen am Artikulator so zu liegen kommen, daß das Epizentrum der Scharnierachsenpunkte mit der Artikulatorachse übereinstimmt. Abb. 29 zeigt in einer schematischen Darstellung die derzeitige Lage der Montagepunkte des SAM<sup>®</sup> Artikulators. Die Montagepunkte sind als kleine Zapfen am Kondylargehäuse des Artikulators ausgeführt. Diese sind für die Aufnahme der Bohrungen in den Ohroliven des Gesichtsbogens bestimmt. Der Versatz dieser Zapfen zur Drehachse des SAM<sup>®</sup> Artikulators beträgt:

6,5 mm nach dorsal

1,8 mm nach kranial

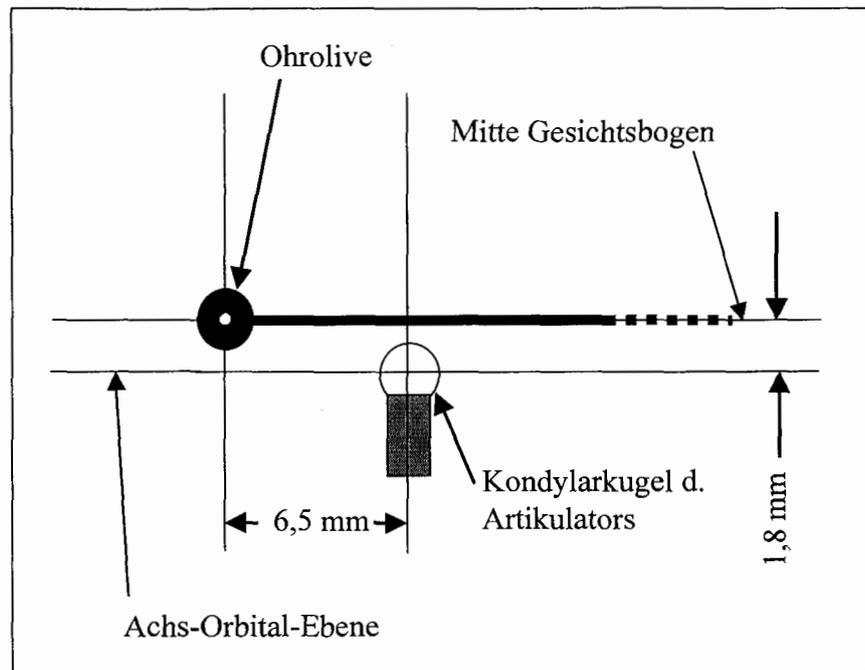


Abb. 29: Schematische Darstellung der Lage der Montagepunkte für den Ohr-Gesichtsbogen am SAM® Artikulator. (Nach R. Cramer, persönl. Mitteilung)

Abb. 30 zeigt wiederum den Ohr-Gesichtsbogen und die Lage der individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte in der Sagittalebene. Es ist allerdings der Montageversatz am SAM® Artikulator – wie oben beschrieben – berücksichtigt. Im Ursprung des Koordinatensystems befindet sich die Drehachse des Artikulators, symbolisiert durch eine Kondylarkugel des SAM® Artikulators. Die Ohrolive ist um den Montageversatz (-6,5mm / +1,8mm) nach dorsal/kranial gewandert. Der grau hinterlegte Kreis beinhaltet diejenigen individuellen Scharnierachsen, die einen maximalen Abstand von 5 mm zur Artikulatorachse haben. Die Trefferquote beträgt:

**Rechts:** 36,7%

**Links:** 37,6%

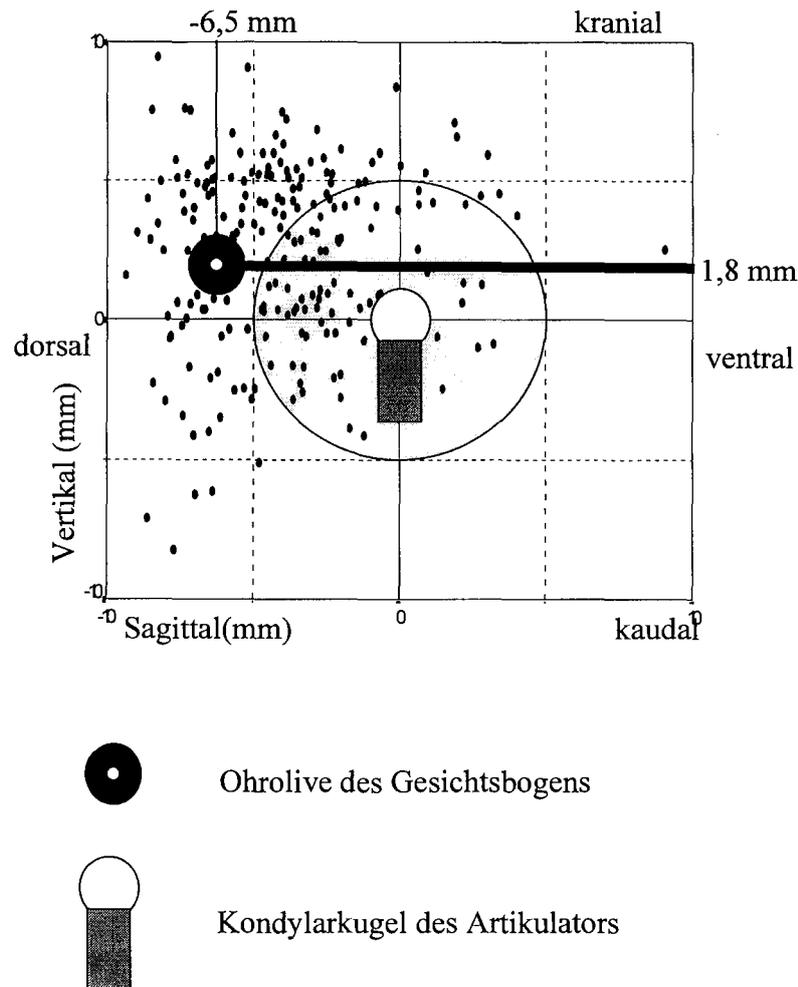


Abb. 30: Plot der individuellen Scharnierachsenpunkte bei Montage im SAM Artikulator mit Markierung der Trefferquote.

Die Abbildung zeigt deutlich, daß mit der Verlagerung der Montagepunkte nach dorsal / kranial die gesamte Punktwolke mitgewanderte. Der Großteil der individuellen zentralen Scharnierachsenpunkte kam dadurch im dorsalen kranialen Quadranten des Koordinatensystems zu liegen. Die Verteilung der Punkte um die Drehachse des Artikulators war nicht ausgewogen.

Dies legte den Schluß nahe, daß die Montagezapfen des SAM<sup>®</sup> Artikulators nicht die optimale Position hatten. Durch eine Änderung des Versatzes der Montagepunkte zur Artikulatorachse sollte eine Verbesserung der Trefferquote möglich sein. Diese Änderung

konnte anhand der gemessenen Werte errechnet werden. Eine optimale Verteilung der individuellen Scharnierachsenpunkte um die Artikulatorachse wurde erreicht, indem der vorhandene Montagepunkt um die in der Sagittalebene ermittelten Medianwerte korrigiert wurde. Abb. 31 zeigt die Lage der korrigierten Montagepunkte, überlagert mit der Wolke der individuellen Scharnierachsenpunkte, sowie einen grau hinterlegten Kreis mit 5 mm Durchmesser.

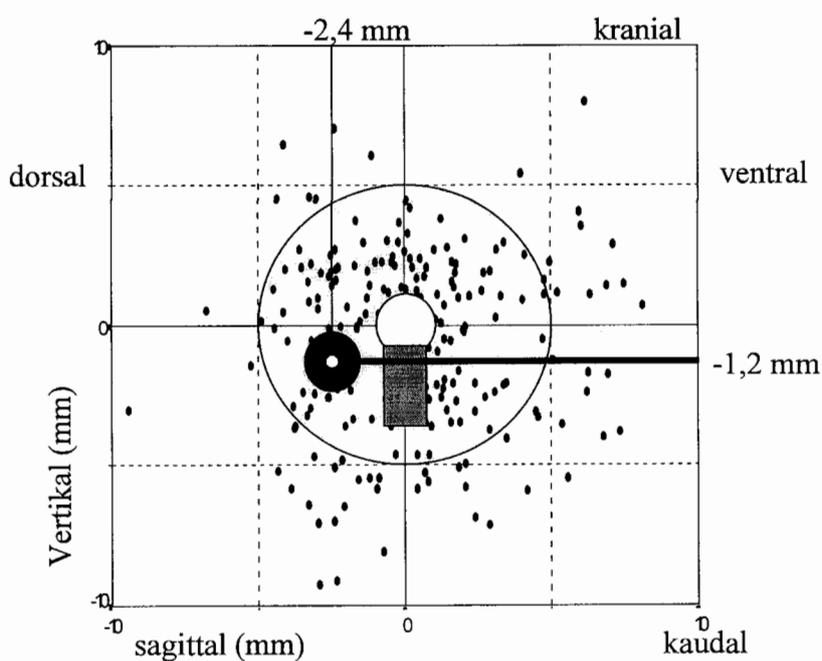


Abb. 31: Plot der individuellen Scharnierachsenpunkte bei korrigierten Montagepunkten.

