

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Westdeutsche Kieferklinik

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Professor Dr. U. Stüttgen

Computerunterstützte Okklusionsanalyse
zur Symmetrie der okklusalen Kontaktpunktverteilung

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität

Düsseldorf

vorgelegt von

Markus Gauder

2010

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der

Medizinischen Fakultät der

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Univ.-Professor Dr. med. Joachim Windolf

Dekan

Referent: Univ.-Professor Dr. med. dent. Ulrich Stüttgen

Korreferent: Univ.-Professor Dr.med. Dr. med. dent. Thomas Beikler

Meiner Frau und meinen Kindern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Bedeutung der Okklusion	6
1.2	Literaturübersicht Okklusion	8
1.2.1	Okklusionstheorien	8
1.2.1.1	Klinische Möglichkeiten zur Darstellung der Okklusion	10
1.2.1.2	Klinische Studien mittels Okklusionsfolien.....	11
1.2.1.3	Klinische Studien mittels Silikon oder Alginat	13
1.2.1.4	Klinische Studien mittels Wachs.....	15
1.2.1.5	Klinische Studien mit dem T-Scan System.....	15
1.3	Studien zur Symmetrie der okklusalen Kontaktpunktverteilung	17
2	Problemstellung	18
3	Material und Methoden.....	20
3.1	Vorversuche	20
3.2	Probanden	20
3.3	Materialien, Geräte und Software	20
3.4	Registrierung	25
4	Statistische Auswertung	29
4.1	Grundlagen für die Auswertung	29
4.2	Fehlende Werte	29

4.3	Statistische Verfahren.....	30
4.3.1	Deskriptive Statistik.....	30
4.3.2	Inferenzstatistik	30
5	Ergebnisse	33
5.1	Inferenzstatistik.....	33
5.2	Graphische Darstellungen	33
6	Diskussion.....	37
6.1	Vergleich der angewendeten Methode und der erzielten Ergebnisse mit denen vorangegangener Studien.....	40
6.2	Schlussfolgerung	51
7	Zusammenfassung.....	53
8	Literaturverzeichnis	54
9	Danksagung	59
10	Anhang.....	61

1 Einleitung

1.1 Bedeutung der Okklusion

Das Kausystem stellt mit seinen verschiedenen Komponenten eine sehr komplexe Funktionseinheit dar. Zu den Komponenten zählen die Zähne, die Kaumuskulatur, die Kiefergelenke und parodontale Strukturen. Eine entscheidende Rolle im Kausystem spielt die Okklusion, da sie das Zusammenspiel aller Komponenten des Kausystems integriert (Sessle 2005). Physiologische okklusale Kontaktbeziehungen verteilen die entstehenden Kaukräfte auf die Gesamtheit der vorhandenen Zähne, vermeiden Zahnwanderung sowie Elongation und erhalten die Bisslage.

Der Verlust okklusaler Strukturen oder ganzer Zähne kann kranio-mandibuläre Dysfunktionen verursachen (Kirveskari et al. 1989; Ciancaglini et al. 2002). Führt der Verlust okklusaler Strukturen zum Verlust vertikaler Stützzonen, kann dies als ein Risikofaktor für die Entstehung von strukturellen Veränderungen des Kiefergelenks angesehen werden (Schwenzer und Ehrenfeld 2000). Es gibt verschiedene Ursachen, die für das Fehlen okklusaler Strukturen verantwortlich sind. Die häufigste Ursache ist der Verlust von Zahnhartsubstanz bzw. ganzer Zähne, der durch Karies, eine der häufigsten Zivilisationskrankheiten, bedingt ist (Lehmann et al. 2008).

Durch die Restauration der verlorenen Zahnhartsubstanz oder durch den Ersatz ganzer Zähne ist es möglich, die Funktionsfähigkeit des Kausystems zu erhalten und kranio-mandibuläre Dysfunktionen vorzubeugen (Alexander 1996). Die Anwendung eines präventiven okklusalen Konzepts ist dabei entscheidend für die Vermeidung von Funktionsstörungen (Kirveskari et al. 1989). Es stehen verschiedene Möglichkeiten zur Restauration der fehlenden Zahnschubstanz oder ganzer Zähne zur Auswahl. Der Zahnarzt kann partiell zerstörte Zähne entweder direkt im Mund des Patienten mit Füllungs-materialien restaurieren oder er lässt nach Abformung und Kieferrelationsbestimmung eine Restauration bzw. einen Zahnersatz im Labor herstellen. Die Restaurationen müssen dabei mehreren wichtigen Anforderungen gerecht werden. Die Kaufunktion, die Ästhetik und die Phonetik stehen dabei im Vordergrund. Ziel der Zahnmedizin ist eine störungsfreie und funktionelle Integration von rekonstruierter Zahnschubstanz in das stomatognathe System. Da die Anzahl und die Lage der okklusalen Kontaktpunkte entscheidende Faktoren für die Kaeffizienz sind (Wang 1993), ist auch die genaue Kenntnis der statischen und dynamischen Okklusion Vorausset-

zung für die Herstellung qualitativ hochwertiger Restaurationen. Die Meinungen über die Anzahl und die Lage der erforderlichen Kontaktpunkte sind in der Literatur nicht einheitlich.

Die Darstellung okklusaler Kontakte erfolgt im Regelfall mittels farbiger Okklusionsfolien und kann als sogenanntes Okklusogramm notiert werden. Um die okklusalen Kontaktbeziehungen bei nahezu vollständig bezahnten Patienten an ein zahntechnisches Labor zu übermitteln, werden Durchbissregistrats als Mittel der Wahl bezeichnet (Borchers und Tschernitschek 2001). Sie werden entweder mithilfe von Wachs oder mit Registratsilikon angefertigt. Im Labor können dann Ober- und Unterkiefermodelle in Verbindung mit Hilfe des Registrats einartikuliert werden. Beide Methoden bergen Risiken: Beim Übertragen, bei der Lagerung und beim Transport von Wachs- und Silikonregistrats sind Dimensionsänderungen nicht ausgeschlossen. Im Jahr 1976 schreibt Boitel, dass bei der Herstellung von okklusal beteiligten Restaurationen, die Bissnahme zur vertikalen Kieferrelationsbestimmung die häufigste Fehlerquelle darstellt. Durch diesen Umstand muss die Restauration oft bis zur Zerstörung einer ästhetisch gestalteten Okklusalfäche eingeschliffen werden (Boitel 1976). Als problematisch kann bei der Bissregistrierung auch die Tatsache angesehen werden, dass zu verschiedenen Tageszeiten auch verschiedene okklusale Verhältnisse zu finden sind (Berry und Singh 1983). Eine weitere Möglichkeit, die Okklusion zu erfassen, ist T-Scan[®], ein System, mit dem die Okklusion elektronisch ermittelt werden kann (Fa. Tekscan, Boston, USA). Die Okklusion wird hierbei durch eine Sensorfolie erfasst und auf einem Bildschirm dargestellt. Bei dieser Methode kann allerdings keine genaue Aussage zur Lage der okklusalen Kontakte auf der Kaufläche des jeweiligen Zahnes gemacht werden (Freesmeyer 1991).

In Zusammenarbeit des Centrums für Angewandte Informatik (CIFT) unter der Leitung von Prof. Dr. Kordaß in Greifswald und der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität Düsseldorf, wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, die Okklusion virtuell zu analysieren.

1.2 Literaturübersicht Okklusion

Der zahnmedizinische Begriff Okklusion beschreibt jeden antagonistischen Kontakt der Oberkiefer- mit den Unterkieferzähnen. Weiter kann der Begriff Okklusion in die statische und dynamische Okklusion gegliedert werden (Motsch 1978; Schwenzer et al. 1994; Lotzmann 1998; Hugger et al. 2006; Reitmeier et al. 2006). Dabei beschreibt die statische Okklusion alle Kontakte, die beim Schlussbiss, d.h. ohne Unterkiefer-Bewegung entstehen. Die dynamische Okklusion beinhaltet alle Kontakte, die in Verbindung mit Unterkieferbewegungen entstehen. Als weitere Begriffe sind die habituelle, die zentrische und die maximale Okklusion zu nennen. Okklusale Kontakte, die beim gewohnheitsmäßigen Kieferschluss entstehen, werden als „Habituelle Okklusion“ bezeichnet. Okklusale Kontakte, die bei zentraler Kondylenposition entstehen, werden als „Zentrische Okklusion“ bezeichnet (Reitmeier et al. 2006). Nach Lehmann und Hellwig wird es als günstig angesehen, wenn die habituelle und die zentrische Okklusion identisch sind (Lehmann und Hellwig 1993).

1.2.1 Okklusionstheorien

In den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde von Payne und Lundeen ein Okklusionskonzept entwickelt, bei dem eine maximale Anzahl der okklusalen Kontaktpunkte gefordert wurde (zitiert n. Lotzmann 1998). Dieses Konzept wurde in den 80er Jahren von Thomas modifiziert, wobei sich die Anzahl der Kontaktpunkte weiter erhöhte (Thomas und Tateno 1982). Beide Konzepte stellen sich in Form einer theoretisch idealisierten bzw. einer optimalen Okklusion dar, wie sie dann auch für jegliche Art von Restaurationen gefordert wurde und auch heute noch in zahntechnischen Lehrbüchern zu finden ist. Bereits in den 70er Jahren wurde in einer klinischen Studie festgestellt, dass sich in der natürlichen Population keines dieser idealisierten Okklusionskonzepte wiederfindet (Helkimo 1974). Auch End zeigte bereits in den 70er Jahren, dass sich deutlich weniger Kontakte beim vollständig bezahnten Probanden abzeichnen als es von den bestehenden Konzepten gefordert wurde (End 2005). Andere klinische Studien zeigten, dass die Anzahl und die Lage der gefundenen okklusalen Kontaktpunkte stark variieren. So unterschiedlich bei diesen Studien die Methoden waren, so unterschiedlich sind auch deren Ergebnisse.



Abb. 1: Okklusionskonzept nach Payne und Lundeen (zitiert n. Lotzmann 1998)



Abb. 2: Okklusionskonzept nach PK Thomas (zitiert n. Lotzmann 1998)

1.2.1.1 Klinische Möglichkeiten zur Darstellung der Okklusion

Zur Darstellung der okklusalen Kontaktpunkte sind verschiedene Methoden in der zahnärztlichen Praxis gebräuchlich. Die wohl meist verbreitete Methode, ist sicherlich der Gebrauch von Farbfolien. Bei der Okklusionsdarstellung zu wissenschaftlichen Zwecken wurden unterschiedliche Methoden entwickelt und im Rahmen einiger Neuentwicklungen haben sich im Laufe der letzten Jahrzehnte auch elektronisch unterstützte Verfahren etabliert.

Battistuzzi et al. versuchten herauszufinden, welche Methode sich zur Darstellung und Auswertung okklusaler Kontaktflächen während der maximalen Okklusion (größtmöglicher Vielpunktkontakt bei gewohnheitsmäßiger Schlussbissstellung) am besten eignet. Für die Studie standen 9 Probanden (5 männlich und 4 weiblich) im Durchschnittsalter von 27 Jahren zur Verfügung. Alle Probanden hatten eine vollständige Bezahnung und waren frei von Kiefergelenksbeschwerden. Auf der Suche nach dem Material zur Darstellung der Okklusion wurde von Okklusionspapier und Folie abgesehen, da sie die Kontakte zu unsicher abzeichneten. Wachs kam als Registriermaterial nicht infrage, weil sich damit die Kontaktflächen nicht adäquat abgrenzen ließen. Lack wurde aus Gründen der Hygiene und der mangelnden Genauigkeit nicht verwendet. Für die Studie wurde schließlich Xantopren® (Fa. Heraeus Kulzer, 63450 Hanau) als Registrierungsmaterial verwendet. Die Registrierung wurde wiederholt an mehreren Tagen unter verschiedenen Zubeißkräften vollzogen, der erste Biss mit wenig und der zweite Biss mit maximaler Kraft. Die Probanden wurden bei den jeweiligen Bissen aufgefordert entweder leicht oder fest zuzubeißen. Später wurden die Register in einem speziellen Verfahren mit Silikon ausgegossen und dann ausgewertet. Als Ergebnis zeigte sich kein Unterschied der gewonnenen Daten, wenn sie durch verschiedene Untersucher erhoben wurden. Bei wenigen Probanden variierten Anzahl und Lage der Kontaktpunkte, wenn die Bisse der verschiedenen Tage miteinander verglichen wurden. Bei drei Personen konnte dies signifikant nachgewiesen werden. Silikon als Registriermaterial zeigte sich den Untersuchern in dieser Studie als ein sehr geeignetes Material zur Registrierung und Auswertung der Okklusion, da es durch seine Viskosität keine Verschiebungseffekte der Zähne verursachte und somit die Okklusion präzise dargestellt werden konnte (Battistuzzi et al. 1982).

1.2.1.2 Klinische Studien mittels Okklusionsfolien

Zur Darstellung der okklusalen Kontaktpunkte wurden verschiedene Methoden entwickelt. Am häufigsten wurden okklusale Kontaktpunkte bei klinischen Studien mit farbiger Okklusionsfolie dargestellt. Diese Folie wird zwischen die Ober- und Unterkiefer gebracht. Beim Zubiss drücken sich die Farbpigmente auf die Zahnoberfläche und können dann als Kontaktpunkte visuell erfasst werden. Ungünstig ist bei dieser Methode, dass sich die Farbpigmente auf feuchtem Untergrund schlechter abzeichnen als es auf trockenem der Fall ist.

Riise versuchte 1982 in einer klinischen Studie darzustellen, wie und ob sich eine Veränderung der Kontaktpunktzahl bei leichtem und festem Biss in verschiedenen Altersgruppen darstellt. Es wurden vier Probandengruppen erstellt, wobei die erste Gruppe (junge Erwachsene) aus 30 Probanden im Alter zwischen 19 und 29 Jahren bestand. In der zweiten Gruppe (Erwachsene) befanden sich 61 Probanden im Alter von 30 bis 69 Jahren. Die dritte Gruppe (Erwachsene C) bestand aus 27 Probanden im Alter von 30 bis 56 Jahren und in der vierten Gruppe (Erwachsene A) befanden sich 106 Probanden im Alter zwischen 23 und 69 Jahren. Zur Kontaktpunktdarstellung wurde eine 8 Mikrometer dünne Farbfolie verwendet. Die Untersuchung ergab, dass die Anzahl der Kontaktpunkte beim festen Biss im Vergleich zum leichten Biss mit hoher Signifikanz anstieg. Im Vergleich der Gruppe junger Erwachsener wurde beim leichten Biss eine signifikant kleinere Anzahl der Kontaktpunkte ermittelt als bei der Gruppe der Erwachsenen. Beim festen Biss konnte zwischen diesen Gruppen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Riise 1982). In einer anschließenden Studie im Jahr 1983 untersuchte Riise zusammen mit Ericsson, ob sich ein Unterschied bezüglich der Kontaktpunktverteilung bei der habituellen Okklusion und beim festen Biss darstellen lässt. Es wurde eine Einteilung der Probanden in 3 Gruppen unternommen. Die erste Gruppe (junge Erwachsene) bestand aus insgesamt 30 Probanden im Alter zwischen 19 bis 29 Jahren (20 weiblich und 10 männlich). In der zweiten Gruppe (Erwachsene) befanden sich 63 Erwachsene im Alter zwischen 30 bis 58 (23 weiblich und 40 männlich). Eine dritte Gruppe (Erwachsene A) bestand aus 106 Probanden im Alter zwischen 23 bis 69 Jahren (42 weiblich und 64 männlich). Alle Probanden hatten ein vollständiges, kariesfreies Gebiss. Die Kontaktpunkte wurden mit einer 8 Mikrometer dünnen Farbfolie dargestellt. Zur Auswertung wurden

die Zähne in drei Gruppen eingeteilt: Frontzähne, Prämolaren und Molaren. In allen Zahngruppen fand sich eine höhere Anzahl der Kontakte beim festen Biss im Vergleich zum leichten Biss. Die Erhöhung der Kontaktpunkte war beim festen Biss am größten im Frontzahnbereich. Die Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte bei leichtem und festem Biss zeigte keinen Unterschied bezüglich der Kontaktpunktgesamtzahl. Ein Unterschied bei der Symmetrie der Kontaktpunktverteilung konnte nicht gezeigt werden. In den Fällen, wo eine größere Kontaktzahl auf einer Seite vorlag, änderte sich die Verteilung nicht signifikant, wenn leicht oder fest zugebissen wurde (Riise und Ericsson 1983). Aufgrund seiner Ergebnisse aus dieser Studie ist Riise der Meinung, dass bei der Rekonstruktion von okklusalen Bereichen bei leichtem Biss genauso viele Kontakte wie beim harten Biss vorliegen müssen. Er hält die Stabilität der Okklusion für wichtiger als das Streben nach einer hohen Anzahl okklusaler Kontakte und fordert bei der Restauration okklusaler Flächen eine Okklusionskontrolle bei leichtem und bei festem Biss.

McDevitt beschränkte seine Untersuchung auf Probanden, die mindestens 24 Zähne und eine physiologische Okklusion aufwiesen. Bei keinem seiner 38 Probanden konnte eine symmetrische Kontaktpunktverteilung gefunden werden, wie sie bei theoretischen Okklusionsmodellen gefordert wird. Es zeigte sich im normal funktionierenden Gebiss beidseitig nur eine geringe Kontaktpunktzahl im posterioren Bereich. Nach seiner Untersuchung war McDevitt der Meinung, dass zu diesem Thema weitere Studien notwendig sind (McDevitt und Warreth 1997).

Anderson und Meyers nahmen in einer Studie von 32 erwachsenen Probanden im Alter zwischen 20 und 59 Jahren Alginatabformungen und ein Wachsregistrat. Ihre Probanden hatten ein vollständiges Gebiss, was jedoch einige Füllungen bzw. fest-sitzende Restaurationen beinhalten durfte. Das Vorhandensein von Weisheitszähnen war nicht von Bedeutung, da sie nicht mit ausgewertet wurden. Sie ließen von den Alginatabformungen Gipsmodelle anfertigen, um diese dann mithilfe des Wachsregistrats in einen Artikulator zu bringen. Im Artikulator wurde dann die Okklusion mit Farbfolie ermittelt und ausgewertet. Das Ergebnis der Studie war, dass auch hier keine „ideale Okklusion“ gefunden wurde und dass viele Frontzähne keinen antagonistischen Kontakt haben. Zur symmetrischen Verteilung der Kontaktpunkte wurde keine Aussage gemacht (Anderson und Myers 1971).

1.2.1.3 Klinische Studien mittels Silikon oder Alginat

Einige Studien benutzten zur okklusalen Kontaktpunktdarstellung Silikoneinbisse bzw. Bissregistrare. Bei dieser Vorgehensweise beißt der Proband auf ein niedrig visköses Silikon, das dann im Munde des Probanden aushärtet.