Die Punktwolke zeigt jetzt eine gleichmäßige Verteilung um die Artikulatorachse. Die Montagepunkte wurden um 4,1 mm nach ventral und 3 mm nach kaudal versetzt. Sie liegen jetzt

**2,4 mm dorsal**

**1,2 mm kaudal**

der Artikulatorachse.

Aus der Änderung ergaben sich folgende Trefferquoten:

**Rechts: 76,1 %**

**Links: 71,6 %**

Durch die Änderung der Montagepunkte ergab sich auch eine Verringerung des 95%-Radius. Innerhalb dieses Kreises um die Artikulatorachse befinden sich 95% der gesamten individuellen Scharnierachsenpunkte. Lag dieser Wert bei der bestehenden Version des SAM<sup>®</sup> Artikulators bei 9,6 mm, so verringerte er sich rechnerisch durch die Korrektur der Montagepunkte auf 7,6 mm. 95 % der individuellen Scharnierachsenpunkte wiesen jetzt einen maximalen Abstand von 7,6 mm zur mittelwertigen Achse, die mit dem Ohr-Gesichtsbogen bestimmt wurde, in der Sagittalebene auf.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, daß die Übertragung der Position der mittelwertigen zentrischen Scharnierachse beim SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Ohr-Gesichtsbogen in der vorliegenden Version nicht ausreichend genau war. Durch eine Änderung der Montagepunkte konnte die Trefferquote jedoch rechnerisch erheblich verbessert werden. Sie wäre mit 76,1% Rechts und 71,6% Links keinesfalls ungünstiger, als die durch Messung bestimmte mittelwertige zentrische Scharnierachse im Bezugssystem Tragus–Kanthus.

### **5.3. Kritische Bewertung der mittelwertigen Achsenbestimmung mit dem SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen**

#### **5.3.1. Indikation für eine mittelwertige Bestimmung der zentrischen Scharnierachse**

„There is no evidence showing that the use of a face-bow will improve the clinical quality of the final protheses.“ (Carlsson GC, persönl. Mitteilung; 1996) Tatsächlich muß davon ausgegangen werden, daß ein Großteil der frei praktizierenden Zahnärzte auf die

Verwendung eines Gesichtsbogens und damit auf eine Individualisierung der Modellposition im Artikulator verzichtet. Trotzdem wird durch diese Zahnärzte - von der Einzelkrone bis zur Totalprothese - Zahnersatz in großem Umfang angefertigt und den Patienten eingegliedert. Die Verwendung eines Gesichtsbogens bedingt einen höheren Behandlungsaufwand und verursacht für den Patienten höhere Kosten. Diese müssen in der Regel durch ihn selbst getragen werden. Warum also sollte die Verwendung eines Gesichtsbogens Vorteile bringen, wenn der Zahnersatz, der ohne Gesichtsbogen hergestellt wird, von den Patienten genau so gut toleriert und getragen wird.

In der zahnärztlichen Behandlung treten Situationen auf, in denen die Zuordnung von Modellpaaren in der maximalen Interkuspitation nicht möglich ist. Dies ist zum Beispiel bei umfangreichen okklusalen Rekonstruktionsmaßnahmen mit Auflösung von Stützzonen der Fall. Eine maximale Interkuspitation ist dann aufgrund fehlender okklusaler Kontakte nicht mehr vorhanden. Als therapeutische Unterkieferposition wird in diesen Fällen häufig die Zentrische Kondylenposition (ZKP) herangezogen. Die zentrische Kondylenposition kann entweder mit Hilfe gesperrter Checkbiß-Registrate oder durch eine intraorale Pfeilwinkelaufzeichnung bestimmt werden. In beiden Fällen erfolgt die Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer meist mit einer gewissen Sperrung der Okklusion. Diese beträgt bei den gesperrten Checkbißregistraten ca. 5 mm im Bereich der Inzisalstiftes des Artikulators.

Eine andere Indikation für gesperrte Checkbiß-Registrate ist die Modellanalyse im Artikulator bei funktionsgestörten Patienten. Hier wird die Okklusion in zentrischer Kondylenposition des Patienten auf mögliche Störkontakte hin untersucht. Das Modellpaar des Patienten wird mit Hilfe eines Registrates in den Artikulator eingebracht. Nach dem Erhärten des Gipses wird das Registrat entnommen und die Sperrung durch Absenken des Artikulatoroberteils aufgehoben. Die Untersuchung auf mögliche Störkontakte ist jedoch nur dann aussagekräftig, wenn die Geometrie der Rotation beim Absenken aus der gesperrten Situation in die Okklusion analog der Rotationsbewegung des Unterkiefers beim Patienten geschieht. Abbildung 32 zeigt schematisch die Registrierung der zentrischen Kondylenposition mit Hilfe eines gesperrten Checkbiß-Registrates. Auf eine Übertragung der zentrischen Scharnierachse wurde verzichtet. Der

sagittale Abstand des Oberkiefers zur Rotationsachse wurde dabei stark verkürzt. Beim Absenken des Artikulators entsteht nun eine geometrische Verzerrung, die eine korrekte Auswertung nicht zuläßt.

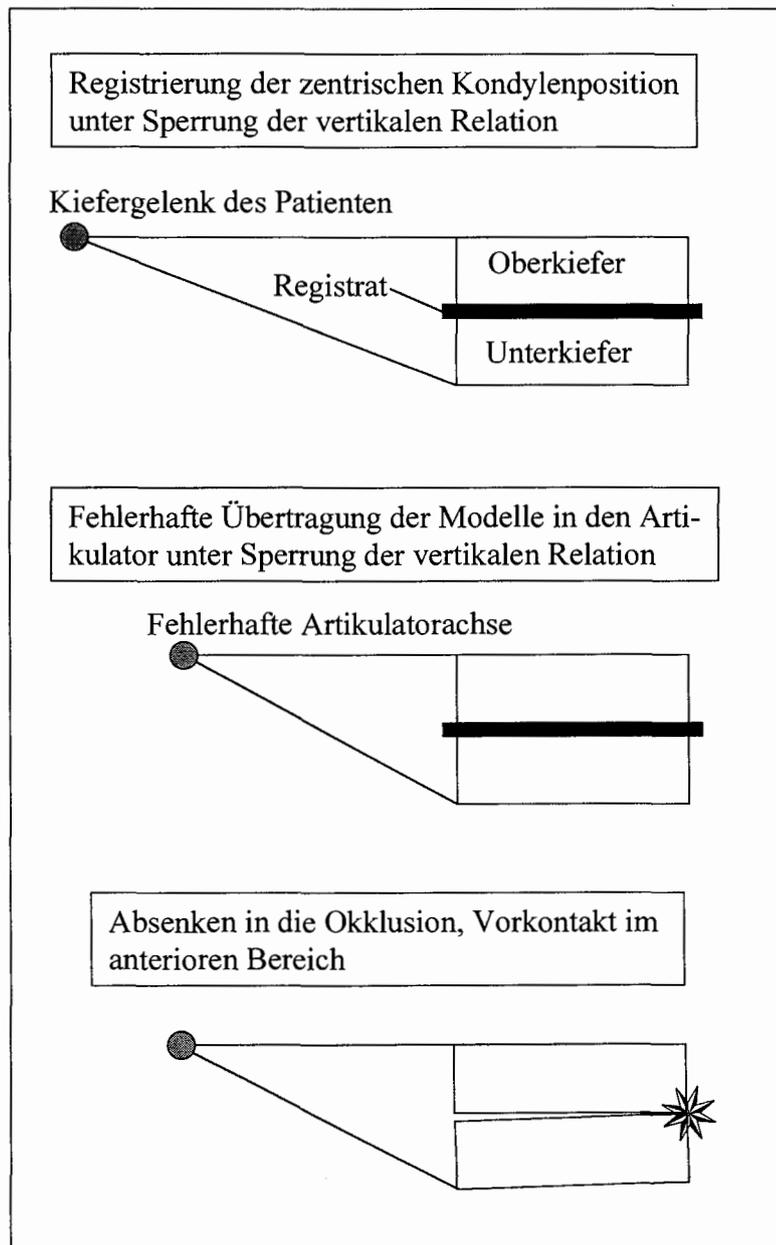


Abb. 32: Schematische Darstellung einer Modellübertragung in den Artikulator ohne korrekte Zuordnung zur zentralen Scharnierachse.

So wird es bei einem verkürzten sagittalen Abstand zwischen der zentrischen Scharnierachse und den Oberkieferzähnen zu einem Frühkontakt im Bereich der Frontzähne kommen. Umgekehrt führt ein vergrößerter Abstand zwischen Scharnierachse und Oberkiefer zu Frühkontakten im Molarenbereich und einem Klaffen im Bereich der Frontzähne.

Die gleichen Auswirkungen können beobachtet werden, wenn im Rahmen einer prothetischen Behandlung eine Änderung der vertikalen Relation des Zahnersatzes - dies vor allem in der Totalprothetik - vorgenommen werden soll. Muß die vertikale Relation erhöht oder erniedrigt werden, so kann dies nur dann fehlerfrei durchgeführt werden, wenn die Relation der Modelle zur Artikulatorachse analog der anatomischen Situation beim Patienten ist. An dieser Stelle stellt sich folgende Frage: Ist der entstehende Fehler vernachlässigbar klein, oder führt die Individualisierung der Modellposition im Artikulator zu besseren Diagnosen und Behandlungsergebnissen?

Weinberg (1958,1961) führte zu diesem Problem folgende Überlegungen durch: Er nahm an, daß eine individuelle Scharnierachse 5 mm nach dorsal fehllokalisiert sei. Des Weiteren sollte der Unterkiefer durch ein gesperrtes Checkbiß-Registat dem Oberkiefer zugeordnet sein. Dessen Dicke sollte im Bereich der zweiten Molaren 3 mm betragen. Beim Absenken des Artikulators entstand nun durch die fehlbestimmte Scharnierachse ein Fehler. Diesen berechnete er mit 0,193 mm Abweichung in sagittaler Richtung, was bedeutete, daß beim Schließen des Artikulators die Höckerspitze des zweiten unteren Molaren den Gegenzahn etwa 0,2 mm weiter dorsal traf, als bei exakt lokalisierter zentrischer Scharnierachse.

Brotman gab 1960 eine Formel an, mit deren Hilfe der maximale okklusale Fehler bei bekannter Registatdicke und gegebener Fehllokalisation der Scharnierachse errechnet werden konnte. Sie lautete:

$$E = (X * D)/100$$

Die Variablen bedeuten:

**E** : okklusaler Fehler [mm]

**X** : Registratdicke [mm]

**D** : Fehllokalisation der individuellen zentrischen Scharnierachse [mm]

Als Beispiel sei folgende Annahme getroffen: Die individuelle zentrische Scharnierachse ist um 3 mm fehllokalisiert worden. Die Dicke des gesperrten Checkbiß Registrates beträgt ebenfalls 3 mm. Der maximal auftretende okklusale Fehler beläuft sich auf

$$E = (3 \cdot 3)/100 \text{ mm} \\ = 0,09 \text{ mm}$$

Entsprechend wäre der Fehler bei 5 mm Fehllokalisation und 3 mm Registratdicke 0,15 mm.

Fox hat 1967 den Einfluß des Abstandes zwischen den Schneidekanten der unteren Frontzähne und der individuellen Scharnierachse auf den okklusalen Fehler untersucht. Bei 27 Probanden fand er einen Abstand von minimal 69 mm und maximal 97 mm. Der mittlere Abstand betrug 85 mm. Für eine Registratdicke von 3 mm sowie einer Fehllokalisation der individuellen zentrischen Scharnierachse um 5 mm berechnete er folgende okklusale Fehler:

0,22 mm bei einem Abstand von 70 mm und

0,15 mm bei einem Abstand von 100 mm

zwischen den Schneidekanten der unteren Frontzähne und der individuellen zentrischen Scharnierachse. Der okklusale Fehler wurde damit um so größer, je kürzer der anatomische Abstand zwischen der Rotationsachse des Unterkiefers und den Schneidezähnen war.

Sörgel und Körber (1978) bezifferten den maximalen okklusalen Fehler bei einer Fehllokalisation der Scharnierachse um 5 mm und einer Bißsperrung von 3 mm mit 0,3 mm. Kühl sprach in seiner Veröffentlichung von 1978 bei einer Bißsperrung von 5 mm im Frontzahnbereich von einem maximalen Fehler von 0,35 mm. Alle Untersuchungen

zeigten, daß es beim Absenken aus einer gesperrten Modellposition in die Okklusion zu Interferenzen kam. Diese sind auf eine Abweichung der Modelle zueinander in der sagittaler Richtung zurückzuführen. Man spricht deshalb auch vom sagittalen okklusalen Fehler. Dessen Größe ist letztendlich abhängig vom Ausmaß der Fehllokalisierung der Scharnierachse, der Dicke des verwendeten Registrates sowie individuellen anatomischen Gegebenheiten des Patienten.

Die fehlerhafte Bestimmung der individuellen zentrischen Scharnierachse verursacht jedoch noch einen weiteren Fehler. Bei Bewegungen des Unterkiefers aus der Interkuspitationsstellung in die Latero-, beziehungsweise die Mediotrusion verändert sich durch eine falsche Modellposition im Artikulator die Steilheit der Artikulationsbahnen. Es kommt zu Interferenzen in den exzentrischen Bewegungen. Von Heseler et al. (1977) sowie Hofmann und Pröschel (1978) untersuchten den Einfluß verschiedener Parameter auf den Verlauf von Artikulationsbahnen. Sie konnten zeigen, daß eine falsch lokalisierte zentrische Scharnierachse großen Einfluß auf die exzentrischen Bewegungsbahnen der Zähne hat. So führte ein verkürzter Abstand zwischen den unteren Inzisivi und der Interkondylarachse zu steileren Artikulationsbahnen. Umgekehrt führte ein vergrößerter Abstand zu flacheren Bahnen. Den größten Einfluß hatte hierbei die sagittale Komponente der Fehllokalisierung. Im Rahmen einer Rekonstruktionsmaßnahme würde eine nach anterior verschobene individuelle zentrische Scharnierachse ggf. zu steiler modellierten Höckern im Seitenzahnbereich und damit zu Störungen in den Seitwärtsbewegungen führen. Besonders stark wirkte sich diese Störung auf der Mediotrusionsseite aus. Da der Fehler aus einer vertikalen Komponente bestand, wurde dieser von den Autoren als vertikaler okklusaler Fehler bezeichnet. Er wird definiert durch den vertikalen Abstand zwischen der Bewegungsbahn bei korrekter Einstellung des Artikulators (Normalbahn) sowie der Bahn bei falscher Einstellung eines Parameters bei einer Exkursion von 1,5 mm. Verursachte die Fehleinstellung eine steilere Artikulationsbahn, so war der vertikale okklusale Fehler positiv. War die Bahn flacher, resultierte daraus ein negativer Fehler. In Tabelle XIV sind die berechneten vertikalen Fehler für eine sagittal fehllokalisierte individuelle zentrische Scharnierachse dargestellt.

Tab. 5.5.: Vertikale okklusale Fehler durch eine sagittal fehllokalisierte zentrische Scharnierachse (Hofmann und Pröschel 1978).

Fehllokalisation der Achse in der Sagittalen		Fehler auf der Arbeitsseite	Fehler auf der Balanceseite
Nach	5 mm	0,035 mm	-0,04 mm
dorsal	15 mm	0,08 mm	-0,12 mm
Nach	5 mm	-0,04 mm	0,045 mm
anterior	15 mm	-0,145 mm	0,155 mm

Neben dem Einfluß der scharnierachsenbezüglichen Montage der Modelle in den Artikulator wurden durch die Autoren auch die Auswirkungen von falsch eingestelltem sagittalen Gelenkbahnneigungswinkel, fehlerhaftem Bennettwinkel und verändertem Interkondylarabstand auf den vertikalen okklusalen Fehler berechnet. Dabei zeigte sich, daß die größten Fehler durch die Einstellung der Gelenkbahnneigung und die Scharnierachsenbestimmung entstanden. Eine nach anterior verschobene zentrische Scharnierachse sowie ein zu steil eingestellter Gelenkbahnneigungswinkel konnten sich nach Berechnungen der Autoren zu einem Gesamtfehler von 0,8 mm summieren, was im Rahmen einer umfangreichen Restauration sicherlich nicht zu tolerieren wäre. Zusammenfassend erklärten sie, daß der Gesamtfehler entscheidend gemildert wird, wenn diese beiden Faktoren am Patienten hinreichend exakt bestimmt werden.