Woda ermittelte die okklusalen Kontakte bei 22 erwachsenen Probanden mit kariesfreiem und vollständigem Gebiss. Bei dieser Studie wurde vom Probanden ein Bissregistrat mit Silikon genommen, welches dann visuell ausgewertet wurde. Alle perforierten Bereiche bezeichnete man als sog. „Suprakontakte“ und sehr dünne durchsichtige Bereiche als „Kontakt“. Als Ergebnis zeigte sich eine asymmetrische Kontaktpunktverteilung und die Anzahl der Kontaktpunkte war bei dieser Studie deutlich geringer als sie von den Okklusionstheorien gefordert werden (Woda et al. 1987).

Korioth untersuchte die Okklusion bei 54 erwachsenen Probanden mit physiologischer Dentition. Er benutzte für das Bissregistrat Alginat-Abformmasse und wertete perforierte Bereiche als okklusalen Kontakt. Er kam zu dem Ergebnis, dass die Anzahl und die Lage der okklusalen Kontakte von der geforderten „guten Okklusion“ (Beyron 1969) in den meisten Fällen erheblich abweichen (Korioth 1990).

Kumagagi et al. entwickelten ein Verfahren, mit dem okklusale Kontaktbeziehungen bei unterschiedlichen Bisskräften beurteilt werden können. Es standen 13 männliche und 3 weibliche voll bezahnte Probanden zur Verfügung. Keiner der Probanden wies craniomandibuläre Dysfunktionen auf. Die gewünschten Bisskräfte wurden durch elektromyografische Aufzeichnungen kontrolliert. Jeder Proband unterzog sich fünf aufeinanderfolgenden Bissen mit unterschiedlicher Kraft. Es wurden jeweils Bisse bei 20%, 40%, 60%, 80% und 100% der maximalen Bisskraft genommen. Als Registriermaterial wurde bei dieser Studie ein Polyether verwandt. Die Auswertung bezog sich auf die Kontaktstärke, Kontaktlage und die Veränderung der Kontaktpunktverteilung bei unterschiedlicher Krafteinwirkung. Zur Auswertung wurde eine Einteilung in fünf Regionen unternommen, nämlich in eine Region anteriorer Zähne, jeweils eine rechte und linke Prämolarenregion und jeweils eine rechte und linke Molarenregion. Als Ergebnis zeigte sich eine Veränderung der Kontaktpunkte am deutlichsten in der Molarenregion, gefolgt von der Prämolarenregion. Die kleinsten Veränderungen zeigten

sich in der anterioren Region. Die Studie zeigte, dass die Anzahl okklusaler Kontaktpunkte linear zur Bisskafterhöhung ansteigt (Kumagai et al. 1999).

Millstein stellte fest, dass es dem Zahnarzt an sicheren Systemen zur dauerhaften bzw. lagerfähigen Okklusionserfassung mangelt. Er entwickelte eine dreidimensionale Methode zur Erfassung der Okklusion. Da es Millstein hauptsächlich um die Entwicklung einer reproduzierbaren Methode selbst und nicht um die okklusalen Kontaktbeziehungen ging, beschränkte er sich bei der Auswertung auf die zweiten Prämolaren und die ersten Molaren der linken Seite der Probanden. Aufgrund des geringen Widerstandes beim Zubeissen und der schnellen Aushärtung wurde Silikon als Registriermaterial verwendet. Der Silikoneinbiss wurde für die Kalibrierung in einem Artikulator benötigt, mit dessen Hilfe dann drei Registrate aus Acryl-Harz hergestellt wurden. Alle Registrate wurden in einer Lichtbox von der Unterseite beleuchtet und fotografiert. Die Filme wurden mit einem Mikrodensitometer digitalisiert und mit einem Computer ausgewertet. Dieses Verfahren stellte sich in der Studie als eine qualitativ hochwertige, reproduzierbare Methode zur Darstellung und Archivierung der Okklusion dar (Millstein 1984).

Gurdsapsri et al. versuchten in einer Studie herauszufinden, welche Auswirkung unterschiedliche Bisskräfte auf die okklusalen Kontaktbeziehungen bzw. die Kontaktfläche in den verschiedenen Regionen der Zahnbögen haben. Dabei untersuchten sie 25 Probanden (12 weibliche und 13 männliche) im Alter zwischen 24 bis 32 Jahren. Alle Probanden waren gesund und hatten eine intakte Bezahnung. Patienten mit Kiefergelenksbeschwerden wurden von der Studie ausgeschlossen. Bei jedem Probanden wurden jeweils vier Bissregistrate aus Silikon angefertigt, wobei mit verschiedenen Kräften zugebissen wurde. Biss 1 erfolgte bei 10%, Biss 2 bei 30%, Biss 3 bei 70% und Biss 4 bei 100% der maximalen Bisskraft. Während der Bissregistrierung wurde die Bisskraft mittels Elektromyografie gemessen. Die Auswertung der Silikoneinbisse erfolgte in einem Durchlichtverfahren. Ein Kalibrierungsmuster, welches eine Stärke von 50 Mikrometer hatte, ermöglichte das Erfassen und die Auswertung von Kontakten. Die Zähne wurden zur Auswertung in Gruppen eingeteilt, nämlich in Frontzähne, Prämolaren und Molaren. Als Ergebnis konnte in dieser Studie signifikant gezeigt werden, dass die Kontaktpunktfläche der Prämolaren und der Molaren mit der Bisskraft positiv korreliert, eine Erhöhung der Bisskraft also zu einer

Vergrößerung der Kontaktpunktfläche führt. Diese Korrelation konnte im Frontzahn-bereich nicht gefunden werden. Bezüglich der symmetrischen Kontaktpunktverteilung wurden in der Studie keine signifikanten Unterschiede im Prämolaren-und Molaren-bereich auf der rechten und linken Seite aufgefunden (Gurdsapsri et al. 2000).

1.2.1.4 Klinische Studien mittels Wachs

Ehrlich machte eine Studie zur Kontaktpunktverteilung mit 29 Probanden, bei denen eine Angle Klasse 1, vollständige Bezahnung und keine parodontalen Erkrankungen vorlagen. Als Registriermaterial verwendete er Wachs, auf das die Probanden bei-sen mussten. Bei der Auswertung wurden drei Kontaktarten unterschieden: Ein per-forierter Wachsbereich zeichnete einen Suprakontakt, transluzentes Wachs einen repräsentativen Kontakt und dünnes Wachs einen sich annähernden Kontakt aus. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass der erste untere Molar bei Probanden die meisten Kontaktpunkte aufwies. Eine morphologisch ideale Okklusion fand er bei keinem der Probanden (Ehrlich und Taicher 1981).

1.2.1.5 Klinische Studien mit dem T-Scan System

Mit dem T-Scan® System können okklusale Kontaktpunkte elektronisch erfasst wer-den. Während der Proband auf eine Sensorfolie beisst, werden die Kontaktpunkte auf einem Bildschirm dargestellt. Klinische Untersuchungen zur Qualität bzw. die Reproduzierbarkeit dieser Art von Kontaktpunktermittlung zeigten sehr unterschiedli-che Ergebnisse.

Freesmeyer untersuchte die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Kontaktpunk-ten, die mit T-Scan® ermittelt wurden, im Vergleich zu einer herkömmlichen Darstel-lung mit Okklusionsfolie. Er führte die Studie an 15 prothetisch unversorgten Probanden mit vollständigen Gebissen durch. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass sowohl in der Lokalisation als auch in der Häufigkeit und dem Auftreten von okklusalen Kontakten nur eine Übereinstimmung von 50% bestand. Die Reprodu-zierbarkeit der okklusalen Kontakte zeigte eine Übereinstimmung von nur 70% und war als nicht überzeugend anzusehen (Freesmeyer 1991).

Garrido Garcia et al. verwendeten eine neuere Version des T-Scan® und untersuch-ten 18 erwachsene Probanden im Alter zwischen 28 und 50 Jahren. Zugelassen

wurden nur Probanden mit physiologischer Vollbezahnung. Von jedem der Probanden wurde viermal die Okklusion mit T-Scan® bei maximaler Interkuspitation erfasst. Bei dieser Studie zeigte sich, dass die Variabilität zwischen den einzelnen Probanden größer war, als die Variabilität innerhalb der Probanden. Bei dem Vergleich der vier Bisse innerhalb einzelner Probanden, stimmten die Werte in 90,3% überein. Als Ergebnis zeigte sich, dass sich das T-Scan® zur Beurteilung der Okklusion gut eignet. Bei dieser Studie fand sich die höchste Anzahl der Kontakte bei den zweiten Molaren und die geringste bei den unteren mittleren Inzisiven. Auch in dieser Studie zeigte sich eine deutliche Abweichung zu der geforderten Anzahl der okklusalen Kontaktpunkte (Garrido Garcia et al. 1997).

Gonzales Sequeros et al. (selbes Team wie bei Garrido Garcia) untersuchten die Variabilität der Kontaktpunktdarstellung innerhalb einzelner Probanden bei der Anwendung von T-Scan®. Auch bei dieser Studie standen 18 Probanden im Alter zwischen 28 und 50 Jahren zur Verfügung. Vermutlich waren es dieselben Probanden wie bei der vorherigen Studie. Von jedem Probanden wurde die Okklusion viermal bei maximaler Interkuspitation mit T-Scan® erfasst und ausgewertet. Die Weisheitszähne wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass die Kontaktdarstellungen innerhalb der vier Bisse außer bei drei Zähnen keine signifikanten Unterschiede aufwiesen. Die höchste Anzahl der Kontaktpunkte zeigte sich auch hier bei den zweiten Prämolaren. Insgesamt befanden Gonzales Sequeros et al. das T-Scan® als eine einfach zu handhabende Möglichkeit die okklusalen Kontaktpunkte reproduzierbar darzustellen (Gonzalez Sequeros et al. 1997).

Maness und Podoloff führten ebenfalls eine Studie mit dem T-Scan® System durch. Ihnen standen 93 erwachsene Probanden mit kompletter natürlicher Dentition zur Verfügung. Die einzelnen Bisse wurden aufrecht sitzend, mit „normalem Kaudruck“ durchgeführt. Als Ergebnis befanden Maness und Podoloff, dass das T-Scan-Gerät Daten zur Kontaktpunktverteilung liefert, die mit den Daten alternativer Methoden vergleichbar sind. Als weiteres Ergebnis zeigte sich, dass die Verteilung im gesunden Gebiss symmetrisch vorliegt (Maness und Podoloff 1989).

1.3 Studien zur Symmetrie der okklusalen Kontaktpunktverteilung

Ciancaglini et al. wollten in einer Studie herausfinden, ob einseitige Funktionsstörungen des Kiefergelenks mit einer asymmetrischen Kontaktpunktverteilung assoziiert sind. Es standen insgesamt 15 Probanden (8 weiblich und 7 männlich) im Alter zwischen 19 und 26 Jahren zur Verfügung. Bei allen Probanden lag eine vollständige Dentition vor, gelegentlich hatten sie auch Weisheitszähne. Die Okklusion war bei allen Probanden physiologisch und normal. Gesundes Parodontium, Angle Klasse 1 und gute Mundhygiene waren weitere Kriterien, um an dieser Studie teilnehmen zu können. Als Ergebnis der Studie zeigte sich eine schwache Assoziation zwischen einseitigen Funktionsstörungen des Kiefergelenks und einer asymmetrischen Kontaktpunktverteilung. Sowohl bei Probanden mit einseitigen Funktionsstörungen des Kiefergelenks als auch bei gesunden Probanden schien das Ausbleiben einer symmetrischen Verteilung der Kontaktpunkte eher die Regel als eine Ausnahme zu sein. Allerdings zeigte sich bei den Probanden mit einseitigen Funktionsstörungen des Kiefergelenks eine relativ größere Asymmetrie der okklusalen Kontakte (Ciancaglini et al. 2003).

Hidaka et al. untersuchten bei 12 Probanden die okklusalen Beziehungen hinsichtlich zweier Faktoren: 1. Sie versuchten Veränderungen der okklusalen Beziehungen bei verschiedenen Kraftaufwendungen (30%, 60% und 100% der Bisskraft) darzustellen. 2. Mögliche Abhängigkeiten zwischen der bevorzugten Kauseite und der Symmetrie der Kontaktpunktverteilung sollten aufgezeigt werden. Gemessen wurde bei dieser Studie nicht die Anzahl, sondern die Gesamtfläche der okklusalen Kontaktpunkte auf der jeweiligen Seite. Bei den Probanden handelte es sich um 9 Männer und 3 Frauen mit kompletter Dentition im Alter zwischen 20,4 und 30,3 Jahren. Die 3. Molaren wurden nicht mit ausgewertet. Als Messinstrumente wurden zwei Produkte der Firma verwandt, der Prescale Film[®] (Fa. Fuji, Tokyo, Japan) zur Darstellung der Kontaktpunkte und der Dental Pressuregraph[®] zur Bestimmung der Kaukraft. Die Untersuchung ergab, dass die Symmetrie der Kontaktpunktverteilung proportional zur Erhöhung der Bisskraft anstieg. Auf der jeweils bevorzugten Kauseite der Probanden konnte bei den Bissen mit 30% und 60% der Kaukraft signifikant größere Kontaktpunktgesamtflächen und höhere Kaukräfte im Vergleich mit der nicht bevorzugten Seite ermittelt werden. Bei dem Biss mit 100% der maximalen Kaukraft konnten die

Phänomene bezüglich der Symmetrie nicht signifikant nachgewiesen werden. Ein weiteres Ergebnis der Studie war ein signifikanter Anstieg der okklusalen Gesamtkontaktfläche proportional zur Erhöhung der Kaukraft bzw. Bisskraft. (Hidaka et al. 1999)

Athanasious et al. untersuchten die Reproduzierbarkeit von okklusalen Beziehungen, nach der Datenerfassung durch verschiedene Behandler. Als Probanden standen 9 Frauen und 11 Männer zur Verfügung, die folgenden Kriterien entsprachen: Bei allen Probanden lag eine vollständige Bezahnung und Neutralbiss vor. Weitere Voraussetzungen waren gesundes Parodontium, keine Kiefergelenksbeschwerden und keine Anzeichen von okklusalen Abrasionen. Die okklusalen Beziehungen wurden mit der Foto Okklusions-Technik erfasst und ausgewertet. Bei diesem System werden die okklusalen Kontaktpunkte mit Hilfe eines optischen Systems bzw. der Doppelbrechung ausgewertet. Es konnten keine signifikanten Unterschiede bei der Datenerfassung durch verschiedene Untersucher ermittelt werden. Als weiteres Ergebnis zeigte die Studie eine symmetrische Verteilung der Kontaktpunkte und es wurden keinerlei signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen festgestellt (Athanasiou et al. 1989).

Hu et al. führten eine Studie zur Symmetrie der okklusalen Kontaktpunktverteilung durch. Es wurden 123 Probanden mit normaler intakter Bezahnung mit dem T-Scan-System untersucht. In dieser Studie konnte keine statistische Differenz bezüglich der Kontaktpunktzahl beider Seiten aufgezeigt werden (Hu et al. 2006). Leider war diese Studie nur in Form eines Abstracts zu lesen, der vollständige Originaltext ist in chinesischer Sprache verfasst.

2 Problemstellung

Mit den heute zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Darstellung der statischen Okklusion ist eine genaue quantitative Erfassung und Dokumentation der antagonistischen Kontaktpunkte schwierig. Über die Anzahl, die Lage und die symmetrische Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte finden sich in der Literatur und in vorangegangenen Studien sehr widersprüchliche Angaben. In allen klinischen Studien zeigte sich jedoch, dass die Anzahl der Kontaktpunkte im physiologischen Gebiss deutlich geringer ist als sie von den Okklusionstheoretikern gefordert wird. Über die symmet-

rische Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte findet sich die geringste Übereinstimmung in der Literatur. Es stellt sich die Frage, wie viele okklusale Kontakte braucht ein Mensch? Weiterhin ist von Interesse, wo diese Kontakte zu finden sind und ob eine symmetrische Verteilung vorliegt.

Letztlich soll ein Verfahren zur sicheren okklusalen Kontaktpunktdarstellung entwickelt werden. Das zu entwickelnde Verfahren sollte in der Lage sein, die gesamte individuelle okklusale Morphologie und deren antagonistische Beziehungen mit hoher Präzision zu erfassen und über eine Digitalisierung „computerfähig“ zu machen.

Grundidee der vorliegenden Studie ist, Möglichkeiten aus der CAD-CAM-Technologie für die okklusale Kontaktpunkterfassung nutzbar zu machen.

3 Material und Methoden

3.1 Vorversuche

Für die Vorversuche standen zwei voll bezahnte Probanden zur Verfügung, die für die spätere Studie selbstverständlich ausgeschlossen wurden. Zunächst beschränkten sich die Versuche auf die notwendige Oberflächenbeschaffenheit der Bissgabeln, um diese optimal einscannen zu können. Dieser Schritt war sehr wichtig, da die Referenzbohrungen der Bissgabeln für die Genauigkeit der Studie von großer Bedeutung waren. Bei der Anpassung der Bissgabeln im Mund zeigte sich, dass die Aluminiumgabeln in gegossener Ausführung nicht geeignet waren, da sie beim Auseinanderbiegen brachen. Mit Bissgabeln, die aus exakt 4mm starkem Aluminiumblech hergestellt wurden, funktionierte die Anpassung einwandfrei. Im Rahmen der Vorversuche wurden unter Anwendung der neuen Gabeln 12 Bisse angefertigt, die dann reproduzierbare Ergebnisse lieferten.

3.2 Probanden

In der Studie wurden 21 Probanden mit mind. 28 kariesfreien Zähnen und Angle Klasse 1 im Alter zwischen 19 und 33 Jahren untersucht. Bei den Probanden handelte es sich um 12 weibliche und 9 männliche Personen. Kieferorthopädische Vorbehandlung, Bruxismus und Abrasionsgebiss führten zum Ausschluss.

3.3 Materialien, Geräte und Software

In Verbindung mit dem Centrum für Angewandte Informatik in Greifswald (Prof. Dr. Kordaß) wurde ein System entwickelt, mit dem die Okklusion in Form eines Bissregistrates eingelesen werden kann. Als Registriermaterial kam nur ein Material infrage, das sich von einem 3D-Laser-Scanner, wie er üblicherweise in der CAD-CAM-Technologie verwendet wird, einlesen lässt. Das gesuchte Material musste dimensionsstabil und sehr präzise sein. Ein scanbares, additionsvernetztes Silikon war das ideale Registrierungsmaterial. Futar-Scan® (Fa. Kettenbach, 35713 Eschenburg) erfüllte alle Ansprüche, da es zum Scannen von Bissregistraten in der CAD-CAM-Technologie entwickelt wurde. Um mögliche Qualitätsunterschiede beim Silikon zu vermeiden, die produktionsbedingt auftreten können, wurde nur Futar-Scan® aus einer Charge verwendet (Lot. 70021).

Da ein Silikoneinbiss an sich zu instabil ist und für eine reproduzierbare Kieferrelation definierte und stabile Projektionspunkte erforderlich sind, wurde zusätzlich eine Bissgabel aus einer Aluminiumlegierung (AlMg3, DIN 3.3535) entwickelt, welche während der Bissnahme um die Zahnreihe gelegt wurde.