Bei den vorgenannten Untersuchungen handelte es sich um theoretische Berechnungen von Maximalfehlern, oder Fehler, die durch bewußte Änderung eines Parameters entstehen können. Pröschel et al. wandten deshalb 1995 individuelle, in vivo gemessene Artikulationsparameter als Untersuchungsgrundlage für ihre Berechnungen an. Sie wollten herausfinden, welche okklusale Fehler zu erwarten sind, welche Parameter den größten Einfluß ausüben und welche Maßnahmen geeignet sind, diesen Fehler auf ein Minimum zu reduzieren.

An 60 Probanden wurden die individuellen zentrische Scharnierachsen, die sagittale Kondylenbahnneigung, der Bennettwinkel, der Interkondylarabstand, sowie der sagittale und kaudale Abstand zwischen den unteren Inzisivi und der zentrischen Scharnierachse bestimmt. Für die einzelnen Probanden wurden dann die individuellen vertikalen okklusalen Fehler berechnet, die entstanden, wenn die genannten Parameter im Artikulator nach Mittelwerten eingestellt waren. Die Mittelwerte wurden aus den einzelnen Parametern der gesamten Fallgruppe berechnet. Es zeigte sich, daß bei 77 Prozent der untersuchten Personen ein vertikaler okklusaler Fehler von weniger als 0,2 mm auftrat. Dies erschien den Autoren im Rahmen einer Rekonstruktionsmaßnahme gerade noch tolerabel. Andererseits wurde diese Toleranzgrenze bei fast jedem fünften Probanden überschritten, da hier der Fehler im Bereich von 0,2 bis 0,5 mm lag. Im Sinne von zu steil modellierten Höckern wäre dies sicher nicht zu akzeptieren. Auch diese Untersuchung zeigte, daß zum Einen der sagittale Kondylenbahnneigungswinkel und zum Anderen die Lokalisation der individuellen zentrischen Scharnierachse den größten Einfluß auf den vertikalen okklusalen Fehler hatten. Dieser ließ sich aber mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine akzeptable Größe von weniger als 0,2 mm reduzieren, wenn die beiden Parameter Kondylenbahnneigung und zentrische Scharnierachse individuell bestimmt wurden. Nach Pröschel et al. reicht für die Scharnierachsenbestimmung eine mittelwertige Methode, wie sie von verschiedenen Autoren angegeben wurde (Bergström 1950, Beyron 1942, Brandrup-Wognsen 1953, Fischer 1935, Hobo 1971, Reiber und Dickbertel 1988, Utz et al. 1987), aus. Wichtig sei, eine absolute Fehlpositionierung des Modells im Artikulator zu vermeiden. Zum Verfahren der Bestimmung des sagittalen Kondylenbahnneigungswinkels machten die Autoren keine Angaben.

Die vorgenannte Untersuchung zeigte die Möglichkeit der Minimierung von Fehlern bei zahnärztlichen Rekonstruktionsmaßnahmen auf. Sie wirft jedoch auch einige Probleme und Fragestellungen auf, die im Folgenden diskutiert werden sollen.

Ein grundsätzliches Problem ist die Methodik der Berechnung. Diese wurden anhand eines „virtuellen“ Artikulators im Computer durchgeführt. Es handelte sich um ein starres Berechnungsmodell, das nur geradlinige Bahnen für Bennettwinkel und Kondylenbahnneigung zuließ. Es ist aber besonders der Kondylus auf der Arbeitsseite,

der in der initialen Phase einer Seitwärtsbewegung des Unterkiefers zu einer Abweichung von dieser geradlinigen Bahn führen kann. Dies kann nicht nur im Sinne einer geradlinigen Lateralbewegung sondern auch als latero–Detrusion, latero–Syrtusion, latero–Retrusion und latero–Protrusion geschehen (Aull 1965, Lückcrath 1991). Diese initialen Bewegungsabläufe des Arbeitskondylus können die Bewegungsbahnen der Zähne u. U. deutlich beeinflussen und fließen in die eben aufgeführten Berechnungen nicht ein. Zudem blieben Phänomene wie parodontale Beweglichkeit von Zähnen und die Verwindung des Unterkiefers bei dessen Bewegung unberücksichtigt.

Weiterhin stellt sich nach wie vor die Frage, warum die Mehrzahl der Zahnärzte ohne einen Gesichtsbogen und die individuelle Einstellung der sagittalen Kondylenbahnneigung am Artikulator auskommt. Ein Grund hierfür ist sicherlich die Tatsache, daß die meisten prothetischen Restaurationen in maximaler Interkuspitation hergestellt werden und Artikulationsinterferenzen durch eine vorhandene, diskudierende Eckzahnführung vermieden werden. In Verbindung mit einer Kauflächengestaltung, die eine stabile Verzahnung sichert, jedoch den Unterkiefer in seinen Freiheitsgraden nicht behindert (z.B. biomechanisches Aufwachsen nach Polz) führt dies u. U. auch ohne den Einsatz eines Gesichtsbogens zu interferenzfreiem Zahnersatz. Probleme können ggf. dann auftreten, wenn die Schutzfunktion der Eckzahnführung -z.B. durch Abrasion, durch Zahnfehlstellung oder von vorneherein nicht vorhanden ist. Der oben beschriebene vertikale okklusale Fehler kann sich in diesem Fall durchaus bemerkbar machen, da die Bewegungsbahnen im okklusalen Nahbereich wesentlich flacher verlaufen. Wird in diesem Fall eine mittelwertige Bestimmung der zentrischen Scharnierachse sowie die Einstellung des sagittalen Kondylenbahnneigungswinkels vorgenommen, lassen sich die aus diesen Parametern resultierenden Fehlerquellen zumindest minimieren. Wird zudem die Zuordnung des Ober- und des Unterkiefers mit Hilfe eines gesperrten Registrates vorgenommen, so empfiehlt sich auch hier zur Vermeidung des sagittalen okklusalen Fehlers die Anwendung einer mittelwertigen Modellübertragung.

### 5.3.2. Indikation für den SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen

In Abschnitt 5.2.3., S. 10 konnte gezeigt werden, daß die Übertragungsgenauigkeit des anatomischen Transferbogens SAM<sup>®</sup> Axioquick auf die SAM Artikulatoren derzeit schlechter ist als andere Methoden der mittelwertigen Bestimmung der zentrischen Scharnierachse. Dies macht die Verwendung dieses Gesichtsbogens fraglich. Die Mehrzahl der übertragenen Modelle wurde zu weit dorsal und zu weit kranial im Artikulator positioniert. Dies führte in diesen Fällen zu einer Verkürzung des sagittalen und des vertikalen Abstandes zwischen dem Inzisalpunkt und der Drehachse des Unterkiefers. Genau dieser Umstand bewirkt nach Pröschel et al. (1995) die Entstehung eines positiven vertikalen okklusalen Fehlers, welcher sich in steileren Bewegungsbahnen der Zähne bemerkbar macht. Im Rahmen von zahnärztlichen Rekonstruktionen könnte es daher bei Verwendung des SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogens ggf. vermehrt zur Ausbildung von Störkontakten kommen. Aus diesem Grund sind zur Zeit die anderen Methoden der mittelwertigen Bestimmung der zentrischen Scharnierachse dem SAM<sup>®</sup> Ohr-Gesichtsbogen vorzuziehen. Diese weisen die eindeutig besseren Trefferquoten auf, welche es zu nutzen gilt.

Die Fehlerquelle ist jedoch nicht dem Gesichtsbogen selbst sondern der falschen Position der Montagepunkte für die Ohroliven zuzuschreiben. Wie in Abschnitt 5.2.3., S. 11 f. gezeigt werden konnte, verbessert sich die Trefferquote des Bogens entscheidend, wenn die Lage der Montagepunkte angepaßt würde. Die Genauigkeit der Übertragung stünde in diesem Fall den anderen Methoden nicht nach. Den SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen könnte man in dieser Form durchaus als gut geeignetes Mittel zur Modellübertragung in den Artikulator empfehlen.

Weiterhin wäre es sogar denkbar, den Montagepunkt noch weiter nach ventral / kaudal zu versetzen, als unter 5.2.3., S. 11 angegeben. Dies würde entsprechend den Berechnungen von Pröschel et al. (1995) bei der Mehrzahl der Gesichtsbogenübertragungen zu tendenziell flacheren Artikulationsbahnen führen, was der Entstehung von Interferenzen bei Rekonstruktionsmaßnahmen entgegenwirken würde.

### 5.3.3. Vergleich zu Ohr-Gesichtsbögen anderer Hersteller

Der Ohr-Gesichtsbogen wird in den Artikulatorsystemen verschiedener Hersteller zur mittelwertigen Modellübertragung genutzt. Dabei fällt auf, daß offensichtlich große Uneinigkeit über die Lage der Montagepunkte besteht. Dies beruht ohne Zweifel auf dem Mangel an Nachuntersuchungen auf diesem Gebiet. Anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse und der Kenntnis der Lage der Montagepunkte der Gesichtsbögen konnte für die einzelnen Fabrikate deren Übertragungsgenauigkeit in Form der Trefferquote berechnet werden (s. Tab XV).

Tab. XV: Lage der Montagepunkte und Trefferquoten der Ohr-Gesichtsbögen verschiedener Hersteller (Lage der Montagepunkte: 1,3,6 nach Cramer R, persönl. Mitteilung; 2 nach Kelsey (1971); 4,5 eigene Messung)

Fabrikat	Lage der Montagepunkte		Trefferquote
	sagittal	vertikal	
SAM <sup>®</sup> Axioquick <sub>1</sub>	-6,5 mm	1,8 mm	37,2%
Whip Mix <sup>®</sup> Quickmount <sub>2</sub>	-6,5 mm	2 mm	36,2%
Reference <sup>®</sup> <sub>3</sub>	-10 mm	0	12,4%
Kavo <sup>®</sup> <sub>4</sub>	-9 mm	-7 mm	6,9%
Dentatus <sup>®</sup> <sub>5</sub>	-15 mm	0	0,9%
Artex <sup>®</sup> <sub>6</sub>	-6,5 mm	3,5 mm	24,8%

Die Ergebnisse für den Dentatus<sup>®</sup> Gesichtsbogen müssen mit der Einschränkung versehen werden, daß dieser Bogen nicht unter Spannung am Patienten angelegt wird. Zum Teil muß auch das Ergebnis für den Reference<sup>®</sup> Ohr-Gesichtsbogen relativiert werden. In Kombination mit der Bestimmung der sagittalen Kondylenbahnneigung werden die Ohroliven mit Hilfe eines Gummibandes gegen die Hinterwand des äußeren Gehörganges fixiert. Die Glabellastütze wird nicht auf Spannung gesetzt. Dadurch sitzt der gesamte Bogen etwa 5 – 6 mm weiter dorsal (Angaben nach Cramer R, persönl. Mitteilung 1998).

Die Übertragungsgenauigkeit wäre in diesem Fall sicherlich besser, kann aber mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht berechnet werden.

Ein weiterer Nachteil ist die Tatsache, daß Artikulator und Gesichtsbogen immer dem selben System zugehörig sein müssen, und unterschiedliche Fabrikate nicht miteinander kompatibel sind. Dies wird auch durch die Vielzahl von Veröffentlichungen (Gehl u. Payne, 1972; Kastner 1985; Kelsey, 1972; Loos , 1978; Pollak, 1978) verdeutlicht, die sich damit beschäftigen, den Whip Mix<sup>®</sup> Quickmount Ohr-Gesichtsbogen an andere Artikulatoren als den Original Whip Mix<sup>®</sup> zu adaptieren. Lavigne et al. entwickelten 1979 einen universell anwendbaren Ohr-Gesichtsbogen. Die heute auf dem Markt befindlichen Ohr-Gesichtsbögen sind aber nur mit dem eigenen System kompatibel. Der für die Untersuchung verwendete Bogen konnte nur durch eine Spezialanfertigung mit dem Reference<sup>®</sup> System benutzt werden. Durch die Entwicklung entsprechender Zwischenteile wäre der SAM<sup>®</sup> Axioquick Ohr-Gesichtsbogen auch zu anderen Systemen kompatibel.

#### **5.3.4. Abschließende Bewertung und praktische Schlußfolgerung**

Die Durchführung einer mittelwertigen Modellübertragung kann okklusale Fehler, die bei falscher Positionierung von Modellen im Artikulator entstehen, minimieren. In Kombination mit der individuellen Einstellung des sagittalen Gelenkbahnneigungswinkels erscheint die Verwendung eines Mittelwertgesichtsbogens als Maßnahme, die geeignet ist, die Qualität der Arbeit des Zahnarztes zu verbessern. Ein starrer Artikulator wird zwar nicht in der Lage sein, die komplizierte biologische Dynamik des stomatognathen Systems perfekt zu imitieren. Grundsätzliche geometrische Fehler können jedoch zumindest reduziert werden. Für den praktisch tätigen Zahnarzt kommt es darauf an, daß diese qualitative Verbesserung seiner Arbeit nicht mit einer starken Erhöhung seines Zeitaufwandes einher geht. Es sollte daher möglich sein, einfach, schnell, jedoch ausreichend genau

1. eine **mittelwertige Modellübertragung** in den Artikulator und
2. die **Bestimmung der sagittalen Gelenkbahnneigung** durchzuführen.

Prinzipiell handelt es sich beim Ohr-Gesichtsbogen um eine Form der mittelwertigen Modellübertragung in den Artikulator, die einfach und schnell bei guter Reproduzierbarkeit durchgeführt werden kann. Die eigenen Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit (vergl. 4.2.4.) folgen denen anderer Autoren (Teteruck et al. 1966, Gold et al. 1983). Ist die Voraussetzung der richtigen Position der Montagepunkte erfüllt, so ist der Ohr-Gesichtsbogen den anderen Methoden der mittelwertigen Scharnierachsenbestimmung ebenbürtig. In der derzeitigen Form ist der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen allerdings nicht zu empfehlen, da die Lage der Montagepunkte eine – verglichen mit anderen Methoden - ungenauere Modellübertragung verursacht. Auch andere gängige Fabrikate von Ohr-Gesichtsbögen sind zur mittelwertigen Modellübertragung in den Artikulator aufgrund falscher Montagepunkte nicht gut geeignet. Hier sollte von Seiten der Hersteller für eine Verbesserung gesorgt werden. Zum jetzigen Zeitpunkt sollte der Markierung einer mittelwertigen Scharnierachse auf der Haut des Patienten nach Messung oder nach Palpation/Messung und deren Übertragung auf den Artikulator der Vorzug gegeben werden.

Die sagittale Gelenkbahnneigung kann mit intraoralen und extraoralen Techniken bestimmt werden. Für die intraorale Bestimmung mit Hilfe von Protrusions-Checkbiß-Registralen wurde die Genauigkeit beschrieben (Koeck, 1973; Bernard et al., 1993). Da sich dies zeitsparend mit der Gesichtsbogen-Übertragung kombinieren läßt, scheint diese Technik für den praktisch tätigen Zahnarzt durchaus geeignet. Hierbei wird die Bißgabel als Protrusions-Checkbiß verwendet, wobei der Patient in ca. 5 mm protrudierter Unterkieferstellung in die rundum mit thermoplastischer Masse beschickte Bißgabel schließt. Bernard et al. konnten 1993 zeigen, daß die Genauigkeit dieser Methode dem separaten Protrusionscheckbiß nicht nachsteht. Auf diese Weise kann innerhalb sehr kurzer Zeit simultan die mittelwertige Scharnierachse und die sagittale Kondylenbahnneigung bestimmt werden

Um die transversale Freiheit des Kiefergelenks bei der Konstruktion von Zahnersatz zu berücksichtigen und dadurch verursachte Fehler zu minimieren, schlugen Utz 1988 und Lückerrath 1991 vor, entweder den Bennett Winkel generell recht steil auf 30 Grad einzustellen oder eine initiale transversale Bewegung im Artikulator durch entsprechende

Einsätze für die Kondylenboxen zu erlangen. Weiterhin können Artikulationsinterferenzen durch eine „disklusive okklusale Morphologie“ vermieden werden.

Die vorgenannten Maßnahmen können dem Zahnarzt bei geringem Zeitaufwand helfen, Fehler bei der Modelldiagnostik und der Anfertigung von Zahnersatz zu vermeiden und damit die Qualität seiner Arbeit zu sichern.

## **6. Zusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Übertragungsgenauigkeit des SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Ohr-Gesichtsbogens.