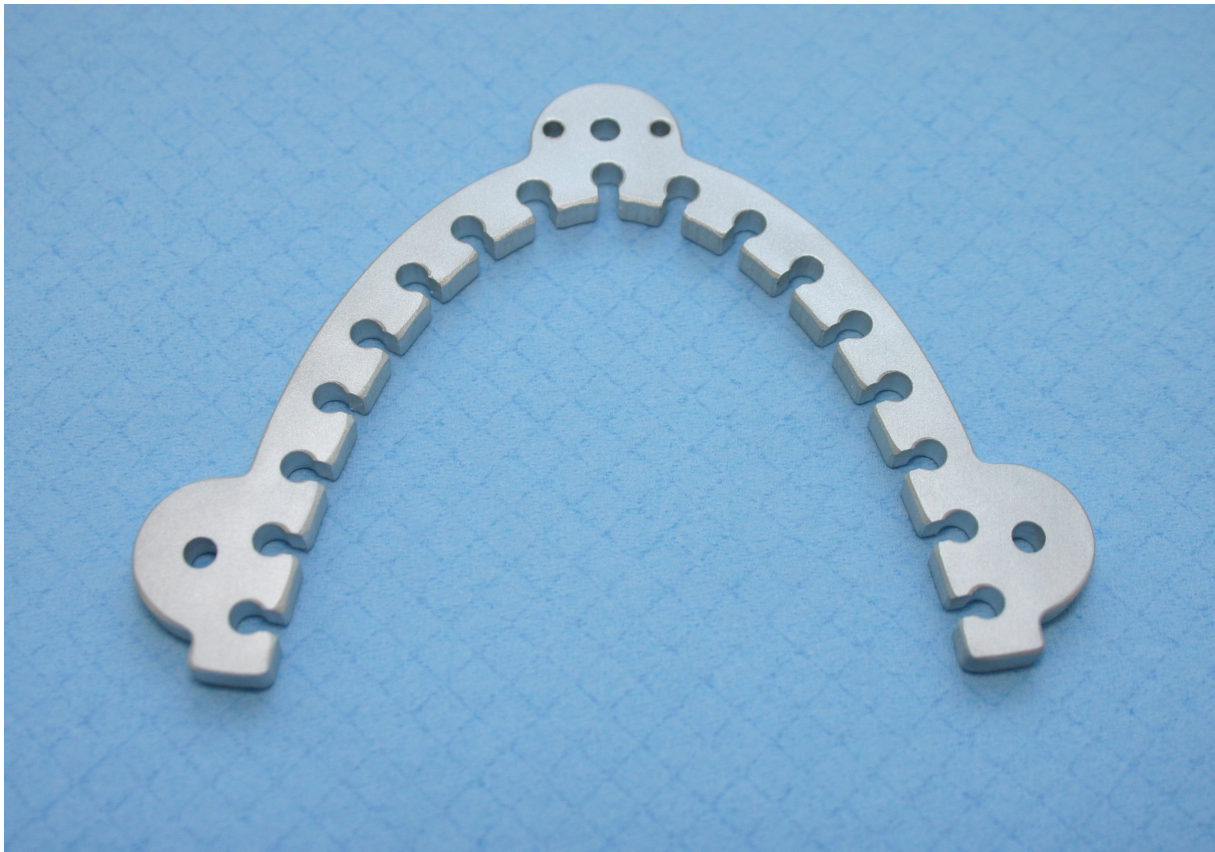


Abb. 3 Selbstentwickelte Aluminium-Bissgabel

Mit dieser Bissgabel konnten alle notwendigen Eigenschaften für das beidseitige Einscannen eines Silikoneinbisses erzielt werden. Das Silikon wurde durch die Retentionen der Bissgabel fixiert und stabilisiert. Durch drei vestibulär gelegene Bohrungen von exakt 3 mm Durchmesser und einer definierten Gabelstärke von 4 mm war es nun möglich, die okklusalen Strukturen von Ober- und Unterkiefer beidseitig zu scannen. In den Vorversuchen zeigte sich, dass sich eine sandgestrahlte Oberfläche der Aluminiumgabel als äußerst vorteilhaft auf den Scannerfolg auswirkte. Die Aluminiumgabeln wurden mit einem Aluminiumoxid (Fa. Harnisch und Rieth, 73650 Winterbach) der Korngröße 120 µm abgestrahlt. Die skelettierte Form war notwendig, um die Bissgabel durch einfaches Verbiegen in horizontaler Ebene an jede beliebige Kiefergröße anpassen zu können, ohne dass eine Torsion entstand.



Abb. 4 Aluminium-Bissgabel mit Silikoneinbiss

Die Silikoneinbisse wurden in einem Scanner Activity 101[®] (Fa. Smartoptics, 44795 Bochum) mit zwei Schrauben an den dafür vorgesehenen Bohrungen rechts und links neben der anterioren Referenzbohrung befestigt und dann gescannt. Dieser Scanvorgang wurde sowohl von der Unterkiefer- als auch von der Oberkieferseite gemacht und als digitaler Datensatz (Dateiformat STL) als Dreiecksnetz gespeichert. Die Genauigkeit beim Scanvorgang liegt laut Hersteller bei weniger als 20 Mikrometer. Zur virtuellen Bearbeitung und Auswertung der Daten wurde im Centrum für Angewandte Informatik (Greifswald) eine Software entwickelt, die eine vertikale Annäherung von Ober- und Unterkiefer virtuell zulässt. Diese virtuelle Darstellung erfolgt mit einer Präzision, wie man sie aus der CAD-CAM-Technologie kennt. Die Software erlaubt ein mikrometergenau einstellbares, vertikales Annähern von Ober- und Unterkiefer.

Um die Funktionsweise der Software zu veranschaulichen, wird in der Abb. 5 aus seitlich dreidimensionalen Ansicht gezeigt, wie sich der Oberkiefer (rot) und der Unterkiefer (blau) virtuell in vertikaler Richtung annähern bzw. entfernen lassen. In diesem Fall sind die Kiefer zur Demonstration im Bereich der Okklusion exakt 3,14 mm voneinander entfernt.

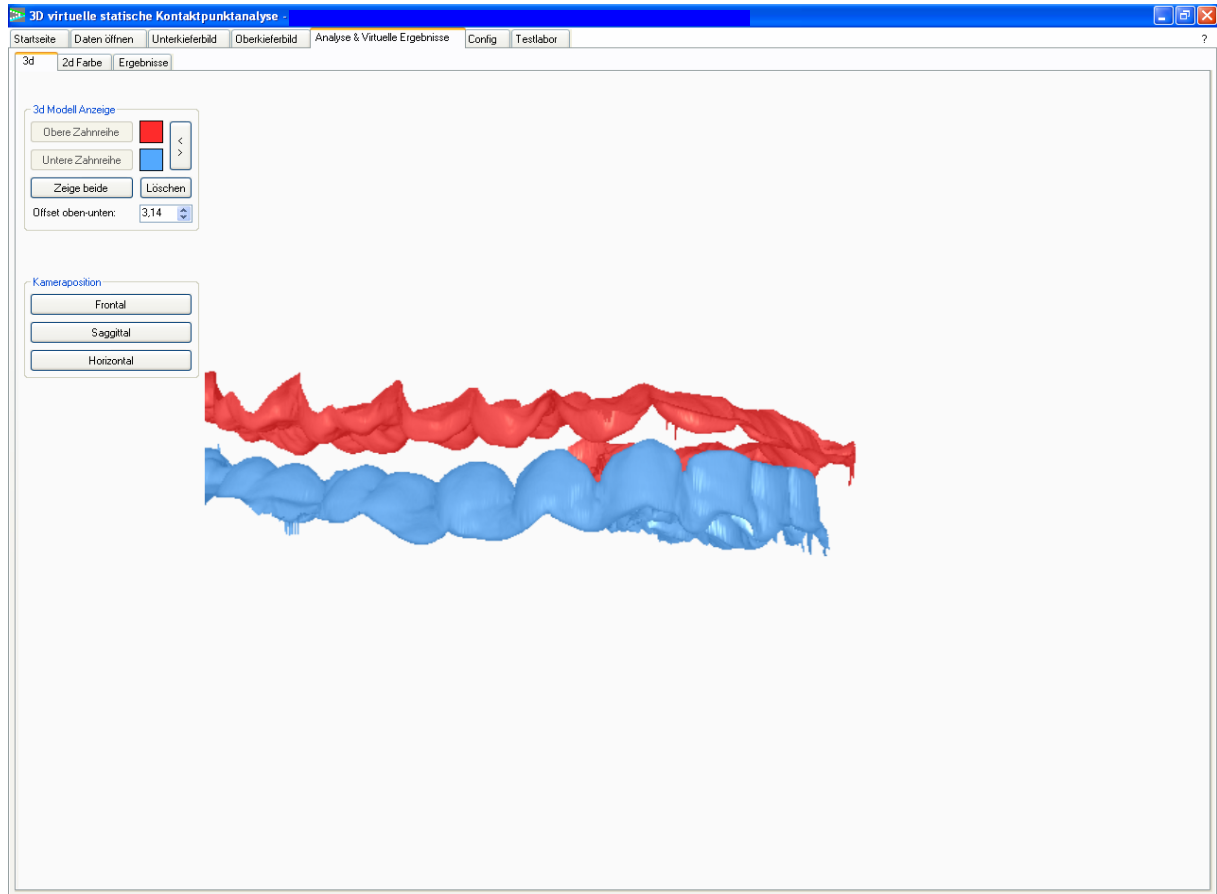


Abb. 5: Screenshot zur Veranschaulichung der Softwarefunktionen (laterale Ansicht);
Quelle: CIFT (Centrum für Angewandte Informatik, Greifswald)

In der Abb. 6 wird aus okklusaler Ansicht gezeigt, wie der Ober- und Unterkiefer virtuell in Okklusion gebracht werden können. In diesem Fall wurde der Oberkiefer (rot) virtuell mit dem Unterkiefer (blau) verschmolzen, da über die „Offset-Funktion“ ein negativer Bereich eingestellt wurde (- 0,1mm).

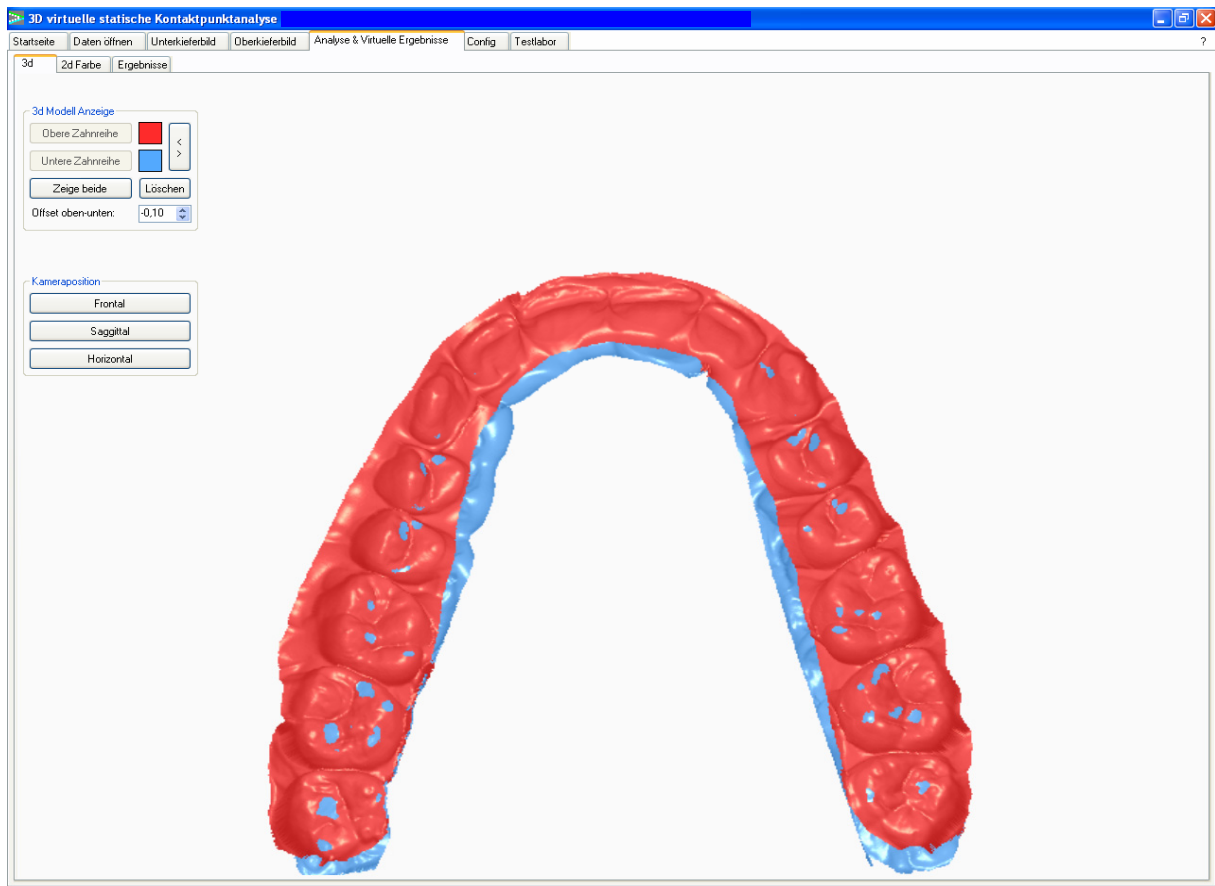


Abb. 6: Screenshot zur Veranschaulichung der Softwarefunktionen (okklusale Ansicht), Quelle: CIFT (Centrum für Angewandte Informatik, Greifswald)

In der Software wird das vom Scanner erzeugte Dreiecksnetz in ein Höhenfeld überführt. Das Dreiecksnetz besitzt krumme Koordinaten in x-, y-, und z-Richtung. Z ist die Höhe, x und y spannen die Grundfläche auf. Bei einem Höhenfeld wird in den Koordinaten x und y ein Gitter aufgespannt, in dessen Knoten die Höhenwerte z gespeichert werden. Man kann dieses Gitter als Bild interpretieren. Hohe Werte sind hell dargestellte Pixel, niedrige Werte sind dunkel dargestellte Pixel. Mit den entstandenen Grauwertbildern (Abb. 7) lassen sich 3D-Bilder auf zwei Dimensionen beschränken und erlauben ein relativ einfaches Auswerten der 3D-Daten. Die so entstandenen Bilder der entsprechenden Okklusionsflächen von Ober- und Unterkiefer konnten mit der Software und durch die Referenzbohrungen virtuell in Okklusion gebracht werden. Jede so entstandene Datei konnte dann als sogenanntes „Projekt“ gespeichert und ausgewertet werden.

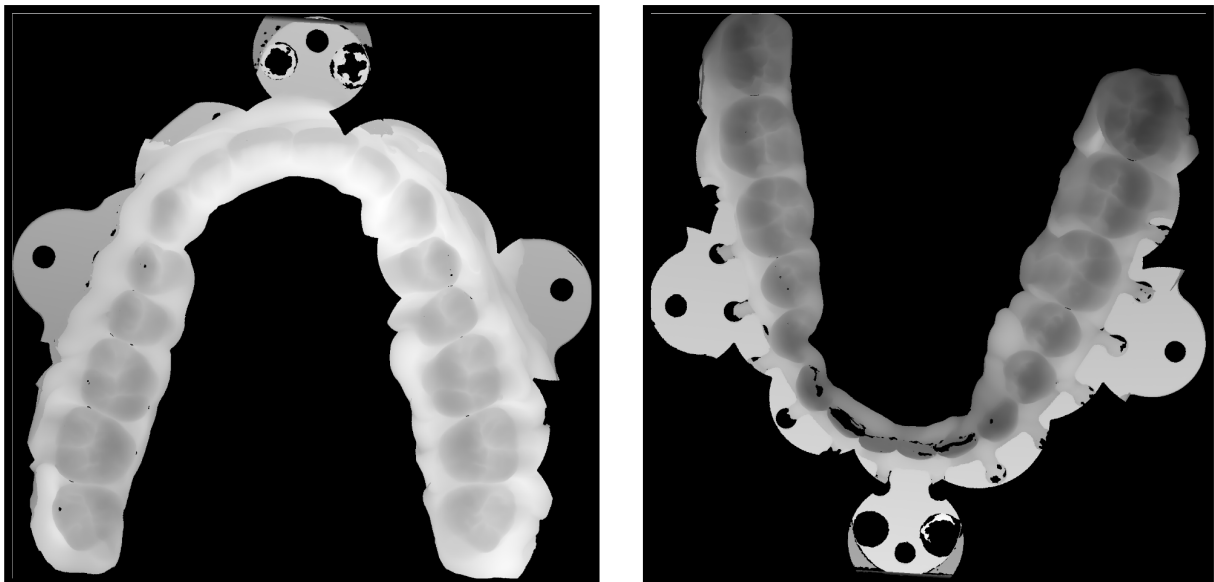


Abbildung 7: Grauwertbilder Oberkiefer (links), Unterkiefer (rechts). Quelle: CIFT (Centrum für Angewandte Informatik, Greifswald)

3.4 Registratnahme

Alle Probanden nahmen während der Bissnahme eine sitzende Position ein, wobei die Frankfurter Horizontale parallel zum Boden ausgerichtet wurde. Bei jedem Probanden erfolgten jeweils vier Bissnahmen. Bevor die Registrierung mit dem Silikon erfolgte, wurde jedem der Probanden die Aluminiumbissgabel vestibulär um den un-

teren Zahnbogen gelegt. Die ersten drei Bissnahmen wurden erst gemacht, nachdem der Proband zehnmal nacheinander auf eine Shimstockfolie gebissen hat und zwar mit einer Krafteinwirkung, bei der sich die Folie unter Zugkraft gerade noch herausziehen ließ. Dieser Ablauf war notwendig, um bei jedem Probanden etwa die gleiche Krafteinwirkung bei den Bissnahmen zu erzielen. Dadurch sollten vergleichbare Daten gewonnen und der Versuch möglichst reproduzierbar gestaltet werden. Das Registriersilikon wurde auf die trockene Zahnreihe des Unterkiefers aufgetragen. Dabei musste darauf geachtet werden, dass sich das Silikon gleichmäßig in die Retentionen der Bissgabel hineindrückte. Nachdem sich jeder Proband den ersten drei Bissnahmen unterzogen hatte, wurde eine 4. Bissnahme bei maximaler Bisskraft genommen. Alle Bisse wurden vor dem Scannen desinfiziert. Es wurde sich für die Methode mit der Shimstockfolie entschieden, da eine elektromyographisch abhängige Bissnahme zwar die prozentuale Muskelaktivität angibt, aber aufgrund der unterschiedlichen Muskelgröße der Probanden keine Aussage über die Kraft macht, die im Bereich der Okklusionsebene entsteht.

Nachdem die Bisse eingescannt wurden, konnten sie mithilfe der Software des Centrums für Angewandte Informatik (Greifswald) computerunterstützt ausgewertet (Abb.7). Dabei wurden Herstellungstoleranzen der Bissgabeln in der Software berücksichtigt. Jede Bissgabel wurde nach dem Scansvorgang mit einer Mikrometerschraube vermessen und die ermittelten Messwerte in einer Exceltabelle notiert. Zur Auswertung eines Projekts musste die jeweilige Gabeldicke während des Programmablaufs eingegeben werden.