Die individuelle zentrische Scharnierachse wurde bei 109 vollbezahnten Probanden bestimmt. Deren Oberkiefermodelle montierte man entsprechend der Achsbestimmung individuell im Reference<sup>®</sup>-Artikulator. Weiterhin wurde zwei Mal hintereinander eine mittelwertige Achsbestimmung mit dem anatomischen Transferbogen SAM<sup>®</sup> Axioquick vorgenommen. Die Oberkiefermodelle konnten mit Hilfe eines Magnet-Splitcast-Systems mit dem Ohr-Gesichtsbogen neu einartikuliert werden. Der aus den unterschiedlichen Montageverfahren resultierende Lageversatz der Modelle wurde computergestützt vermessen. Dabei diente die Modellposition nach individueller Gesichtsbogenübertragung als Referenzposition. Folgende Meßdaten wurden erhoben und statistisch ausgewertet:

1. Die aus dem Lageversatz resultierende Verschiebung der Kondylarkugeln des Artikulators in sagittaler, vertikaler und transversaler Richtung.
2. Die Änderung der Lage der Bezugsebene. Als Maß diente die Abweichung am Stützstift des Artikulators.
3. Die Qualität der Reproduzierbarkeit der Ohr-Gesichtsbogenübertragung.

Folgende Abweichungen der Kondylarkugeln im Verhältnis zur individuellen Position ergaben sich:

Transversal verschob sich die Kondylarkugel rechts im Mittel um  $0,2 \pm 1,7$  mm nach medial. Links ergab sich im Mittel keine (Std. Abw. 1,7 mm) Verschiebung.

In sagittaler Richtung lag die Kondylarkugel rechts im Mittel  $3,6 \pm 3,2$  mm weiter ventral, links  $4,2 \pm 3$  mm weiter ventral.

In der Vertikalachse lag die Kondylarkugel rechts  $2,8 \text{ mm} \pm 3,2$  mm, links  $1,9 \pm 3,4$  mm weiter kaudal.

Der Stützstift war im Mittel  $3,8 \pm 5,4$  mm verkürzt. Die durch den Ohr-Gesichtsbogen übertragene Bezugsebene lag in 75 % der Fälle weiter kaudal als bei der individuellen Übertragung.

Die Ohrbogenübertragung ließ sich in sagittaler Richtung rechts im Mittel mit einer Genauigkeit von  $1 \pm 1,1$  mm (links  $1 \pm 1$  mm) reproduzieren. Vertikal lag dieser Wert rechts bei  $1,2 \pm 1,6$  mm ( links  $1,6 \pm 1,5$  mm). In transversaler Richtung ließ sich eine Reproduzierbarkeit im Mittel von  $0,7 \pm 0,9$  mm erzielen.

Die Untersuchung zeigt, daß der SAM<sup>®</sup> Axioquick ATB Gesichtsbogen zwar gut reproduzierbar angelegt werden kann, jedoch keine klinisch ausreichende Übertragungsgenauigkeit aufweist. Mit einer Trefferquote (prozentualer Anteil der individuellen Scharnierachsenpunkte mit einem maximalen Abstand von 5 mm zum mittelwertig bestimmten Scharnierachsenpunkt in der Sagittalebene) von 37% rechts und 38% links steht er gegenüber anderen Verfahren zur mittelwertigen Bestimmung der zentralen Scharnierachse zurück. Die Mehrzahl der Scharnierachsenpunkte sind zu weit anterior und kaudal lokalisiert. Dies führt im Rahmen zahnärztlicher Rekonstruktionsmaßnahmen zu tendenziell steileren exzentrischen Bewegungsbahnen der Zähne.

Die Untersuchung zeigt aber auch, daß der anatomische Transferbogen SAM<sup>®</sup> Axioquick prinzipiell ein gutes Medium zur mittelwertigen Modellübertragung in den Artikulator darstellen könnte. Die ungünstige Trefferquote entsteht durch die fehlerhafte Position der Montagepunkte am Artikulator. Diese liegen zur Zeit 6,5 mm dorsal und 1,8 mm kranial der Artikulatorachse. Werden diese um 4,1 mm nach ventral und 3 mm nach kaudal versetzt, erzielt der Gesichtsbogen eine rechnerische Trefferquote von 76% rechts und 72% links. Damit wäre der Ohr-Gesichtsbogen den anderen Verfahren ebenbürtig.

Ein solcher, in seinen Montagepunkten optimierter Gesichtsbogen, könnte dem Zahnarzt helfen, die Qualität seiner Arbeit zu sichern. Die durch eine Fehlpositionierung eines Modells im Artikulator bedingten Fehler könnten minimiert werden.

## 7. Anhang

### 7.1. Histogramme der Werteverteilungen für die Meßwerte Sagittal und Vertikal, jeweils rechts und links

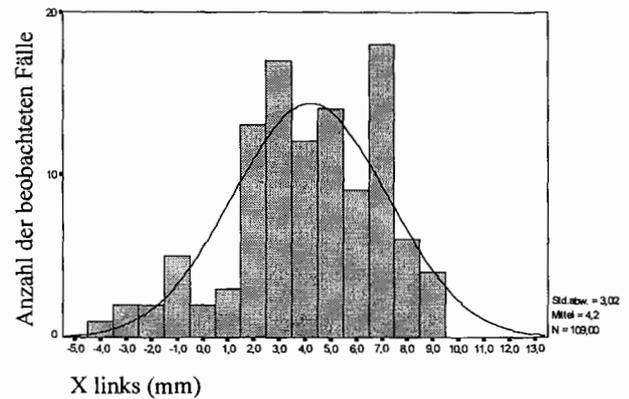
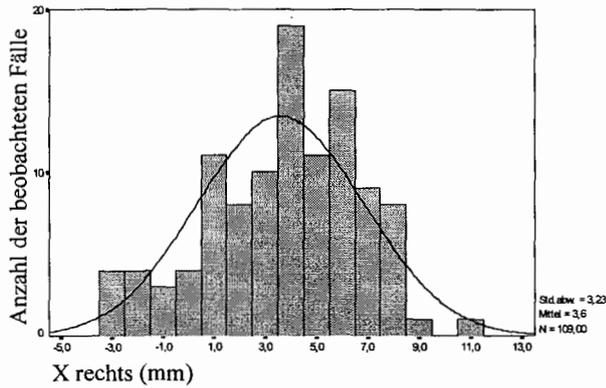


Abb. 33a u. 33b: Histogramme der Meßwerte Sagittal rechts und links mit erwarteter Normalverteilung.

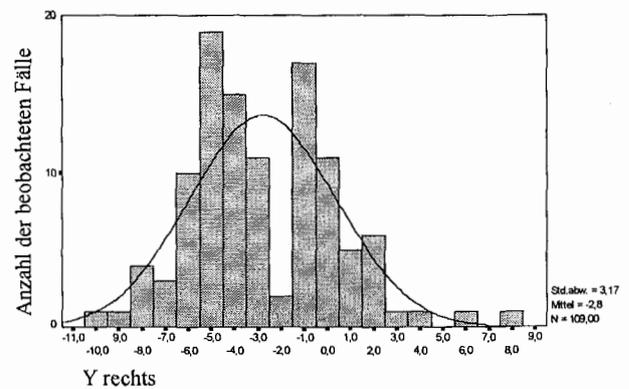
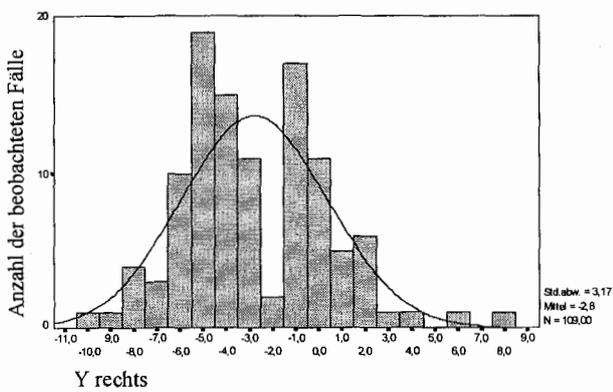


Abb. 34a u. 34b: Histogramme der Meßwerte Vertikal rechts und links mit erwarteter Normalverteilung.