Die Vorversuche und die Tatsache, dass die Silikoneinbisse im Bereich der Kontaktpunkte nicht durchgebissen waren, zeigten, dass es sinnvoll war, die Okklusionsebenen von Ober- und Unterkiefer grundsätzlich virtuell um $50\mu\text{m}$ anzunähern, was in etwa der Füllkörpergröße des benutzten Silikons entspricht. Ohne diese Annäherung, die in der Software mit der sog. „Offset-Funktion“ gesteuert werden kann, wären die Kontaktpunkte teilweise noch nicht sichtbar gewesen. Dieses Problem stellte sich vor allem bei den Bissen dar, welche mit geringer Kraft gemacht wurden. Dadurch, dass die Software im Mikrometerbereich arbeitet, stellten sich auch so kleine Kontakte dar, wie sie mit herkömmlichen Methoden nicht erkennbar bzw. nicht darstellbar wären. Um reproduzierbare Ergebnisse erhalten zu können, war es dringend notwendig zu

definieren, ab welcher Pixelzahl in unserer Studie ein Kontakt als solcher benannt wird. Da die Aufnahme aller sich darstellenden Kontaktpunkte zu einer deutlichen Verzerrung des Gesamtergebnisses geführt hätte, mussten wir eine Definition finden, ab wann bei unserem Verfahren ein Kontaktpunkt als solcher bezeichnet werden soll, um eine Vergleichbarkeit mit vorhandenen Untersuchungen möglich zu machen.

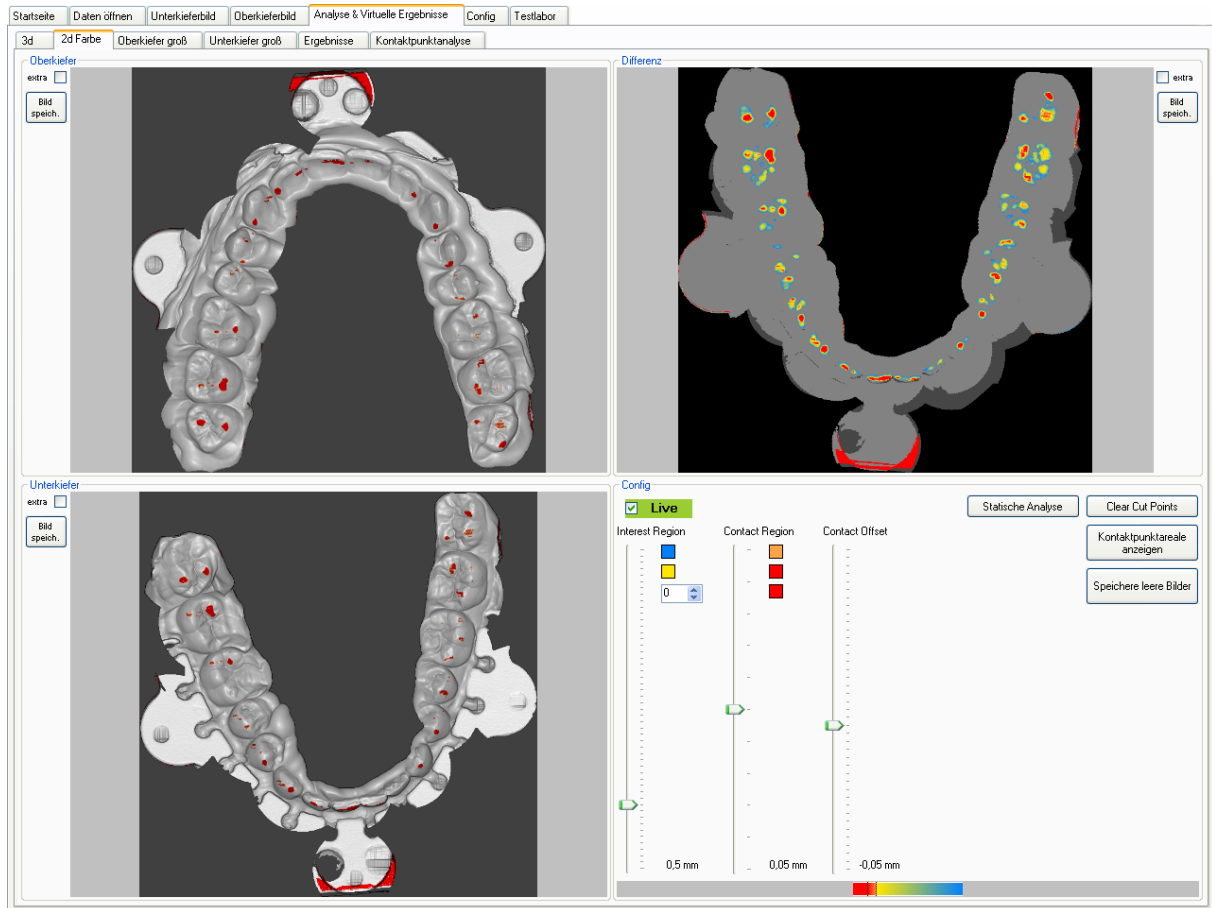


Abb. 7: Screenshot der Softwareoberfläche und deren Funktionen Quelle: CIFT (Centrum für Angewandte Informatik, Greifswald)

Nach den Vorversuchen haben wir uns auf folgende Auswertungskriterien geeinigt: Ein Kontakt liegt bei unserer Untersuchung vor, wenn ein einzelner Kontaktpunkt mindestens 20 Pixel aufweist. Das entspricht einer Fläche von $0,05 \text{ mm}^2$. Manche Kontakte stellen sich als eine Art Kontaktpunktwolke dar. Bei diesen Kontakten haben wir definiert, dass mindestens drei einzelne Punkte zwischen 5 und 19 Pixeln auf einer Funktionsfläche vorliegen müssen, welche dann eine Gesamtzahl von mindestens 20 Pixeln ergeben. Die Pixelgröße gibt die Software an, indem man den vorliegenden Kontakt mit dem Cursor anwählt.

Die Kontaktpunkte wurden dann am PC visuell ermittelt und in zwei Exceltabellen eingegeben. Die Daten für die Oberkiefer- und die Daten für die Unterkiefer- einbisse, wurden jeweils in eine Tabelle eingetragen. Zusätzlich wurde von allen „Projekten“ eine Fotodokumentation durchgeführt, um auch die Lage der Kontaktpunkte bestimmen und notieren zu können.

4 Statistische Auswertung

4.1 Grundlagen für die Auswertung

Ausgewertet wurden alle statischen Kontaktpunkte, die nach den oben genannten Kriterien ermittelt werden konnten. Die dritten Molaren wurden nicht in die Auswertung einbezogen, weil sie nicht bei allen Probanden vorhanden waren und auch in anderen Studien nicht erfasst wurden. Die ermittelten Kontaktpunkte wurden in Excel-Tabellen zusammengetragen.

Sämtliche Daten des männlichen Probanden Nr.18 konnten aufgrund eines Verfahrensfehlers nicht in die Auswertung einbezogen werden. Bei diesem Probanden reichte die Zahnreihe so weit distal über die Bissgabel hinaus, dass es durch die Flexibilität des Silikons nicht möglich war, den Biss präzise zu scannen.

4.2 Fehlende Werte

Es konnten insgesamt 8 Kontaktanzahlen nicht erhoben werden. Das entspricht bei $7 \times 20 \times 2 \times 4 \times 2 = 2240$ Messwerten insgesamt einem Anteil von 0.357%. Dieser Anteil ist so klein, dass es gerechtfertigt erschien, die fehlenden Werte jeweils durch ihren Modalwert zu ersetzen, d. h. durch denjenigen zugehörigen Wert in der Stichprobe von $n = 20$ Probanden, der mit der größten Häufigkeit auftrat. Alternativ zum Modalwert hätte man auch den Median oder den Mittelwert verwenden können, was aber zu nicht ganzzahligen Werten für die ersetzten Kontaktanzahlen hätte führen können.

Da alle 8 der fehlenden Werte beim 2. Molar und 6 davon beim 4. Biss (Instruktion: fest zubeißen!) auftraten, muss davon ausgegangen werden, dass es sich nicht um zufällige Messausfälle handelt, sondern um systematische, durch die spezielle Messmethodik hervorgerufene Ausfälle. Alternativ hätte also ein Weglassen aller Messungen für den 2. Molar begründet werden können. Der Gewinn an Genauigkeit hätte aber möglicherweise den Informationsverlust nicht aufwiegen können.

4.3 Statistische Verfahren

4.3.1 Deskriptive Statistik

Es wurden Mittelwerte, Standardabweichungen (SD) und Standardabweichungen der Mittelwerte (SEM) berechnet. Die Mittelwerte geben den Schwerpunkt der Daten in der Stichprobe an, die SD's sind ein Maß für die Streuung der Daten in der Stichprobe um den Mittelwert und die SEM's sind ein Maß für die Stabilität des Mittelwertes als Maß für den Schwerpunkt in der Stichprobe.

Die Daten wurden durch Graphiken veranschaulicht.

4.3.2 Inferenzstatistik

In der Literatur werden verschiedene Normwerte für die notwendige Anzahl von Kontakten angegeben. Man hätte mit Signifikanztests vermutlich nachweisen können, dass in der vorliegenden Population der Erwartungswert der Kontaktanzahlen kleiner als die vorgeschlagenen Normwerte ist. Ein solcher Nachweis wäre aber aus mehreren Gründen nicht sehr sinnvoll:

1. Dieses Ergebnis wurde in der Literatur auch schon bei anderen Verfahren gefunden.
2. Die theoretische Begründung der Normwerte ist nicht sehr stichhaltig.
3. Die Anzahl der Kontakte kann durch die Art der Instruktion der Probanden bezüglich der Bissstärke in einem weiten Rahmen manipuliert werden.

Man hätte auch, die Verfügbarkeit der Daten vorausgesetzt, die Kontaktanzahlen der vorliegenden Population mit denen anderer Populationen aus der Literatur mit Signifikanztests vergleichen können, um eventuell durch verschiedene Messprozeduren hervorgerufene Unterschiede nachzuweisen. Wegen des obigen 3. Arguments wäre eine sinnvolle Interpretation signifikanter Ergebnisse aber kaum möglich gewesen.

Eine Fragestellung kann allerdings u. U. durch Signifikanztests geklärt werden. In der Literatur werden widersprüchliche Ergebnisse berichtet, was die Symmetrie des Bisses angeht. Ein Teil der Autoren berichtet, dass Probanden zu einem einseitigen Biss (rechts oder links) neigen, andere Autoren berichten, dass Probanden eher

symmetrisch beissen, ohne Präferenz für eine der beiden Seiten. Wir verglichen deshalb für den Oberkiefer für jeden Probanden und für jeden der 4 Bisse die Gesamtzahl der Kontakte rechts und links und setzten ein L (= Links), falls die Anzahl links größer war, ein R (= Rechts), falls die Anzahl rechts größer war und ein S (= Symmetrie), falls die beiden Anzahlen gleich waren. Dieses ergab für jeden Probanden eine Viererkonfiguration aus R, L und S (siehe Tabelle 1). Nur bei den beiden Konfigurationen RRRR und LLLL erscheint es sinnvoll, von einem einseitigen Biss auszugehen. Jedoch ist es auch hier denkbar, dass die gefundenen Häufigkeiten durch zufällige Kombination unter Annahme der Unabhängigkeit der Bisse entstanden sind. Dieses ist eine klassische Fragestellung der sogenannten Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA) (Krauth 1993). Unter der Nullhypothese der Unabhängigkeit der 4 Bisse und unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Randhäufigkeiten für die Bisse ergab sich für die Konfiguration RRRR der bedingte Erwartungswert 0.567 (Krauth 1993) verglichen mit der beobachteten Häufigkeit 3 (Probanden 5, 7 und 11) in der Stichprobe und für die Konfiguration LLLL der Wert 1.69 verglichen mit der beobachteten Häufigkeit 5 (Probanden 3, 15, 16, 17 und 20) (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Kontaktpunktverteilung (R = Kontaktpunktzahl rechts größer, L = Kontaktpunktzahl links größer, S = Symmetrische Kontaktpunktverteilung)

Prob.	Biss 1	Biss 2	Biss 3	Biss 4
1	R	R	R	L
2	L	L	R	R
3	L	L	L	L
4	S	L	L	L
5	R	R	R	R
6	R	L	R	L
7	R	R	R	R
8	R	L	R	R
9	L	R	R	R
10	R	R	R	L
11	R	R	R	R
12	R	L	L	L
13	L	L	R	L
14	L	R	L	L
15	L	L	L	L
16	L	L	L	L
17	L	L	L	L
19	R	L	R	S
20	L	L	L	L
21	L	L	R	L

Theoretisch sind solche Abweichungen auch durch Zufall erklärbar. Deshalb führten wir für beide Konfigurationen einen exakten bedingten hypergeometrischen Test (Krauth 1993) durch, der jeweils eine einseitige Überschreitungswahrscheinlichkeit (P – Wert) lieferte. Die Berechnungen wurden mit dem Programm EXACTP (Beier 2005) durchgeführt. Da zwei Signifikanztests durchgeführt wurden, war eine Alpha-Adjustierung (Krauth 1993) erforderlich. Diese erfolgte nach der Bonferroni-Methode (Krauth 1993), indem die beiden erhaltenen P – Werte jeweils mit 2 multipliziert wurden. Ein signifikantes Ergebnis liegt vor, wenn ein adjustierter P – Wert kleiner als die üblicherweise vorgegebene Irrtumswahrscheinlichkeit 0.05 ist.

5 Ergebnisse

5.1 Inferenzstatistik

Der exakte bedingte hypergeometrische Test ergab für die Konfiguration RRRR mit der Konfigurationsfrequenz 3 einen einseitigen P-Wert von 0.007888 und für die Konfiguration LLLL mit der Konfigurationsfrequenz 5 einen einseitigen P-Wert von 0.004875. Wegen der Alphaadjustierung aufgrund der Testhäufung mussten beide P-Werte jeweils mit 2 multipliziert werden, was zu 0.015776 und 0.009750 führte. Durch Vergleich mit der vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit 0.05 ergeben sich damit signifikante Ergebnisse für die Existenz sowohl von Probanden mit Rechts- als auch von Probanden mit Linksasymmetrie des Bisses.

Dieses ist eine reine Existenzaussage. Es wurde also nicht nachgewiesen, dass eine Rechtsasymmetrie für $3/20 = 15\%$ bzw. eine Linksasymmetrie für $5/20 = 25\%$ der Population vorliegt, wie man es in der Stichprobe vorfindet.

5.2 Graphische Darstellungen

Das erste Diagramm zeigt die Anzahl der Kontaktpunkte, die anhand der Bisse 1-4 ausgezählt wurden, bezogen auf die einzelnen Zähne. Der Proband Nr. 18 wurde aufgrund eines Verfahrensfehlers bei allen Auswertungen ausgeschlossen.

Bei der mittelwertigen Kontaktpunktdarstellung aller Probanden (außer Prob. 18) zeigen die ersten drei Bisse bei allen Zähnen eine relativ gleichmäßige Anzahl der Kontakte. Im Bereich der Molaren ist bei Biss 4 eine deutliche Erhöhung der Kontaktpunktzahl zu erkennen. In Richtung der Inzisiven nimmt die Erhöhung stark ab und gleicht dort wieder den anderen Bissen (s. Tabelle 2 – 9)

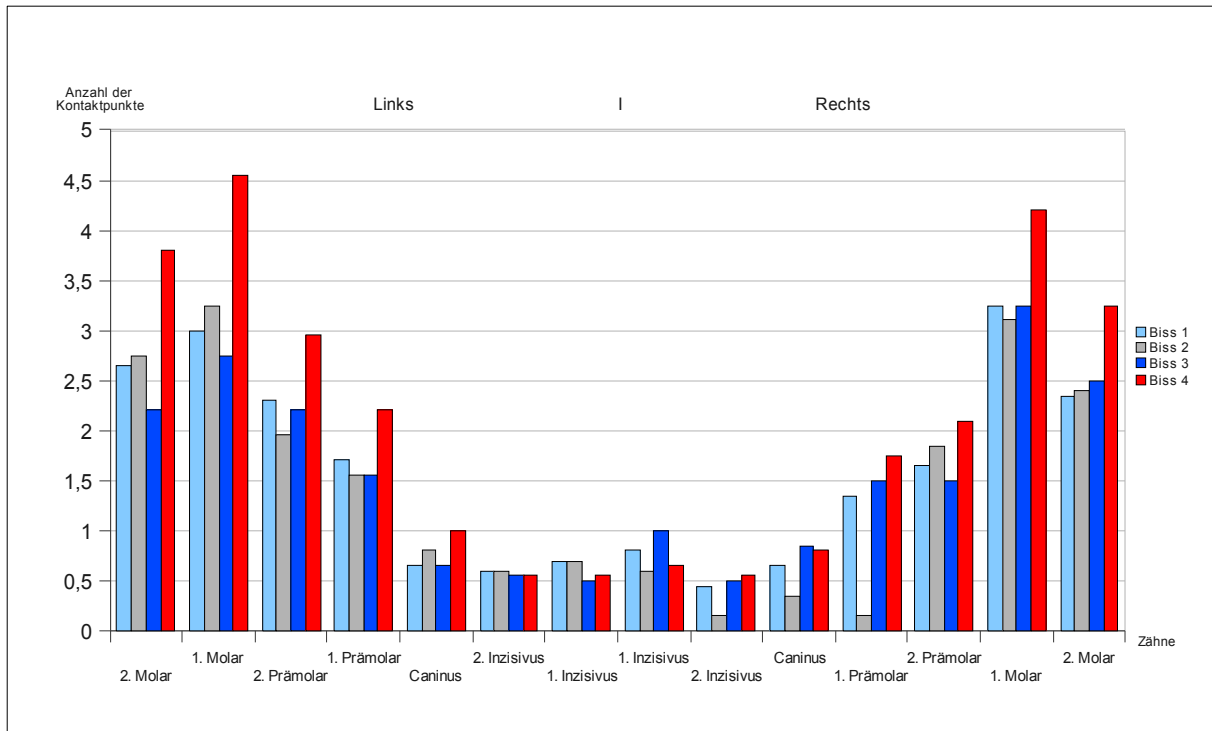


Diagramm 1: Anzahl der okklusalen Kontaktpunkte der einzelnen Zähne

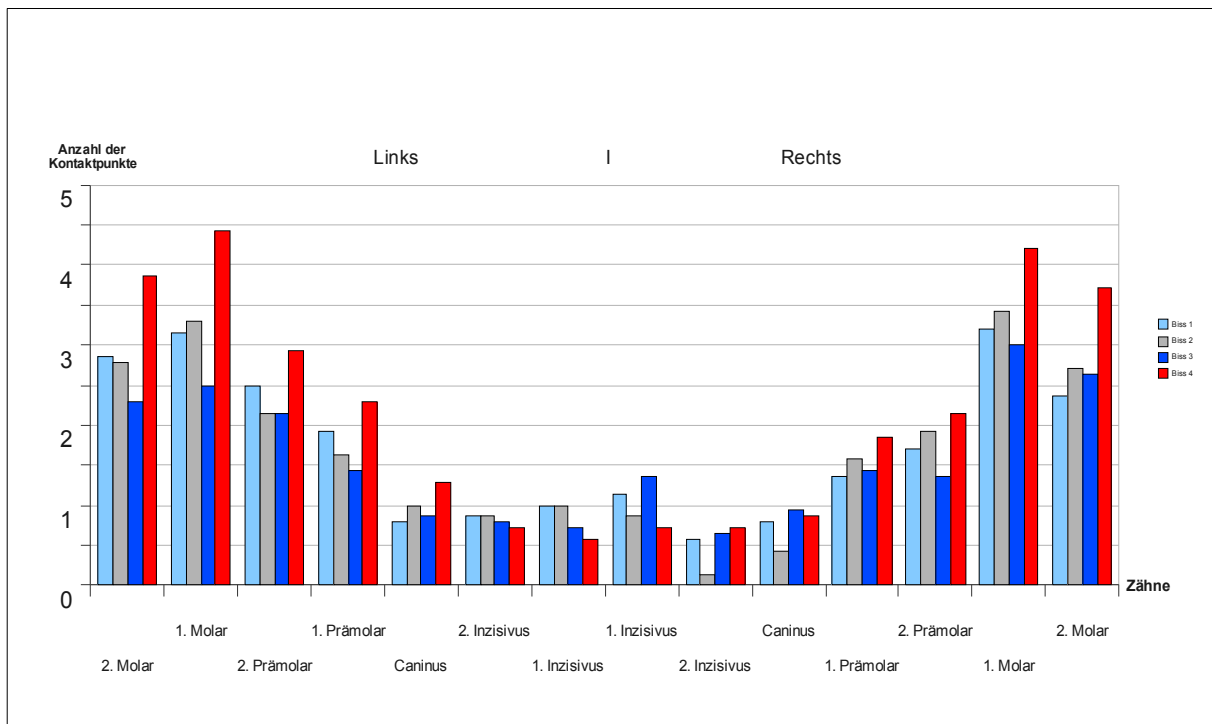


Diagramm 2: Kontaktpunkte von Probanden, bei denen innerhalb der ersten drei Bisse mindestens ein Frontzahnkontakt vorlag.

Das Diagramm 2 zeigt die Anzahl der Kontaktpunkte, die anhand der Bisse 1-4 ausgezählt wurden, bezogen auf die einzelnen Zähne. Bei dieser Auswertung wurden nur die Daten von Probanden ausgewertet, die innerhalb der ersten drei Bisse mindestens einen Frontzahnkontakt (damit sind die 1. und 2. Inzisiven gemeint) aufwiesen. In der vorliegenden Studie wurde diese Situation bei 14 Probanden gefunden und im Diagramm 2 graphisch dargestellt (s. Tabelle 10 – 17)

In diesem Diagramm zeigt sich, dass besonders die 1. Inzisiven bei maximaler Bisskraft (Biss 4) weniger Kontaktpunkte aufweisen, als es bei geringem Kraftaufwand (Bisse 1-3) der Fall ist. Dieses Phänomen wurde bei diesen Probanden im Bereich der 1. Inzisiven mit Shimstockfolie überprüft und konnte reproduzierbar dargestellt werden. Bei diesen Probanden ließ sich die Shimstockfolie bei leichter Bisskraft nicht herausziehen, bei maximaler Bisskraft konnten wir die Folie ohne Widerstand herausziehen. Wir vermuten, dass dabei eine knöcherne Deformation der beteiligten Strukturen stattfindet. Diesem Phänomen sind wir nicht weiter nachgegangen, da es nicht Gegenstand unserer Studie war.

Beim Diagramm 3 wird die Asymmetrie der Kontaktpunktverteilung dargestellt, bezogen auf die verschiedenen Probanden und Bisse. Die Zahlen auf der x-Achse stellen die Probanden dar, der Buchstabe das Geschlecht (w = weiblich, m = männlich).

Die Verteilung der Kontaktpunkte fiel in unserer Studie sehr asymmetrisch aus. Insgesamt befand sich bei weiblichen Probanden die größere Kontaktpunktzahl mehr auf der rechten Seite und bei männlichen Probanden auf der linken Seite. Bei einzelnen Probanden gab es sogar innerhalb der vier verschiedenen Bisse große Abweichungen bezüglich der Symmetrie.

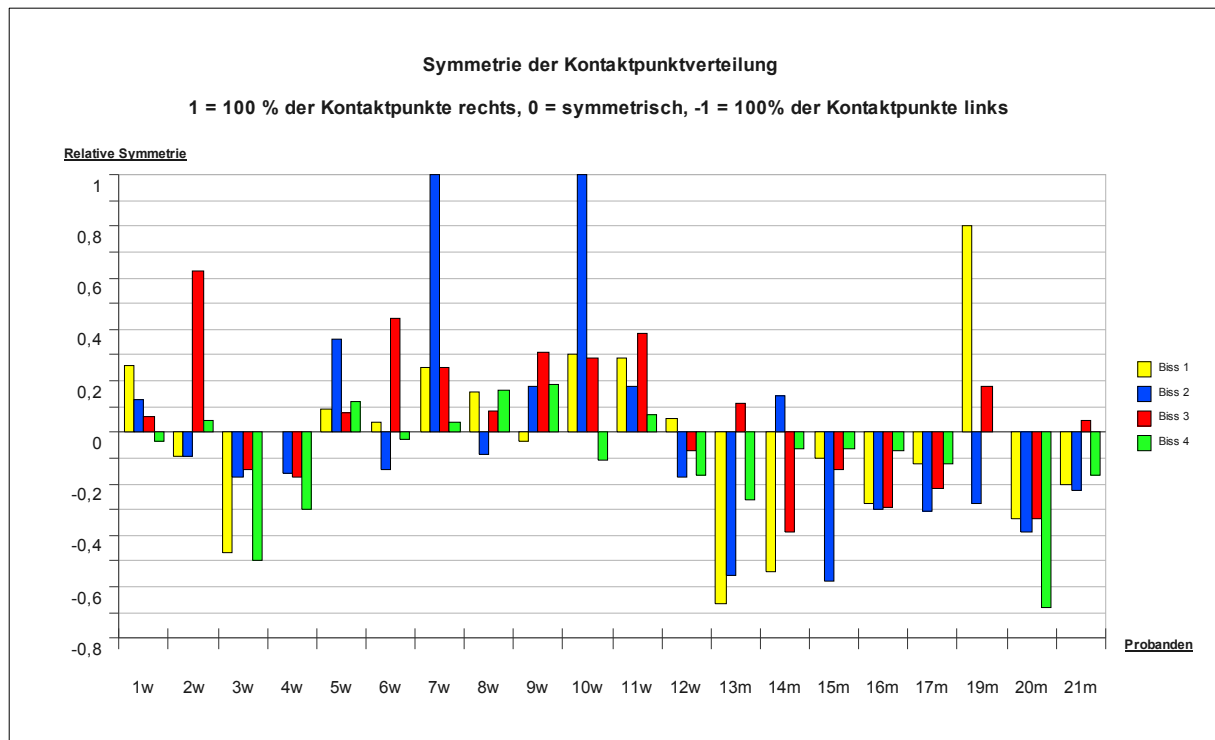


Diagramm 3: Symmetrie der Kontaktpunktverteilung (s. Tabelle 2 -9) . Proband 18m wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt (s. S. 29).

m = männlich, w = weiblich

6 Diskussion

Da computergesteuerte Systeme bei der Herstellung zahntechnischer Restaurationen eine immer wichtigere Rolle spielen, ist die Erfassung und Übermittlung der okklusalen Gegebenheiten und antagonistischen Beziehungen von großer klinischer Bedeutung.

In der vorliegenden Studie wurde ein computerunterstütztes System entwickelt, mit dem es möglich ist, die Anzahl, Lage, sowie die Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte und deren antagonistische Beziehungen zu erfassen. Mit diesem neu entwickelten Verfahren wurden die Kontaktpunktzahl und deren symmetrischen bzw. asymmetrischen Verteilung bei 21 vollständig bezahnten Probanden mit kariesfreiem Gebiss untersucht.

Von jedem Probanden wurden in sitzender Position vier aufeinanderfolgende Bissregistrat unter bestimmten Krafteinwirkungen mit einem Silikon (Futar Scan[®]) angefertigt: Die ersten drei Bissregistrat wurden mit minimaler Beißkraft und das vierte Bissregistrat mit maximaler Beißkraft durchgeführt. Silikon ist als Basismaterial zur Okklusionsanalyse als sehr günstig anzusehen, da es durch seine Viskosität keine Verschiebeeffekte der Zähne verursacht (Battistuzzi et al. 1982). Die Silikoneinbisse wurden dann mithilfe eines 3-D Laserscanners digitalisiert und konnten nun mit einer Software visuell ausgewertet werden.

Bei der Literaturrecherche zeigte sich, dass die Standardisierung die größte Herausforderung bei Untersuchungen der Okklusion ist. Dies vor allem, wenn die Untersuchungen in Verbindung mit einer definierten Kaukraft durchgeführt werden sollten.

Andere Studien wurden mit begleitender Elektromyographie durchgeführt - dabei erfolgte jedoch keine direkte Kraftmessung, sondern lediglich die Messung der Muskelaktivität in Prozent. Da die Größe der Muskeln zwischen verschiedenen Menschen stark variiert, ist die Präzision dieser Art von „Kraftmessung“ sicherlich in Frage zu stellen. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass auch bei der vorliegenden Arbeit die Standardisierung der Bisskraft ein großes Problem darstellte. Während der Vorversuche wurde ermittelt, bei welcher Beißkraft sich die Kontaktpunkte reproduzierbar darstellen ließen und welche mündlichen Instruktionen dem

Probanden mitgeteilt werden sollten. Es zeigte sich eine gute Reproduzierbarkeit bei den Bissen mit minimalem Kraftaufwand, wenn der jeweilige Proband unmittelbar vor Versuchsdurchführung zehnmal aufeinanderfolgend auf Shimstockfolie biss und zwar nur so stark, dass die Folie gerade noch herausgezogen werden konnte. Direkt im Anschluss wurde dann das Bissregistrat mit Futar-Scan[®] angefertigt. Eine explizite Messung, der während der Registrierungen aufgewendeten Bisskräfte erfolgte in der vorliegenden Studie nicht. Da alternative Methoden wie z. B. elektromyographisch begleitete Versuchsaufbauten, ebenfalls als kritisch angesehen werden müssen und bei der vorliegenden Studie die Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Darstellung der okklusalen Kontaktpunkte und deren symmetrische bzw. asymmetrische Verteilung im Vordergrund standen, wurde die weniger aufwändige Methode vorgezogen.

Bei der Auswertung zeigte sich, dass bei Probanden mit sehr großem Kiefer die Bissgabellänge etwas zu kurz war. Die dadurch fehlende Stabilisierung des Silikons im posterioren Bereich (besonders im Bereich der Weisheitszähne) führte dazu, dass sich das Silikon beim Scanvorgang in diesem Bereich leicht verformen konnte. Dieses Problem könnte bei nachfolgenden Studien auf zwei Wegen umgangen werden: Als erste Möglichkeit sollten die Bissgabeln beidseitig in einem Scanvorgang eingelesen werden, ohne sie wenden zu müssen, wie dies in dieser Studie bedingt durch die Hardware notwendig war. Die zweite Möglichkeit zur Ausschaltung dieser Fehlerquelle bestünde in der Entwicklung verschiedener Bissgabelgrößen, die dann je nach Kiefergröße angewendet werden könnten.

Ein weiterer kritischer Punkt lag in der Auswertung der erfassten okklusalen Kontakte. Infolge der hohen Messgenauigkeit bestand die Notwendigkeit einer von der jeweiligen Pixelzahl abhängigen Kontakt-Definition.

Die Okklusionsbilder, die durch die Software entstanden sind, wurden visuell ausgewertet und die gewonnenen Daten manuell notiert. Sollte sich das hier entwickelte Verfahren zur Okklusionsanalyse tatsächlich in der Zahnmedizin etablieren, besteht in diesen Punkten sicherlich noch Bedarf zur Optimierung bzw. Weiterentwicklung des Systems.

Nach dem Übertragen der Daten in entsprechende Tabellen wurden unterschiedliche statistische Verfahren für die verschiedenen Fragestellungen angewandt: Für die Auswertung der Kontaktpunktzahl wurde, hauptsächlich aufgrund des großen Manipulationsrisikos bei der Probandeninstruktion, auf einen Signifikanztest verzichtet, so dass für diese Daten die deskriptive statistische Auswertung infrage kam. Dabei wurden Mittelwerte, Standardabweichungen und die Standardabweichungen der Mittelwerte berechnet. Die Anwendung inferenzstatistischer Berechnungen wurde bei der Kontaktpunktzahl im Gegensatz zu der Frage der Symmetrie der Kontaktpunktverteilung als nicht sinnvoll erachtet. Durch Anwendung der Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA) (Krauth 1993) konnte die Existenz sowohl von Probanden mit Rechts- als auch von Probanden mit Linksasymmetrie des Bisses signifikant nachgewiesen werden. Für beide Konfigurationen wurden jeweils ein exakt bedingter hypergeometrischer Test (Krauth 1993) durchgeführt. Weil zwei Signifikanztests durchgeführt wurden, war eine Alpha-Adjustierung (Krauth 1993) erforderlich, die nach der Bonferroni-Methode (Krauth 1993) durchgeführt wurde.

Da für die vorliegende Studie ein neuartiges Verfahren zur Erfassung und Analyse von okklusalen Kontaktpunkten entwickelt und angewandt wurde, war ein direkter Vergleich mit vorangegangenen Studien nicht möglich. Es konnten lediglich Studien zum Vergleich herangezogen werden, die sich ebenfalls mit der Anzahl und der symmetrischen bzw. asymmetrischen Verteilung okklusaler Kontaktpunkte beschäftigt haben, deren Daten jedoch mit völlig anderen Methoden erhoben wurden. Bei vielen Studien wurde leider nicht exakt beschrieben, wie die Datenanalyse durchgeführt wurde, so dass oft nicht daraus hervor ging, ob auch alle möglichen statistischen Berechnungsmöglichkeiten in Betracht gezogen wurden, um entsprechende Signifikanzen aufzuzeigen. Wäre z. B. bei der vorliegenden Arbeit nicht die Konfigurationsfrequenzanalyse zum Einsatz gekommen, hätten die signifikanten Ergebnisse zur Asymmetrie der Kontaktpunktverteilung gar nicht dargestellt werden können.

In der vorliegenden Arbeit konnte die Existenz sowohl von Probanden mit Rechts- als auch von Probanden mit Linksasymmetrie des Bisses signifikant nachgewiesen werden. Da alle Probanden vollständig bezahnt waren und keinerlei pathologische Befunde aufwiesen, zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass die symmetrische Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte keine Grundvoraussetzung für ein physiolo-

gisch funktionierendes Kausystem ist. In der Literatur wird die Frage, ob okklusale Verhältnisse bei der Entstehung oder bei der Unterhaltung von kranio-mandibulären Dysfunktionen eine kausale Rolle spielen, sehr kontrovers diskutiert. Es liegen Studien vor, bei denen ein direkter Zusammenhang zwischen der Okklusion und der Entstehung von CMD gezeigt werden konnte (Kirveskari et al. 1989; Ciancaglini et al. 2002). Dagegen finden sich jedoch auch Studien, wo keinerlei Zusammenhang diesbezüglich gezeigt werden konnte (Droukas et al. 1984; McNamara et al. 1995; Koh und Robinson 2004).

6.1 Vergleich der angewendeten Methode und der erzielten Ergebnisse mit denen vorangegangener Studien

Bei einer Studie, in der verschiedene Möglichkeiten und Vorgehensweisen zur Darstellung der Kontaktpunkte bei maximaler Okklusion untersucht wurden, fanden Battistuzzi et al. heraus, dass sich Silikon für solche Studien hervorragend eignet, da es durch seine Viskosität nicht zu Verschiebungseffekten der Zähne kommt und sich so die Okklusion präzise darstellen lässt. Diese Studie zeigte, dass eine signifikante Variabilität der Anzahl und Lage der Kontaktpunkte nachweisbar ist, wenn Bissregistrat an verschiedenen Tagen angefertigt und miteinander verglichen wurden. Weiterhin wurde festgestellt, dass kein signifikanter Unterschied der Ergebnisse vorliegt, wenn die Bissnahmen durch verschiedene Untersucher durchgeführt wurden. Für die Studie standen 9 Probanden mit vollständiger Bezahnung und einem Durchschnittsalter von 27 Jahren zur Verfügung, von denen jeweils zwei Silikonregistrat mit Xantopren® (Fa. Heraeus Kulzer, 63450 Hanau) angefertigt wurden. Das erste Registrat wurde mit wenig, das zweite Registrat mit maximaler Kraft angefertigt (Battistuzzi et al. 1982).

Ein direkter Vergleich dieser Studie zu der vorliegenden Arbeit war nicht möglich, da hierbei nicht die Ergebnisse bezüglich der Anzahl und symmetrischen Verteilung im Vordergrund standen, sondern eher die Methodik solcher Studien untersucht wurde. Unter anderem wurde die Eignung sämtlicher Materialien untersucht, die herkömmlicherweise zur Darstellung der Okklusion verwendet werden. Für die Wahl des Basismaterials „Silikon“ hatte die Studie von Battistuzzi et al. für die vorliegende Arbeit eine bedeutende Rolle. Das Ergebnis bezüglich der Variabilität, der Anzahl und Lage der Kontaktpunkte bei der Bissregistrierung an verschiedenen Tagen ist sicherlich

als zweifelhaft anzusehen, da dies bei nur 3 Probanden „signifikant“ nachgewiesen wurde.

Riise untersuchte 1982 die Okklusion und teilte dabei seine Probanden in vier verschiedene Altersgruppen. Die okklusalen Kontaktpunkte wurden bei dieser Studie mittels einer 8 µm starken Farbfolie ermittelt. Bei jedem Probanden wurden die okklusalen Kontaktpunkte einmal mit leichtem und einmal mit hohem Kraftaufwand ermittelt. Bei der Studie stellte sich heraus, dass die Anzahl der Kontaktpunkte beim festen Biss im Vergleich zum leichten Biss signifikant anstieg (Riise 1982).

Obwohl Riise die okklusalen Kontaktpunkte mit einer anderen Methode ermittelt hat, kann im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit festgestellt werden, dass auch hier beim Biss mit maximaler Beißkraft ein deutlicher Anstieg der Kontaktpunktzahl zu verzeichnen war.