### 7.1. Q-Q Plots sowie trendbereinigte Q-Q Plots für die Meßwerte Sagittal und Vertikal, jeweils rechts und links

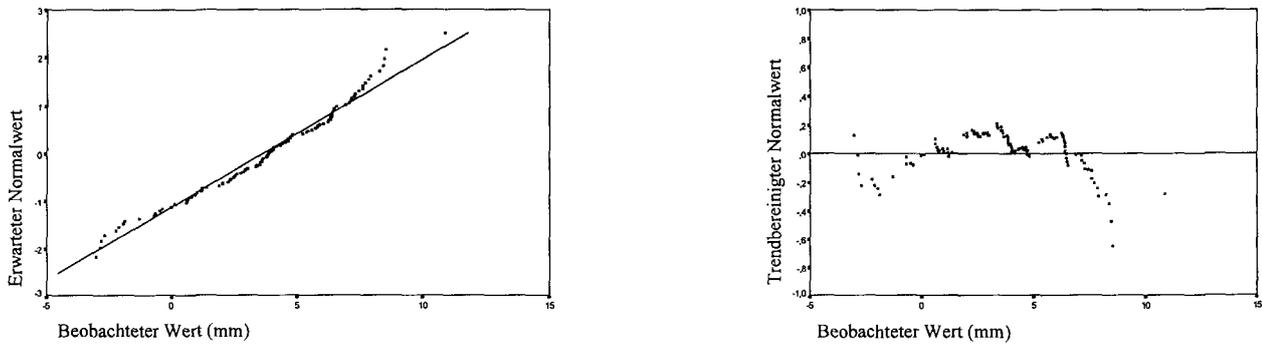


Abb. 35a u. 35b: Q-Q Plot und trendbereinigter Q-Q Plot für den Meßwert Sagittal rechts.

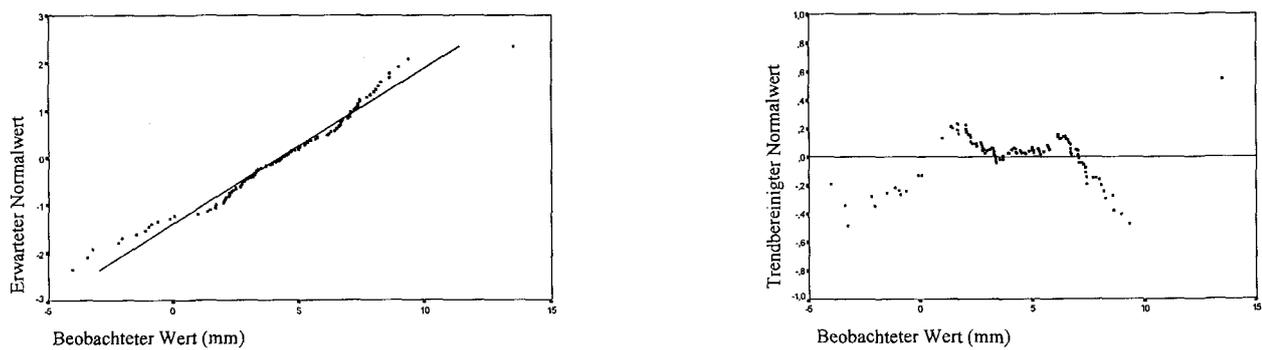


Abb.: 36a u. 36b: Q-Q Plot und trendbereinigter Q-Q plot für den Meßwert Sagittal links.

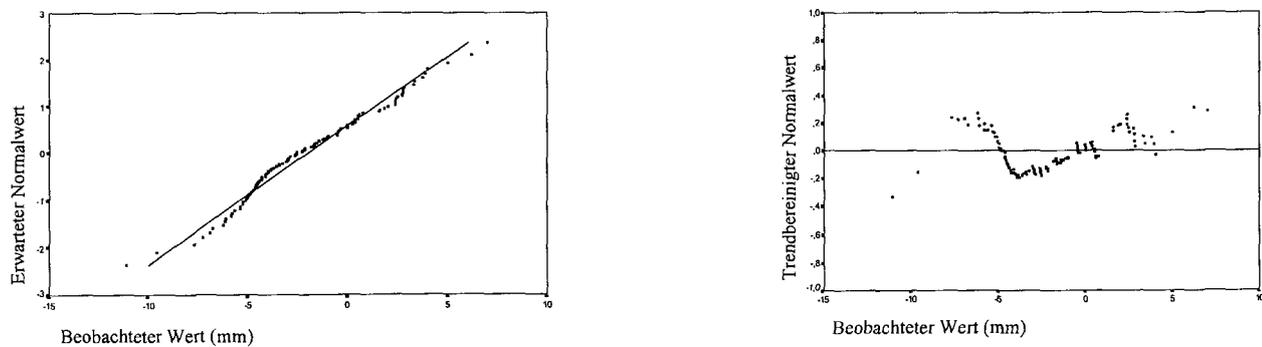


Abb. 37a u. 37b: Q-Q Plot und trendbereinigter Q-Q Plot für den Meßwert Vertikal rechts.

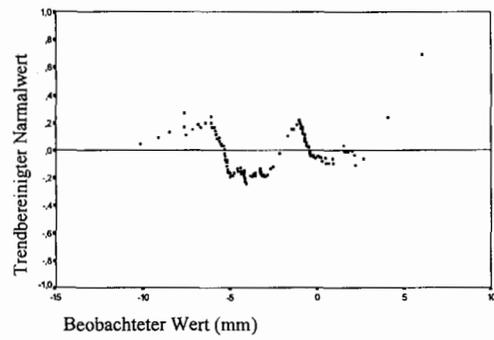
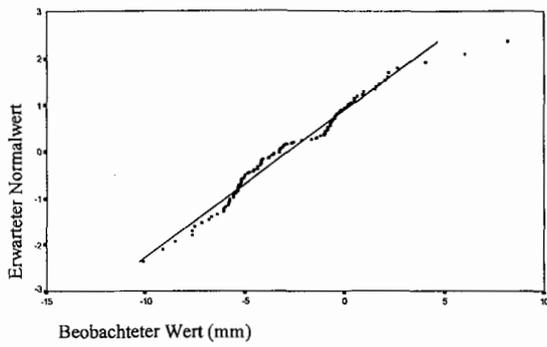


Abb. 38a u. 38b: Q-Q Plot und trendbereinigter Q-Q Plot für den Meßwert Vertikal links.

## 7.2. Q-Q plot und trendbereinigter Q-Q Plot für den Meßwert am Stützstift

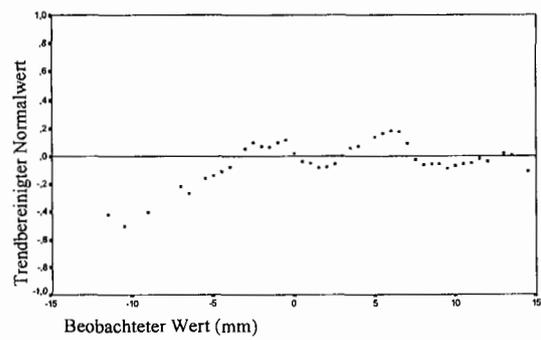
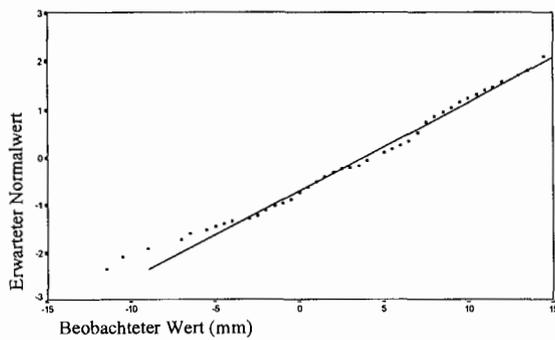


Abb. 39a u. 39b: Q-Q Plot und trendbereinigter Q-Q plot für den Meßwert am Stützstift.

## 7.3. Materialliste

Material	Hersteller	Verwendung
Adesso® Split-System	Mälzer Dental	Abgleich der Artikulatoren
Beauty Pink® Wachs	Moyco	Erstellung des Gegensockels
Bite Tabs®	Panadent	Drei Stück je Bißgabel für die Einbisse der Zähne
Panasil® Contact	Kettenbach	Oberkieferabformung
President® Monobody	Coltene	Oberkieferabformung
Snow white Plaster No. 2	Kerr	Erstellung des Gegensockels, Einartikulieren der Modelle
Tewestone®	Kettenbach	Modellerstellung, Erstellung der Adesso®-Gipskonter
SAM® Achsiograph Nr.2	SAM	Bestimmung der indiv. Zentrischen Scharnierachse
Reference® Condylograph	Girrbach Dental	Bestimmung der indiv. Zentrischen Scharnierachse
SAM® Axioquick ATB	SAM	Bestimmung der mittelwertigen zentrischen Scharnierachse
Multiplexer 50 Serie 264	Mitutoyo	Schnittstelle zwischen den Meßuhren und einem IBM Computer
Digimatic® IDF Serie 543	Mitutoyo	4 Meßuhren für die Sagittalebene rechts und links
Digimatic IDA Serie 543	Mitutoyo	2 Meßuhren für Transversal
SPSS® für Windows 7.0	SPSS Inc.	Statistische Auswertung der Daten