Bei einer anschließenden Studie im Jahre 1983, wurde ebenfalls ein möglicher Unterschied der Kontaktpunktverteilung bei leichtem und hohem Kraftaufwand untersucht. Diesmal teilten Riise und Ericsson ihre Probanden in drei Altersgruppen. Auch bei dieser Studie wurden die Kontaktpunkte mit einer 8 µm starken Farbfolie ermittelt. Die Zähne wurden diesmal in drei Gruppen eingeteilt: Frontzähne, Prämolaren und Molaren. In allen Zahngruppen wurde beim kräftigeren Biss eine höhere Anzahl okklusaler Kontakte gefunden. Die Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte bei leichtem und festem Biss zeigte keinen Unterschied bezüglich der Kontaktpunktgesamtzahl und zwischen den auf die rechte und linke Zahnreihenseite verteilten Kontaktpunkten. In den Fällen, in denen eine größere Kontaktzahl auf einer Seite vorlag, änderte sich die Verteilung nicht signifikant, wenn leicht oder fest gebissen wurde (Riise und Ericsson 1983).

Im Vergleich zur vorliegenden Arbeit zeigten sich bei der Betrachtung der Kontaktpunkterhöhung bezogen auf die jeweiligen Zahngruppen abweichende Ergebnisse: Bei Riise und Ericsson war der Anstieg der Kontaktpunktzahl in allen Zahngruppen gleichermaßen zu finden. Hingegen fand in der vorliegenden Arbeit dieser Anstieg beim Biss mit maximaler Beißkraft hauptsächlich im posterioren bzw. dem Molarenbereich statt. Weiterhin unterscheiden sich die Arbeiten dahingehend, dass Riise und Ericsson im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit kein signifikant nachweisbares Vor-

handensein von Probanden mit asymmetrischer Verteilung der Kontaktpunkte fanden. Die unterschiedlichen Ergebnisse können verschieden begründet sein. Zum einen könnten sie durch die Methodik verursacht worden sein oder zum anderen könnten die durchgeführten statistischen Berechnungen eine Erklärung sein. Wie genau die statistischen Berechnungen bei Riise und Ericsson durchgeführt wurden, geht aus der Literatur nicht hervor. Die Besonderheiten bezüglich der Kontaktpunktsymmetrie, wie sie bei der vorliegenden Arbeit dargestellt wurden, können nur dann signifikant nachgewiesen werden, wenn man sich nicht nur auf die statistische Auswertung der Mittelwerte beschränkt.

McDevitt und Warreth untersuchten 1997 die okklusalen Kontakte bei 38 Probanden, die mindestens 24 Zähne und eine physiologische Okklusion aufwiesen. Zur Darstellung der okklusalen Kontaktpunkte wurde bei dieser Studie Okklusionsfolie benutzt. Die so gewonnenen Ergebnisse verglichen sie mit der in theoretischen Okklusionsmodellen geforderten Kontaktpunktzahl und deren Verteilung. Besonders im posterioren bzw. im Molarenbereich zeigte sich eine deutlich geringere Anzahl der Kontaktpunkte als sie theoretisch gefordert wird. Eine symmetrische Kontaktpunktverteilung konnte bei keinem der Probanden gefunden werden (McDevitt und Warreth 1997).

Im Vergleich zu theoretischen Okklusionskonzepten wie z. B. nach Payne und Lundeen oder Thomas (zitiert nach Lotzmann 1998) wurde auch bei der vorliegenden Arbeit eine deutlich geringere Anzahl der Kontaktpunkte im posterioren Bereich ermittelt. Eine symmetrische Kontaktpunktverteilung konnte in der vorliegenden Arbeit bei nur zwei von 80 Bissen gefunden werden - und die bezog sich lediglich auf die Symmetrie der Anzahl und nicht auf die Lage der Kontaktpunkte (s. Tabelle 1.)

Anderson und Meyers wollten in einer Studie die okklusalen Kontakte in zentrischer Okklusion im natürlichen Gebiss darstellen. Dazu untersuchten sie 32 Probanden im Alter zwischen 20 und 59 Jahren. Alle Probanden wiesen ein vollständig bezahntes Gebiss auf, welches jedoch Füllungen und festsitzende Restaurationen beinhalten durfte. Von jedem Probanden nahmen sie Alginatabformungen und stellten die okklusalen Kontaktpunkte an Gipsmodellen dar, die vor der Untersuchung einartikulierte wurden. Im Ergebnis konnte keine „ideale Okklusion“ gefunden werden. Weiter-

hin wurde festgestellt, dass oftmals einzelne oder mehrere Frontzähne keinen antagonistischen Kontakt aufwiesen (Anderson und Myers 1971).

Im Vergleich zu Untersuchungen an Gipsmodellen ist bei der Methode der vorliegenden Arbeit besonders vorteilhaft, dass die klinische Okklusion auch unter hoher Krafteinwirkung erfasst werden kann, obwohl dabei Verlagerungen der Zähne um 20-60 µm aus ihrer unbelasteten Stellung heraus bekannt sind. Diese Verlagerungen werden durch das flexible Parodontium und durch die Verbiegung des Unterkieferknochens bei kraftvollem Zubiss verursacht (Siebert 1996). Ein weiterer Nachteil der Gipsmodell-Methode sind die verfahrenstechnisch bedingten Dimensionsänderungen.

Woda et al. untersuchten 1987 bei 22 erwachsenen Probanden mit vollständigem und kariesfreiem Gebiss die okklusalen Kontakte. Bei dieser Studie wurde Silikon als Material zur Darstellung der Okklusion gewählt. Von jedem Probanden wurde ein Bissregistrator erstellt und dann visuell ausgewertet. Dabei wurden perforierte Bereiche im Silikon als sogenannte „Suprakontakte“ und sehr dünne durchsichtige Bereiche als „Kontakte“ bezeichnet (Woda et al. 1987).

Kritisch anzumerken ist bei der Studie von Woda et al., dass die Kontaktpunktauswertung nur visuell stattgefunden hat und nicht standardisiert wurde. Bei der vorliegenden Arbeit wurde zwar ebenfalls diesbezüglich visuell ermittelt, allerdings konnte aufgrund der Definition bzw. der Pixelbeschränkung eines Kontakts eine vergleichbare Situation innerhalb der Studie geschaffen werden. Beim Vergleich der Studie von Woda et al. mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit wurde bei Woda et al. ebenfalls eine deutlich geringere Anzahl der Kontaktpunkte gefunden, als sie von den gängigen Okklusionstheorien gefordert werden. Bezüglich der Kontaktpunktverteilung zeigte sich bei der Studie von Woda et al. ebenfalls eine Asymmetrie, wie sie auch bei der vorliegenden Arbeit gefunden wurde.

Korioth untersuchte 1990 die Anzahl und Lage der okklusalen Kontaktpunkte bei 54 erwachsenen Probanden. Als Material zur Darstellung der Okklusion wählte er Alginate. Von jedem Probanden wurde ein Durchbissregistrator aus Alginate angefertigt und die perforierten Bereiche als Kontakt bezeichnet. Als Ergebnis zeigte sich, dass die

Anzahl und die Lage der Kontaktpunkte von der geforderten „guten Okklusion“ (Beyron 1969) in den meisten Fällen stark abwich (Korioth 1990).

Im Vergleich zur vorliegenden Arbeit ist bei der Methode Koriots kritisch anzumerken, dass auch hierbei die visuelle Auswertung nicht standardisiert worden ist. Im Ergebnis ist bei beiden Arbeiten gleich, dass die tatsächliche Anzahl der okklusalen Kontaktpunkte deutlich von den theoretisch geforderten Konzepten abweicht.

Kumagai et al. untersuchten 1999 die Okklusion bei insgesamt 16 Probanden und entwickelten ein Verfahren, bei dem die Kontaktpunktbeziehungen bei unterschiedlichen Bisskräften erfasst werden konnten. Dazu wurde die Untersuchung von elektromyographischen Aufzeichnungen begleitet. Von jedem Probanden wurden fünf Bissregistrare aus Polyether bei verschiedenen Beißkräften angefertigt. Die Bisse wurden bei 20%, 40%, 60%, 80% und 100% der Beißkraft angefertigt. Zur Auswertung wurden die Zahnbögen in fünf Regionen eingeteilt: anteriore Region, rechte und linke Prämolarenregion und rechte und linke Molarenregion. Die durchgeführten Auswertungen bezogen sich auf die Kontaktpunktstärke, Kontaktlage und auf die Veränderung der Kontaktpunktverteilung bei unterschiedlichen Beißkräften. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Anzahl der okklusalen Kontaktpunkte beim Beißkraftanstieg linear ansteigt. Dieser Anstieg war besonders deutlich in der Molarenregion zu finden und wurde zur anterioren Region hin schwächer (Kumagai et al. 1999).

Bei dieser Studie ist die zur Standardisierung angewendete Elektromyographie als kritisch anzumerken, da hierbei nur die prozentuale Muskelaktivität beim einzelnen Individuum dargestellt werden kann. Beim Vergleich mit anderen Probanden werden unterschiedliche Muskelgrößen nicht beachtet. Im Vergleich zur vorliegenden Arbeit ist festzustellen, dass in beiden Studien eine Veränderung der Kontaktpunktvergrößerung und Verteilung gezeigt werden konnte und diese bei Krafterhöhung im Molarenbereich besonders deutlich eintreten.

Millstein entwickelte 1984 ein System, mit dem die Okklusion dreidimensional erfasst werden kann. Millstein entschied sich aufgrund der schnellen Aushärtung und des geringen Widerstandes beim Zubeißen für Silikon als Registriermaterial. Das Silikonregistrat diente zur Kalibrierung eines Artikulators, mit dessen Hilfe dann drei Registrare aus Acrylharz hergestellt wurden. Nachdem alle Registrare im Durchlicht

fotografiert wurden, fand eine Digitalisierung mittels Mikrodensitometer statt und die Daten konnten dann mithilfe eines Computers ausgewertet werden. Das von Millstein entwickelte System stellte sich in einer Studie zur okklusalen Kontaktpunkterfassung als qualitativ hochwertige und reproduzierbare Methode zur Darstellung und Archivierung der Okklusion dar (Millstein 1984).

Die gewonnenen Daten der Kontaktpunkterhebung konnten leider nicht aus der Literatur entnommen werden, da es Millstein nur um die Entwicklung eines Verfahrens zur reproduzierbaren Okklusionsdarstellung ging. Im Vergleich zur vorliegenden Arbeit mag das System zwar reproduzierbare Ergebnisse liefern ist aber sicherlich durch die Überführung in einen Artikulator mit vielen möglichen Fehlerquellen behaftet. Im Vergleich zu anderen Arbeiten, bei denen ein Artikulator zur Auswertung der Kontaktpunktverteilung involviert wurde, hat Millstein durch die Anwendung von Silikon die Eigenbeweglichkeit der Zähne in sein Verfahren mit einbezogen. Für wissenschaftliche Fragestellungen kann das von Millstein entwickelte Verfahren vermutlich gute Daten liefern, für den Gebrauch in der zahnärztlichen Praxis ist es aber sicherlich sehr umständlich in seiner Anwendung.

Gurdsapsri et al. untersuchten 2000 in ihrer Studie, ob ein Zusammenhang zwischen der Beißkraft und den okklusalen Kontaktbeziehungen bzw. den Kontaktflächen in den verschiedenen Regionen der Zahnbögen besteht. Für die Studie standen insgesamt 25 Probanden im Alter zwischen 24 und 32 Jahren zur Verfügung. Bei allen Probanden lag eine intakte Bezahnung vor. Von jedem Probanden wurden vier Bissregistrare bei verschiedenen Beißkräften angefertigt. Zur Kontaktpunkterfassung fertigten Gurdsapsri et al. von den Probanden jeweils bei 10%, 30%, 70% und 100% der maximalen Beißkraft ein Bissregistrat aus Silikon an, wobei eine Kraftmessung von elektromyographischen Aufzeichnungen begleitet wurde. Die Auswertung bzw. Darstellung der Kontakte erfolgte im Durchlichtverfahren. Dabei ermöglichte ein 50 µm starkes Kalibrierungsmuster die genaue Analyse der okklusalen Kontaktpunkte. Nach Einteilung der Zähne in Frontzähne, Prämolaren und Molaren, konnte signifikant nachgewiesen werden, dass die Kontaktpunktgröße im Bereich der Molaren und Prämolaren positiv mit der Beißkraft korreliert. Im Frontzahnbereich konnten keine Veränderungen festgestellt werden. Zur Symmetrie der Kontaktpunktverteilung wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Gurdsapsri et al. 2000).

Auch bei dieser Studie ist die myographische Aufzeichnung als Mittel zur Standardisierung aus den oben schon genannten Gründen als kritisch anzumerken. Beim Vergleich der Ergebnisse mit der vorliegenden Arbeit zeigt sich auch hier, dass sich die Kontakte im Bereich der Prämolaren und Molaren beim Anstieg der Beißkraft deutlich vergrößern. Die Ergebnisse zur symmetrischen Kontaktpunktverteilung lassen sich mit der vorliegenden Arbeit nicht vergleichen, da aus der Studie von Gurdapsri et al. nur hervorgeht, dass sich Symmetrieunterschiede bei verschiedenen Beißkräften nachweisen ließen. Die Daten zur Symmetrie der Kontaktpunktverteilung wurden in der Studie leider nicht angegeben.

Ehrlich und Taicher stellten 1981 in einer Studie die okklusale Kontaktpunktverteilung im natürlichen Gebiss dar. Es standen insgesamt 29 Probanden mit Angle Klasse 1 und vollständiger Bezahnung zur Verfügung. In der Studie wurde Wachs zur Bissregistrierung verwendet und später nach der Wachsstärke im Durchlichtverfahren ausgewertet. Dazu wurden drei Klassifikationen der Kontaktpunktarten erstellt: Perforiertes Wachs stellte einen Suprakontakt, transluzentes Wachs einen repräsentativen Kontakt und dünnes Wachs einen sich annähernden Kontakt dar. Ausgewertet wurden bei der Studie nur der Prämolarenbereich und der Molarenbereich. Die Kontaktpunkte wurden dann nach der mittleren prozentualen Verteilung den einzelnen Zähnen zugeordnet. Als Ergebnis zeigte sich, dass der erste Molar prozentual die meisten Kontakte aufwies und der erste Prämolare die wenigsten (Ehrlich und Taicher 1981).

Die Auswertungsmethode der Studie beinhaltet sicherlich eine Menge möglicher Fehlerquellen, da eine Standardisierung und eine exakte Abgrenzung der einzelnen Klassifikationen nur schwer vorstellbar ist. Ein direkter Vergleich mit der vorliegenden Arbeit ist durch die Methodik und der prozentualen Darstellung der Kontaktpunkte nicht möglich, allerdings war auch bei der vorliegenden Arbeit die durchschnittlich höchste Kontaktpunktzahl bei den ersten Molaren zu finden. Dieses Ergebnis stimmt auch mit vielen anderen Studien überein.

Freesmeyer untersuchte 1991 in einer Studie die Genauigkeit von T-Scan® (Fa. Tekscan, Boston USA) bei 15 prothetisch unversorgten Probanden. Dabei beißt der Proband auf eine Sensorfolie mit der die okklusalen Kontaktpunkte elektronisch erfasst werden und dann mittels Bildschirm dargestellt werden können. Die Studie er-

gab, dass bei wiederholten Messungen sowohl in der Lokalisation als auch in der Häufigkeit und dem Auftreten von okklusalen Kontakten nur eine Übereinstimmung von 50% bestand. Die Reproduzierbarkeit der okklusalen Kontakte lag bei 70%. Als Ergebnis stellte Freesmeyer fest, dass mit diesem System keine genaue Aussage zur Lage der Kontaktpunkte gemacht werden kann (Freesmeyer 1991).

Ein Vergleich dieser Studie mit der vorliegenden Arbeit ist nur bezüglich der Methodik möglich. Als nachteilig kann beim T-Scan-System die Tatsache angesehen werden, dass ein Proband bei der Okklusionsdarstellung auf eine Folie beißt, die aufgrund mangelnder Viskosität eventuell zu Zahnverschiebungen führen kann. Weiterhin ist vorstellbar, dass die Sensorfolie vom Probanden als Störfaktor wahrgenommen wird und dies zu verfälschten Ergebnissen führen kann.

Garrido Garcia et al. untersuchten 1997 die Aussagekraft bei der Okklusionsanalyse mit dem T-Scan®-System (Fa. Tekscan Boston USA), das mittlerweile weiterentwickelt wurde. Für die Studie standen insgesamt 18 Probanden zur Verfügung, bei denen die Okklusion jeweils viermal bei maximaler Interkuspidation mit T-Scan® erfasst wurde. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Variabilität zwischen den Probanden größer war als die Variabilität der Ergebnisse innerhalb einzelner Probanden. In 90,3% stimmte die Okklusion innerhalb der vier Bisse bei den einzelnen Probanden überein. Die höchste Kontaktpunktzahl fand sich bei den zweiten Molaren, die geringste bei den mittleren unteren Inzisiven (Garrido Garcia et al. 1997). Dasselbe Team untersuchte 1997 in einer Studie die Variabilität der Kontaktpunktdarstellung bei maximaler Interkuspidation und der Anwendung des T-Scan®-Systems. Auch hier wurde von 18 Probanden die Okklusion viermal erfasst und analysiert. Das Ergebnis war, dass die Kontaktpunktdarstellung innerhalb einzelner Probanden außer bei drei Zähnen keine signifikanten Unterschiede aufzeigte. Die höchste Anzahl der Kontaktpunkte fand sich auch hier bei den zweiten Molaren. Eine asymmetrische Kontaktpunktverteilung konnte nicht gefunden werden (Gonzalez Sequeros et al. 1997).

Die Ergebnisse dieser Studien weisen im Vergleich zur vorliegenden Arbeit einige Unterschiede auf: Die höchste Anzahl der Kontaktpunkte findet sich bei den zweiten Molaren, bei der vorliegenden Arbeit war sie bei den ersten Molaren und eine asymmetrische Verteilung der Kontaktpunkte konnte nicht aufgezeigt werden. Der Unter-

schied in der Kontaktpunktzahl könnte in der Methodik bzw. an der Stärke der Sensorfolie des T-Scan®-Systems liegen.

Maness und Podoloff untersuchten 1989 die Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte bei der maximalen Interkuspidation. Die Darstellung der Kontaktpunkte erfolgte mit T-Scan® und es standen 93 vollständig bezahnte Probanden zur Verfügung. Die Okklusion wurde bei den Probanden erfasst, nachdem sie aufgefordert wurden „normal“ zuzubeißen. Im Ergebnis zeigte sich, dass die mit T-Scan® ermittelten Daten vergleichbar mit den Daten alternativer Methoden sind. Weiterhin zeigte sich eine symmetrische Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte beim normal bezahnten Probanden (Maness und Podoloff 1989).

Das Ergebnis unterscheidet sich bezüglich der Symmetrie zur vorliegenden Arbeit. Es könnte sein, dass bei Maness und Podoloff aufgrund der statistischen Berechnungsmethoden die Asymmetrie der Kontaktpunktverteilung nicht gezeigt werden konnten. Allerdings zeigt nun bereits die vierte Studie, die unter Anwendung von T-Scan® durchgeführt wurde, eine symmetrische Kontaktpunktverteilung. Möglicherweise ist die Sensibilität bei der Kontaktpunkterfassung zu gering, um valide Aussagen über die Symmetrie der Kontaktpunktverteilung zu machen.

Ciancaglini et al. versuchten 2002 in einer Studie herauszufinden, ob einseitige Funktionsstörungen mit einer asymmetrischen Kontaktpunktverteilung assoziiert sind. Für die Studie standen insgesamt 15 Probanden im Alter zwischen 19 und 26 Jahren zur Verfügung. Alle Probanden hatten eine vollständige Bezahnung. Als Material zur Bissregistrierung wurde Wachs verwendet. Von den Impressionen der Wachsregistratur wurden Gipsmodelle angefertigt, mit deren Hilfe dann die Okklusion im Artikulator ausgewertet werden konnte. Im Ergebnis zeigte sich eine schwache Assoziation zwischen einseitigen Funktionsstörungen des Kiefergelenks und einer asymmetrischen Kontaktpunktverteilung. Eine symmetrische Kontaktpunktverteilung war bei dieser Studie eher die Regel als die Ausnahme (Ciancaglini et al. 2002).

Das Ergebnis bezüglich der symmetrischen Verteilung stimmt mit dem der vorliegenden Arbeit überein. Zu einem Zusammenhang zwischen der Symmetrie der Kontaktpunkte und Funktionsstörungen des Kiefergelenks konnte in der vorliegenden Arbeit

keine Aussage gemacht werden, da hierbei keiner der Probanden solche Funktionsstörungen aufwies bzw. dies zum Ausschluss derartiger Probanden geführt hätte.

Hidaka et al. untersuchten 1999 in einer Studie okklusale Beziehungen hinsichtlich zweier Faktoren: Erstens sie versuchten Veränderungen der okklusalen Beziehungen bei verschiedenen Bißkräften (30%, 60% und 100% der maximalen Bisskraft) darzustellen. Zweitens mögliche Abhängigkeiten zwischen bevorzugter Kauseite und der Symmetrie der Kontaktpunktverteilung sollten dargestellt werden. Für die Studie standen 12 Probanden im Alter zwischen 20,4 und 30,6 Jahren zur Verfügung. Bei dieser Studie wurde jeweils die Gesamtfläche der okklusalen Kontakte erfasst. Zur Darstellung der Kontaktpunkte wurden zwei Produkte der Fa. Fuji (Tokyo Japan) angewandt: 1. Fuji Prescal® Film zur Darstellung der Kontaktpunkte, 2. Dental Pressu-regraph® zur Messung der Beißkraft. Im Ergebnis zeigte die Studie, dass die Symmetrie der Kontaktpunktverteilung proportional mit der Kaukraft zunimmt. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass auf der jeweils bevorzugten Kauseite bei den Bissen mit 30% und 60% der maximalen Beißkraft signifikant größere Kontaktpunkt-gesamtflächen und im Vergleich mit der nicht bevorzugten Seite deutlich größere Beißkräfte messbar waren. Bei 100% der maximalen Beißkraft war dies nicht nachweisbar. Insgesamt war ein signifikanter Anstieg der okklusalen Kontaktflächen proportional zur Erhöhung der Beißkraft messbar (Hidaka et al. 1999).

Im Vergleich der Ergebnisse zeigt sich in der vorliegenden Arbeit bei 10 Probanden ein Anstieg der Symmetrie bei Erhöhung der Beißkraft, wenn die ersten drei Bisse (bei wenig Beißkraft angefertigt) mit den vierten Bissen (bei maximaler Beißkraft angefertigt) der jeweiligen Probanden verglichen werden. Ein proportionaler Anstieg konnte nicht gezeigt werden, da die Bissregistrare in der vorliegenden Arbeit bei nur zwei verschiedenen Beißkräften angefertigt wurden. Eine Vergrößerung der Kontaktpunktflächen wurde in der vorliegenden Arbeit nicht dargestellt, da die Auswertung auf die Anzahl der Kontakte beschränkt wurde, die sich ebenfalls im Vergleich zu den ersten drei Bissen (bei wenig Beißkraft), beim vierten Biss (bei maximaler Beißkraft) deutlich erhöhte.

Athanasiou et al. führten 1989 eine Studie zur Reproduzierbarkeit okklusaler Beziehungen nach der Datenerfassung durch verschiedene Behandler durch. Für diese Studie standen insgesamt 20 Probanden im Durchschnittsalter von 27,9 Jahren zur

Verfügung. Um eine maximale Reproduzierbarkeit zu erhalten, wurde die Okklusion der jeweiligen Probanden durch verschiedene Behandler ermittelt. Zur Erfassung der Okklusion wurde die Foto-Okklusions-Technik angewandt. Dabei werden die okklusalen Kontaktpunkte mithilfe eines optischen Systems bzw. der Doppelbrechung ausgewertet. Die Ergebnisse der Datenerfassung und Auswertungen durch verschiedene Behandler zeigten keine signifikanten Unterschiede. Weiterhin zeigte sich in der Studie eine symmetrische Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte und diesbezüglich konnten keinerlei signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen festgestellt werden (Athanasίου et al. 1989).

Unterschiede in der Reproduzierbarkeit, hervorgerufen durch verschiedene Behandler, wurden zu Beginn der dieser Arbeit zugrunde liegenden Studie nicht untersucht, da sich dies in der Literatur, wie auch in der Studie von Athanasίου et al. als äußerst unwahrscheinlich zeigte. Dass im Vergleich zur vorliegenden Arbeit eine symmetrische Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte festgestellt wurde, kann an den statistischen Berechnungsmethoden liegen. Ein weiterer Unterschied zwischen den Studien ist, dass sich in der vorliegenden Arbeit, im Vergleich zur Studie von Athanasίου et al. eine unterschiedliche Verteilung der okklusalen Kontaktpunkte zwischen Männern und Frauen zeigte. Die höhere Kontaktpunktzahl befand sich bei den weiblichen Probanden auf der rechten Seite, bei den männlichen auf der linken Seite.

Hu et al. untersuchten 2006 die symmetrische Verteilung okklusaler Kontaktpunkte bei 123 Probanden. Bei allen Probanden lag eine normal intakte Bezahnung vor. Die okklusalen Kontakte wurden mit dem T-Scan®-System ermittelt und ausgewertet. Im Ergebnis konnte keine statistische Differenz bezüglich der Kontaktpunktzahl beider Seiten dargestellt werden (Hu et al. 2006).

Ein Vergleich zur vorliegenden Arbeit war leider kaum möglich, da die Studie von Hu et al. nur als Auszug zu finden war und der Originaltext nur in chinesischer Sprache vorliegt. Das Ergebnis der Studie von Hu et al. weicht bezüglich der symmetrischen Verteilung deutlich vom Ergebnis der vorliegenden Arbeit ab. Wie die Ergebnisse der chinesischen Studie zustande kamen, konnte aufgrund der oben genannten Problematik nicht geklärt und daher auch kein Vergleich vorgenommen werden.

6.2 Schlussfolgerung

Aufgrund dieser und vieler vorangegangener Studien muss davon ausgegangen werden, dass es eine dauerhaft reproduzierbare statische Okklusion nicht gibt. Es scheint sich vielmehr so darzustellen, dass der physiologisch voll bezahnte Mensch verschiedene Positionen der statischen Okklusion einnimmt. Das heißt, ein Bissregistrat, das z. B. zur Herstellung für eine prothetische Versorgung an ein zahntechnisches Labor geschickt wird, übermittelt nur eine von vielen Positionen, die der Patient einnehmen kann. Dies erklärt, warum es häufig vorkommt, dass eine Kronen- oder Brückenversorgung bei der Eingliederung im Munde des Patienten relativ stark eingeschliffen werden muss, obwohl der behandelnde Zahnarzt die Registrierung der Kieferrelation fehlerfrei durchgeführt hat. Wenn man eine Vielzahl von Bissregistralen beim Patienten nähme, würde dies also auch zu vielen verschiedenen Positionen im Artikulator führen. Das menschliche Kausystem kann also nicht als einfach mechanisch reproduzierbares System betrachtet werden.

Ob die Existenz von Personen mit asymmetrischer Kontaktpunktverteilung mit einer vorhandenen Bevorzugung einer Kauseite, wie es bei ca. 50 % der Population der Fall ist (Diernberger et al. 2008) korreliert, muss in anschließenden Studien geklärt werden.

Als Weiteres kann das Vorliegen einer asymmetrischen Okklusion bei Kiefergelenkbeschwerden nach den vorliegenden Untersuchungen nicht als alleinige Ursache für eine Kiefergelenkerkrankung angesehen werden. Fujii zeigte 2003 in einer klinischen Studie, dass die Kontaktpunktverteilung bei Probanden mit einseitigen kranio-mandibulären Dysfunktionen asymmetrisch ist, allerdings konnte keine signifikante Korrelation zwischen der Seite mit den kranio-mandibulären Dysfunktionen und der Kontaktpunktzahl bei der entsprechenden Seite gefunden werden (Fujii 2003). Demnach ist eine Diagnose von kranio-mandibulären Dysfunktionen und eine entsprechende Therapie nur aufgrund einer asymmetrischen Okklusion bei einem voll bezahnten Patienten als recht fragwürdig anzusehen.

Die Bedeutung der vorliegenden Arbeit bzw. des neu entwickelten computerunterstützten Verfahrens zur Okklusionsanalyse für die Zahnmedizin wird sich vermutlich erst nach einer notwendigen Weiterentwicklung bzw. einer Verbindung der statischen

Okklusionsdarstellung mit gleichzeitigen Messungen der dynamischen Okklusion zeigen, an der mit Nachdruck gearbeitet wird. Sollte dieses System in seiner Handhabung einfacher, präziser und mit der CAD-CAM-gesteuerten Herstellung von Zahnersatz verknüpft werden, ist vorstellbar, dass dies zu einer deutlichen Optimierung der individuell erzeugten Kauflächen führen kann und die Eingliederung einer neu gefertigten Restauration stark vereinfacht wird.

7 Zusammenfassung

In der Zahnmedizin ist die genaue Kenntnis der statischen und der dynamischen Okklusion bei der Restauration okklusaler Strukturen von großer Bedeutung. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein computerunterstütztes Verfahren zur Analyse der statischen Okklusion zu entwickeln, mit dessen Hilfe bei Probanden mit unversehrtem Gebiss die Symmetrie der Verteilung und die Anzahl der okklusalen Kontaktpunkte dargestellt werden können.

Das neu entwickelte Verfahren erlaubt die Darstellung der okklusalen Strukturen, indem unter Zuhilfenahme einer neu entwickelten Bissgabel ein Bissregistrat aus Silikon (Futar-Scan®) angefertigt wird, das anschließend mittels Laserscanner eingelesen und digitalisiert wird. Die Okklusion kann dann computerunterstützt mit einer Software analysiert werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden von den Probanden jeweils vier Bissregistrate bei unterschiedlichen Beißkräften angefertigt, die ersten drei Registrare bei sehr geringem und die vierten bei maximalem Kraftaufwand. Ausgewertet wurden die Daten von insgesamt 20 Probanden (12 weiblich und 8 männlich) im Alter zwischen 19 und 33 Jahren. Bei allen Probanden lag ein kariesfreies, vollständiges und unrestauriertes Gebiss mit Angle Klasse 1 vor. Kieferorthopädische Vorbehandlung, Bruxismus und Abrasionsgebiss führte zum Ausschluss aus dem Untersuchungsklientel.

Anhand der durchgeführten Untersuchungen konnte die Existenz sowohl von Probanden mit Rechts- als auch von Probanden mit Linksasymmetrie der Kontaktpunktverteilung signifikant nachgewiesen werden.

Weiterhin zeigte sich in der Studie, dass die Anzahl der okklusalen Kontaktpunkte deutlich geringer war, als sie von den bestehenden Rekonstruktionskonzepten gefordert wird.

8 Literaturverzeichnis

Alexander S.A. (1996). Levels of root resorption associated with continuous arch and sectional arch mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110(3): 321-4.

Anderson J.R., Jr., Myers G.E. (1971). Nature of contacts in centric occlusion in 32 adults. *J Dent Res* 50(1): 7-13.

Athanasiou A.E., Melsen B., Kimmel P. (1989). Occlusal tooth contacts in natural normal adult dentition in centric occlusion studied by photocclusion technique. *Scand J Dent Res* 97(5): 439-45.

Battistuzzi P.G., Eschen S., Peer P.G. (1982). Contacts in maximal occlusion. *J Oral Rehabil* 9(6): 499-507.

Beier M. (2005). An algorithm and tool for computing exact conditional probabilities of configuration frequencies. *Psychology Science*(47): 391-400.

Berry D.C., Singh B.P. (1983). Daily variations in occlusal contacts. *J Prosthet Dent* 50(3): 386-91.

Beyron H. (1969). Optimal occlusion. *Dent Clin North Am* 13(3): 537-54.

Boitel R.H. (1976). [Bite registrations for reconstruction of the dentition]. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 86(12): 1308-11.

Borchers L., Tschernitschek H. (2001). Die Bedeutung des Elastizitätsmoduls von Materialien für die Kieferrelationsbestimmung. *Dental Praxis*(18): 113-118.

Ciancaglini R., Gherlone E.F., Radaelli G. (2003). Unilateral temporomandibular disorder and asymmetry of occlusal contacts. *J Prosthet Dent* 89(2): 180-5.

Ciancaglini R., Gherlone E.F., Redaelli S., Radaelli G. (2002). The distribution of occlusal contacts in the intercuspal position and temporomandibular disorder. *J Oral Rehabil* 29(11): 1082-90.

Diernberger S., Bernhardt O., Schwahn C., Kordass B. (2008). Self-reported chewing side preference and its associations with occlusal, temporomandibular and prosthodontic factors: results from the population-based Study of Health in Pomerania (SHIP-0). *J Oral Rehabil* 35(8): 613-20.

Droukas B., Lindee C., Carlsson G.E. (1984). Relationship between occlusal factors and signs and symptoms of mandibular dysfunction. A clinical study of 48 dental students. *Acta Odontol Scand* 42(5): 277-83.

Ehrlich J., Taicher S. (1981). Intercuspal contacts of the natural dentition in centric occlusion. *J Prosthet Dent* 45(4): 419-21.

End E. (2005). *Die physiologische Okklusion des menschlichen Gebisses*. München, Verlag Neuer Merkur.

Freesmeyer W.B. (1991). Elektronische Okklusionsdiagnostik mit dem T-Scanner, Möglichkeiten und Grenzen. *Die Quintessenz* 9: 1443-1454.

Fujii T. (2003). The relationship between the occlusal interference side and the symptomatic side in temporomandibular disorders. *J Oral Rehabil* 30(3): 295-300.

Garrido Garcia V.C., Garcia Cartagena A., Gonzalez Sequeros O. (1997). Evaluation of occlusal contacts in maximum intercuspatation using the T-Scan system. *J Oral Rehabil* 24(12): 899-903.

Gonzalez Sequeros O., Garrido Garcia V.C., Garcia Cartagena A. (1997). Study of occlusal contact variability within individuals in a position of maximum intercuspation using the T-SCAN system. *J Oral Rehabil* 24(4): 287-90.

Gurdsapsri W., Ai M., Baba K., Fueki K. (2000). Influence of clenching level on intercuspatal contact area in various regions of the dental arch. *J Oral Rehabil* 27(3): 239-44.

Helkimo M. (1974). Studies on function and dysfunction of the masticatory system. II. Index for anamnestic and clinical dysfunction and occlusal state. *Sven Tandlak Tidskr* 67(2): 101-21.

Hidaka O., Iwasaki M., Saito M., Morimoto T. (1999). Influence of clenching intensity on bite force balance, occlusal contact area, and average bite pressure. *J Dent Res* 78(7): 1336-44.

Hu Z.-g., Cheng H., Zheng M., Zheng Z.-q., Ma S.-z. (2006). [Quantitative study on occlusal balance of normal occlusion in intercuspatal position]. *zhong hua kou qiang yi xue za zhi* 41(10): 618.

Hugger A., Türp J.C., Kerschbaum T. (2006). *Orale Physiologie*. Berlin, Quintessenz Verlag.

Kirveskari P., Alanen P., Jamsa T. (1989). Association between craniomandibular disorders and occlusal interferences. *J Prosthet Dent* 62(1): 66-9.

Koh H., Robinson P.G. (2004). Occlusal adjustment for treating and preventing temporomandibular joint disorders. *J Oral Rehabil* 31(4): 287-92.

Korioth T.W. (1990). Number and location of occlusal contacts in intercuspatal position. *J Prosthet Dent* 64(2): 206-10.

Krauth J. (1993). Einführung in die Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA). Weinheim, Basel, Beltz, Psychologie-Verlags-Union.

Kumagai H., Suzuki T., Hamada T., Sondang P., Fujitani M., Nikawa H. (1999). Occlusal force distribution on the dental arch during various levels of clenching. J Oral Rehabil 26(12): 932-5.

Lehmann K.M., Hellmann E., Wenz H.J. (2008). Zahnärztliche Propädeutik. Köln, Deutscher Zahnärzte Verlag.

Lehmann K.M., Hellwig E. (1993). Einführung in die Zahnheilkunde. München, Urban und Schwarzenberg.

Lotzmann U. (1998). Die Prinzipien der Okklusion. München, Verlag Neuer Merkur.

Maness W.L., Podoloff R. (1989). Distribution of occlusal contacts in maximum intercuspation. J Prosthet Dent 62(2): 238-42.

McDevitt W.E., Warreth A.A. (1997). Occlusal contacts in maximum intercuspation in normal dentitions. J Oral Rehabil 24(10): 725-34.

McNamara J.A., Jr., Seligman D.A., Okeson J.P. (1995). Occlusion, Orthodontic treatment, and temporomandibular disorders: a review. J Orofac Pain 9(1): 73-90.

Millstein P.L. (1984). A method to determine occlusal contact and noncontact areas: preliminary report. J Prosthet Dent 52(1): 106-10.

Motsch A. (1978). Funktionsorientierte Einschleiftechnik für das natürliche Gebiss. München, Wien, Carl Hanser Verlag.

Reitmeier B., Schwenzer N., Ehrenfeld M. (2006). Einführung in die Zahnmedizin. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Riise C. (1982). A clinical study of the number of occlusal tooth contacts in the intercuspal position at light and hard pressure in adults. Journal of oral rehabilitation 9(6): 469.

Riise C., Ericsson S.G. (1983). A clinical study of the distribution of occlusal tooth contacts in the intercuspal position at light and hard pressure in adults. J Oral Rehabil 10(6): 473-80.

Schwenzer N., Ehrenfeld M. (2000). Zahn Mund und Kieferkrankheiten. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Schwenzer N., Franz G., Graber G., Jüde H.D., Körber E., Lehmann K.M., Roßbach A., Weber H. (1994). Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Prothetik und Werkstoffkunde, Band 3. Stuttgart - New York, Georg Thieme Verlag.

Sessle B.J. (2005). Biological adaptation and normative values. Int J Prosthodont 18(4): 280-2.

Siebert G. (1996). Atlas der Zahnärztlichen Funktionsdiagnostik. München, Hanser-Verlag.

Thomas P.K., Tateno G. (1982). Die Gnatologische Okklusion, die Wissenschaft der organischen Okklusion. Berlin, Quintessenz-Verlag.