## **8. Literaturverzeichnis**

1. Aull AE. Condylar determinants of occlusal patterns. J Prosthet Dent 1965; 15: 826–846.
2. Bergström G. On the reproduction of dental articulation by means of articulators. A kinematic investigation. Acta Odontol Scand 1950; 9: Suppl 4.
3. Bernard N, Schmitt L, Utz KH. Intraorale und extraorale Bestimmung der sagittalen Kondylenbahnneigung im simultanen Vergleich. Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 309–312.
4. Bernard N, Utz KH, Kurbel R. Zur Präzision vorgefertigter Magnet-Split-Cast-Systeme. Zahnärztl Welt 1994; 9: 522-525
5. Bernard N, Utz KH, Schmitt L. Intraorale Bestimmung der sagittalen Kondylenbahnneigung während der Gesichtsbogenübertragung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1995; 105: 18–23.
6. Bernard N, Utz KH, Schmitt L. Zur Präzision der mechanischen Achsiographie. Dtsch Zahnärztl Z 1996; 51: 469–472.
7. Beyron H. Orienteringproblem vid prothetiska rekonstruktioner och Bettstudier. Svensk Tandläk T 1942; 35: 1.
8. Brandrup-Wognsen T. The Face-Bow, ist significance and application. J Prosthet Dent 1953; 3: 618.
9. Bratschko R, Cartellieri W, Leopold S, Moser F. Vergleichende Scharnierachsuntersuchungen. Dtsch Zahnärztl Z 1979; 34: 876–879.

10. Brotman DN. Hinge Axis Part II. Geometric significance of the transverse axis. *J Prosthet Dent* 1960; 10: 631–636.
11. Champion, GG. Some graphic records of movements of the mandible in the living subject. *Dental Cosmos* 1905; 47:39-42.
12. Fischer R. Die Öffnungsbewegung des Unterkiefers. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 1935; 45: 867.
13. Fox SS. The significance of errors in hinge axis location. *J Amer Dent Assoc* 1967; 74: 1268-1272.
14. Gausch K, Kulmer S. Der Kondymeter. *Dtsch Zahnärztl Z* 1978; 33: 540-542.
15. Gehl DH, Payne SH. Using the Whip-Mix face-bow with condylar articulators. *J Prosthet Dent* 1972;28: 200–204.
16. Gold BR, Setchell DJ. An investigation of the reproducibility of face-bow transfers. *J Oral Rehabil* 1983; 10: 495–503.
17. Hobo S. Atlas of occlusion. Univ of Calif, Los Angeles, School of dentistry 1971
18. Hofmann M, Pröschel P. Geometrisch-mathematische Analyse von Übertragungsfehlern in den Artikulator und deren praktische Auswirkungen Teil II. *Dtsch Zahnärztl Z* 1978; 33: 529–539.
19. Kastner CU. Modification of Hanau H-2 articulator to accept the earpiece face-bow. *J Prosthet Dent* 1985; 53: 138–140.

20. Kelsey CC. Adapting the Whip Mix Quick Mount face-bow to the Hanau H-2 Articulator. *J Prosthet Dent* 1971; 26: 437–441.

21. Koeck B. Über die Reproduzierbarkeit der Bestimmung der sagittalen Gelenkbahnneigung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1973, 28: 781–784.

22. Kühl W. Geometrie der scharniergelenkbezüglichen Modellorientierung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1967; 22: 873–875.

23. Lauritzen AG, Bodner GH. Variations in location of arbitrary and true hinge axis points. *J Prosthet Dent* 1961; 11:224-229.

24. Lauritzen AG, Wolford LW. Hinge axis location on an experimental basis. *J Prosthet Dent* 1961; 11: 1059.

25. Lauritzen AG. Arbeitsanleitung für die Lauritzen-Technik. Carstens und Homoc; Hamburg 1981.

26. Lavigne J, Lucchini JP, Brender P, Pastant A, Spirgi M. Présentation d'un arc facial universel. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1979; 89: 749–755.

27. Loos LG. One face-bow adapts to three articulators. *J Prosthet Dent* 1978; 39: 469-472.

28. Lückcrath W, Helfgen E. Untersuchungen zur transversalen Bewegungskapazität des Kiefergelenks. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991; 46: 197–200.

29. Malchau A. Die Aufzeichnung des Symphysenbahnwinkels mit Hilfe unterschiedlich geneigter Registrierplatten. *Med. Diss. Bonn* 1975.

30. Malchau A. Zur Lagedifferenz der Kondylen bei Aufzeichnung des Symphysenbahnwinkels. Dtsch Zahnärztl Z 1976; 31: 736-738.
31. McCollum BB. The mandibular hinge axis and a method of locating it. J Prosthet Dent 1960; 10: 428-435.
32. Palik JF, Nelson DR, White JT. Accuracy of an earpiece face – bow. J Prosthet Dent 1985; 53: 800-804.
33. Piehslinger E, Bauer W, Schmiedmayer HB. Computer Simulation of occlusal discrepancies resulting from different mounting techniques. J Prosthet Dent 1995; 74: 279-283.
34. Pollak J. Die arbiträre Montage des Oberkiefermodells mittels Whip-Mix Quick-Mount-Gesichtsbogen im Dentatus Artikulator. Dtsch Zahnärztl Z 1978; 33: 591-592.
35. Posselt, U. An analyser for mandibular positions. J Prosthet Dent 1957; 7: 368-374.
36. Pröschel P, Morneburg T, Goeddecke U. Okklusale Fehler bei Mittelwerteinstellung im Artikulator. Zahnärztl Mitt 1995; 18: 2105-2110.
37. Reiber T, Dickbertel J. Zur Lage der Scharnierachsenpunkte. Dtsch Zahnärztl Z 1988; 43: 194-198.
38. Reiber T, Schilling HAT, Behneke N. Über die Reproduzierbarkeit der Modellmontagen nach der "Lauritzen-Technik". Dtsch Zahnärztl Z 1985; 40: 92-95.
39. Schilling HT. Klinische Versuche zur Reproduzierbarkeit der Scharnierachsenlokalisation. Dtsch Zahnärztl Z 1983; 38:679-680.

40. Seiler F, Hupfauf L. Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit der terminalen Scharnierachsenpunkte. Dtsch Zahnärztl Z 1973; 28:775–780.

41. Sörgel W, Körber E. Okklusale Differenzen bei fehlregistrierten Scharnierachsenpunkten. Dtsch Zahnärztl Z 1978; 33: 445.

42. Teteruck WR, Lundeen HC. The accuracy of an ear face–bow. J Prosthet Dent 1966; 16:1039-1046.

43. Utz KH, Duvenbeck H, Oettershagen K. Variation der terminalen Scharnierachsenposition bei verschiedenen Registriermethoden. Schweiz Mschr Zahnmed 1990; 100: 412-419.

44. Utz KH, Lehner B, Swoboda R, Duvenbeck H, Oettershagen K. Paraokklusale Achsiographie: Zur Lage der individuellen terminalen Scharnierachse bei Vollbezahnten. Zahnärztl Welt 1987; 8: 706-712.

45. Utz KH, Müller F, Bernard N, Hültenschmidt R, Kurbel R. Handbißnahme oder Stützstiftregistrierung zur Einstellung der sagittalen Kondylenbahnneigung bei Totalprothesenträgern? Zahnärztl Welt 1993; 11: 780-791

46. Von Hesler H, Hofmann m, Pröschel P. Geometrisch-mathematische Analyse von Übertragungsfehlern in den Artikulator und deren praktische Auswirkungen. Dtsch Zahnärztl Z 1977; 32: 599.

47. Weinberg LA. An evaluation of the face-bow mounting. J Prosthet Dent 1961; 11: 32-42.

48. Weinberg LA. The transverse hinge axis: Real or imaginary. J Prosthet Dent 1958;  
9: 775–787.

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn apl. Prof. Dr. Karl-Heinz Utz für die großzügige Überlassung des Dissertationsthemas. Es war mir eine Freude, unter seiner praktischen und geistigen Führung diese Arbeit durchzuführen.

Den Kollegen Dr. Diehter Reusch und Jochen Feyen sowie Herrn Rudolph Cramer möchte ich für die gedankliche und vor allem die technische Unterstützung bei der Entwicklung der Meßmethode danken.

Mein Dank gilt weiterhin der Firma Girrbach Dental, die mir freundlicherweise den Meßartikulator gebaut hat.

Herrn Mälzer der Firma Mälzer Dental danke ich für die großzügige Behandlung bei der Beschaffung des notwendigen Splitcast Systems.

Herrn Manfred Grüner danke ich für die stets schnelle Lösung meiner Software Probleme.

Ich danke meinen Eltern Helga und Helmut Loehr, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ich danke meiner Frau und meinen Kindern, die mir stets viel Geduld und Verständnis entgegengebracht haben.