Wang H.Y. (1993). [The functional occlusal contact area and masticatory efficiency in complete denture]. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi 28(1): 23-5, 64.

Woda A., Gourdon A.M., Faraj M. (1987). Occlusal contacts and tooth wear. J Prosthet Dent 57(1): 85-93.

9 Danksagung

Zu allererst gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr. Ulrich Stüttgen für die Überlassung des Dissertationsthemas und vor allem für die hervorragende und herzliche Betreuung während dieser Dissertation.

Herr Prof. Dr. Bernd Kordaß und seinem Team haben mir diese Arbeit erst möglich gemacht, indem sie nicht nur bei der Entwicklung der Bissgabeln sehr hilfreich waren, sondern auch die notwendige Software zur Auswertung der Bisse geschaffen und zur Verfügung gestellt haben. Besonders bedanken möchte ich mich deshalb bei Herrn Prof. Dr. Kordaß für seine umfangreiche Unterstützung vor allem in der Entstehungsphase dieser Arbeit, aber auch bei seinem Mitarbeiter Herrn Dipl. Math. Sebastian Ruge, der mir jederzeit mit Rat und Tat bei der Anwendung der Software zur Seite stand.

In ganz besonderer Weise möchte ich mich auch bei Herrn Prof. em. Dr. Joachim Krauth bedanken, der mich im statistischen Teil dieser Arbeit sehr umfangreich unterstützt hat. Aber auch seine konstruktive Kritik und ständige Motivation haben mir sehr geholfen.

Nachdem die Planungsphase der Aluminiumbissgabeln beendet war, stand mir bei der Umsetzung und Modifizierung maßgeblich Herrn Andreas Korth (Fa. Metallbau Korth, 41516 Grevenbroich) zur Seite. Vielen Dank.

Für das zur Verfügung gestellte Futar-Scan[®] bedanke ich mich bei der Firma Kettenbach (35713 Eschenburg).

Herrn Guido Schröder und Herrn Bernhard Böing möchte ich für die Unterstützung und Problembewältigung – zu jeder Zeit – hinsichtlich des Gesamtbildes bzw. der Formatierung der Arbeit bedanken.

Herrn Peter Sadowski danke ich in diesem Zusammenhang für seinen kritischen Blick auf diese Arbeit.

Ganz herzlichen und besonderen Dank möchte ich Herrn Bernhard Böing darüber hinaus aussprechen: Er hat maßgeblich zur Entscheidung beigetragen, die allgemei-

ne Hochschulreife auf dem zweiten Bildungsweg zu erwerben, wodurch das Studium der Zahnmedizin für mich erst möglich wurde.

Vielen herzlichen Dank an meine Frau und Kinder, die mich während des gesamten Weges jederzeit unterstützt haben und leider viel Zeit ohne meine Anwesenheit verbringen mussten.

10 Anhang

Kontaktpunktdaten der verschiedenen Bisse

Die Tabellen 2 – 9 bilden die Grundlage für sämtliche statistischen Berechnungen und für die Diagramme 1 und 3 (s. S. 34 und 36).

Die Tabellen 10 – 17 bilden die Grundlage für das Diagramm 2 (s. S. 34)und bezieht sich lediglich auf eine Auswahl von Probanden, wie es auf der Seite 35 beschrieben wurde.

Die Abkürzungen: m = männlich, w = weiblich

Tabelle 2: Kontaktpunkte, Biss 1, linke Seite

Proband	Probandenbiss 1	Linke Seite						Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämolare	2. Prämolare	1. Molar	2. Molar		
1w	Frauen	0	0	1	2	3	3	1	1,43	1,27
2w		2	2	1	4	5	5	5	3,43	1,72
3w		0	0	1	2	3	2	3	1,57	1,27
4w		0	0	0	1	1	3	2	1,00	1,15
5w		1	0	0	1	1	0	2	0,71	0,76
6w		2	0	2	2	2	2	3	1,86	0,90
7w		0	0	0	0	0	1	2	0,43	0,79
8w		0	1	0	2	3	2	3	1,57	1,27
9w		1	1	1	1	3	3	4	2,00	1,29
10w		1	0	0	1	2	2	2	1,14	0,90
11w		0	0	0	1	1	2	1	0,71	0,76
12w		2	1	0	1	2	2	1	1,29	0,76
13m	Männer	1	1	1	1	2	3	1	1,43	0,79
14m		1	1	1	1	1	3	2	1,43	0,79
15m		0	1	1	3	3	4	5	2,43	1,81
16m		0	0	1	4	4	8	6	3,29	3,09
17m		1	2	2	3	3	5	2	2,57	1,27
18m		0	0	0	1	0	0	0	0,14	0,38
19m		2	2	1	2	3	3	3	2,29	0,76
20m		0	0	0	2	4	7	5	2,57	2,82
21m										
	Mittel	0,70	0,60	0,65	1,75	2,30	3,00	2,65	11,65	
	Standardabweichung	0,80	0,75	0,67	1,07	1,34	2,03	1,63	6,26	
	SEM	0,17	0,16	0,15	0,23	0,29	0,44	0,36	1,37	
	Mittel - Frauen	0,75	0,42	0,50	1,50	2,17	2,25	2,42	10,00	
	Mittel - Männer	0,63	0,88	0,88	2,13	2,50	4,13	3,00	14,13	

Tabelle 3: Kontaktpunkte, Biss 1, rechte Seite

Proband	Probandenbiss 1	Rechte Seite						Gesamt. Re	Mittelw. Re	Stabw. Re
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
1w	Frauen	0	1	1	2	2	5	17	2,43	2,23
2w		2	1	1	2	3	5	20	2,86	1,95
3w		0	0	0	1	0	2	4	0,57	0,79
4w		0	0	0	1	1	2	7	1,00	1,15
5w		0	0	1	1	1	2	6	0,86	0,89
6w		1	0	1	2	3	3	14	2,00	1,41
7w		0	0	0	0	1	2	5	0,71	0,95
8w		1	1	2	3	2	2	15	2,14	1,07
9w		4	1	0	1	2	3	13	1,86	1,35
10w		1	0	1	2	2	3	15	2,14	1,95
11w		0	0	0	1	2	2	9	1,29	1,50
12w		2	3	0	0	1	3	10	1,43	1,27
13m	Männer	1	0	1	0	0	0	2	0,29	0,49
14m		0	0	1	0	0	1	3	0,43	0,53
15m		0	0	1	3	3	4	14	2,00	1,63
16m		1	0	0	1	1	4	13	1,86	2,27
17m		1	2	2	2	3	2	14	2,00	0,58
18m		0	0	1	2	1	2	9	1,29	1,11
19m		2	0	0	1	2	1	8	1,14	0,90
20m		0	0	0	2	4	1	12	1,71	2,06
21m		0	0	0	1	3	5	10	1,71	2,06
		0,80	0,45	0,65	1,35	1,65	2,35	10,50		
		1,06	0,83	0,67	0,93	1,09	1,86	4,97		
		0,23	0,18	0,15	0,20	0,24	0,41	1,08		
		0,92	0,58	0,58	1,33	1,67	2,67	11,25		
		0,63	0,25	0,75	1,38	1,63	1,88	9,38		

Tabelle 4: Kontaktpunkte, Biss 2, linke Seite

Proband	Probandenbiss 2	Linke Seite						Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämolare	2. Prämolare	1. Molar	2. Molar		
1w	Frauen	0	0	1	1	0	2	3	1,00	1,15
2w		0	1	1	2	4	5	5	2,57	2,07
3w		0	0	1	2	1	2	4	1,43	1,40
4w		0	0	0	1	2	4	4	1,57	1,81
5w		0	0	0	1	1	3	3	1,14	1,35
6w		2	2	2	0	2	5	3	2,29	1,50
7w		0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
8w		2	1	1	3	5	3	4	2,71	1,50
9w		1	1	1	1	3	1	1	1,29	0,76
10w		0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
11w		2	0	0	1	1	2	1	1,00	0,82
12w		2	1	1	1	2	2	1	1,43	0,53
13m	Männer	1	0	1	2	1	1	1	1,00	0,58
14m		0	0	1	1	2	6	2	1,71	2,06
15m		0	2	2	3	2	3	3	2,14	1,07
16m		2	0	1	3	3	8	7	3,43	2,99
17m		0	2	2	3	1	4	3	2,14	1,35
19m		0	0	0	2	1	4	0	1,00	1,53
20m		2	2	1	2	3	3	5	2,57	1,27
21m		0	0	0	2	5	7	5	2,71	2,93
		Mittel	0,70	0,60	1,55	1,95	3,25	2,75	11,60	
		Standardabweichung	0,92	0,82	1,00	1,50	2,17	1,97	6,35	
		SEM	0,20	0,18	0,22	0,33	0,47	0,43	1,39	
		Mittel – Frauen	0,75	0,50	1,08	1,75	2,42	2,42	9,58	
		Mittel – Männer	0,63	0,75	2,25	2,25	4,50	3,25	14,63	

Tabelle 5: Kontaktpunkte, Biss 2, rechte Seite

Proband	Probandenbiss 2	Rechte Seite						Gesamt. Re	Mittelw. Re	Stabw. Re
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
1w	Frauen	0	1	1	2	2	1	9	1,29	0,76
2w		0	0	1	2	5	4	15	2,14	1,95
3w		0	0	0	1	2	3	7	1,00	1,15
4w		0	0	0	2	3	2	8	1,14	1,21
5w		0	0	1	3	4	5	17	2,43	2,07
6w		0	1	0	2	5	2	12	1,71	1,70
7w		0	0	0	0	2	2	4	0,57	0,98
8w		1	1	2	4	4	2	16	2,29	1,25
9w		2	0	0	1	4	4	13	1,86	1,68
10w		0	0	0	1	6	4	14	2,00	2,38
11w		2	0	0	1	3	2	10	1,43	1,13
12w		2	0	0	0	3	1	7	1,00	1,15
13m	Männer	1	0	1	0	0	0	2	0,29	0,49
14m		0	0	1	3	5	6	16	2,29	2,43
15m		0	0	0	1	2	1	4	0,57	0,79
16m		2	0	0	1	4	5	13	1,86	1,95
17m		0	0	0	2	3	1	8	1,14	1,21
18m		0	0	0	1	1	1	4	0,57	0,53
19m		2	0	0	1	2	1	8	1,14	0,90
20m		0	0	0	2	5	1	12	1,71	2,06
21m		0	0	0	1,50	1,85	2,40	9,95		
	Mittel	0,60	0,15	0,35	1,05	1,74	1,70	4,54		
	Standardabweichung	0,88	0,37	0,59	1,09	0,38	0,37	0,99		
	SEM	0,19	0,08	0,13	0,23	0,24	0,37	0,99		
	Mittel – Frauen	0,58	0,25	0,42	1,58	2,00	2,67	11,00		
	Mittel – Männer	0,63	0,00	0,25	1,38	1,63	2,00	8,38		

Tabelle 6: Kontaktpunkte, Biss 3, linke Seite

Proband	Probandenbiss 3	Linke Seite							Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol	2. Prämol	1. Molar	2. Molar			
1w	Frauen	0	0	1	3	4	6	2	16	2,29	2,21
2w		1	1	1	0	0	0	0	3	0,43	0,53
3w		0	0	0	2	2	2	2	8	1,14	1,07
4w		0	0	0	1	2	4	3	10	1,43	1,62
5w		0	0	0	1	1	1	3	6	0,86	1,07
6w		2	1	0	0	2	0	2	7	1,00	1,00
7w		0	0	0	2	2	1	1	6	0,86	0,90
8w		1	1	2	3	5	2	2	16	2,29	1,38
9w		1	1	1	1	3	1	1	9	1,29	0,76
10w		0	1	1	1	1	1	0	5	0,71	0,49
11w		0	0	0	1	1	1	1	4	0,57	0,53
12w		2	1	1	2	4	8	4	22	3,14	2,48
13m	Männer	0	0	0	1	1	1	1	4	0,57	0,53
14m		0	0	1	1	2	3	2	9	1,29	1,11
15m		1	2	2	2	1	2	2	12	1,71	0,49
16m		0	0	1	2	3	8	6	20	2,86	3,08
17m		0	1	1	3	3	4	5	17	2,43	1,81
19m		0	0	0	1	2	4	0	7	1,00	1,53
20m		2	2	1	2	3	3	3	16	2,29	0,76
21m		0	0	0	2	2	3	4	11	1,57	1,62
		Mittel	0,50	0,55	1,55	2,20	2,75	2,20	10,40		
		Standardabweichung	0,76	0,69	0,67	1,24	2,36	1,64	5,64		
		SEM	0,17	0,15	0,15	0,27	0,51	0,36	1,23		
		Mittel – Frauen	0,58	0,50	0,58	2,25	2,25	1,75	9,33		
		Mittel – Männer	0,38	0,63	0,75	2,13	3,50	2,88	12,00		

Tabelle 7: Kontaktpunkte, Biss 3, rechte Seite

Proband	Probandenbiss 3	Rechte Seite						Gesamt. Re	Mittelw. Re	Stabw. Re
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol	2. Prämol	1. Molar	2. Molar		
1w	Frauen	1	1	1	2	2	6	5	18	2,57
2w		1	1	1	2	1	4	3	13	1,86
3w		0	0	0	2	1	1	2	6	0,86
4w		0	0	0	1	1	3	2	7	1,00
5w		0	0	1	2	1	1	2	7	1,00
6w		2	0	3	3	3	5	2	18	2,57
7w		0	0	1	2	3	3	1	10	1,43
8w		2	1	2	4	2	4	4	19	2,71
9w		5	1	0	1	2	4	4	17	2,43
10w		1	0	0	1	0	3	4	9	1,29
11w		1	0	0	1	1	4	2	9	1,29
12w		2	3	1	1	3	5	4	19	2,71
13m	Männer	1	1	1	0	0	1	1	5	0,71
14m		1	0	1	0	0	1	1	4	0,57
15m		1	1	1	1	1	2	2	9	1,29
16m		0	0	0	1	1	4	5	11	1,57
17m		0	1	2	2	2	2	2	11	1,57
18m		0	0	2	1	0	5	2	10	1,43
19m		2	0	0	1	2	2	1	8	1,14
20m		0	0	0	2	4	5	1	12	1,71
21m		0	0	0	1,50	1,50	3,25	2,50	11,10	2,06
	Mittel	1,00	0,50	0,85	1,50	1,50	3,25	2,50	11,10	
	Standardabweichung	1,21	0,76	0,88	0,95	1,15	1,59	1,36	4,77	
	SEM	0,26	0,17	0,19	0,21	0,25	0,35	0,30	1,04	
	Mittel – Frauen	1,25	0,58	0,83	1,83	1,67	3,58	2,92	12,67	
	Mittel – Männer	0,63	0,38	0,88	1,00	1,25	2,75	1,88	8,75	

Tabelle 8: Kontaktpunkte, Biss 4, linke Seite

Proband	Probandenbiss 4	Linke Seite						Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämolare	2. Prämolare	1. Molar	2. Molar		
1w	Frauen	0	0	1	3	4	6	2	2,29	2,21
2w		0	1	1	3	5	5	5	2,86	2,19
3w		0	0	1	2	2	3	4	1,71	1,50
4w		0	0	0	1	2	6	4	1,86	2,34
5w		1	0	2	2	2	4	4	2,14	1,46
6w		0	0	2	3	3	7	4	2,71	2,43
7w		1	0	0	2	3	3	3	1,71	1,38
8w		0	1	2	2	5	1	2	1,86	1,57
9w		0	1	1	1	3	2	3	1,57	1,13
10w		1	1	1	1	3	8	5	2,86	2,73
11w		0	0	0	1	1	3	2	1,00	1,15
12w		2	1	1	3	3	7	4	3,00	2,08
13m	Männer	1	1	1	2	2	2	3	1,71	0,76
14m		0	0	1	3	2	7	4	2,43	2,51
15m		0	0	1	3	3	4	5	2,29	1,98
16m		0	0	0	2	3	5	5	2,14	2,27
17m		1	2	2	2	3	4	4	2,57	1,13
19m		2	1	0	2	2	3	3	1,86	1,07
20m		2	2	3	4	3	3	4	3,00	0,82
21m		0	0	0	2	5	8	6	3,00	3,32
		Mittel	0,55	0,55	1,00	2,20	2,95	4,55	3,80	15,60
		Standardabweichung	0,76	0,69	0,86	0,83	1,10	2,11	1,11	3,98
		SEM	0,17	0,15	0,19	0,18	0,24	0,46	0,24	0,87
		Mittel – Frauen	0,42	0,42	1,00	2,00	3,00	4,58	3,50	14,92
		Mittel – Männer	0,75	0,75	1,00	2,50	2,88	4,50	4,25	16,63

Tabelle 9: Kontaktpunkte, Biss 4, rechte Seite

Proband	Probandenbiss 4	Rechte Seite						Gesamt. Re	Mittelw. Re	Stabw. Re
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
1w	Frauen	1	1	1	2	2	5	15	2,14	1,46
2w		1	1	1	3	4	8	22	3,14	2,54
3w		0	0	0	1	0	1	4	0,57	0,79
4w		0	0	0	1	1	3	7	1,00	1,15
5w		1	0	1	2	4	4	19	2,71	2,43
6w		0	0	2	3	4	7	18	2,57	2,44
7w		2	0	1	2	3	3	13	1,86	1,07
8w		0	1	2	4	1	4	18	2,57	2,15
9w		1	1	0	1	2	6	16	2,29	2,29
10w		2	1	1	1	1	6	16	2,29	1,98
11w		0	0	0	1	1	4	8	1,14	1,46
12w		2	3	0	1	3	4	15	2,14	1,35
13m	Männer	1	2	1	0	1	2	7	1,00	0,82
14m		0	0	1	3	2	2	15	2,14	2,41
15m		0	0	1	3	3	3	14	2,00	1,63
16m		0	0	0	1	1	5	13	1,86	2,54
17m		1	1	2	2	2	3	14	2,00	0,82
18m		0	0	2	1	1	6	13	1,86	2,12
19m		1	0	0	1	1	1	4	0,57	0,53
20m		0	0	0	2	5	7	15	2,14	2,79
21m		0	0	0	1	1	0	7	1,00	0,82
		0	0	0	1	2	2	15	2,14	2,41
		0	0	1	3	2	2	14	2,00	1,63
		0	0	0	1	1	5	13	1,86	2,54
		1	1	2	2	2	3	14	2,00	0,82
		0	0	2	1	1	6	13	1,86	2,12
		1	0	0	1	1	1	4	0,57	0,53
		0	0	0	2	5	7	15	2,14	2,79
		Mittel	0,65	0,55	0,80	1,75	4,20	13,30		
		Standardabweichung	0,75	0,83	0,77	1,02	2,02	4,92		
		SEM	0,16	0,18	0,17	0,22	0,44	1,07		
		Mittel – Frauen	0,83	0,67	0,75	1,83	4,58	14,25		
		Mittel – Männer	0,38	0,38	0,88	1,63	3,63	11,88		

Tabelle 10: Biss 1, linke Seite

Proband	Probandenbiss 1	Linke Seite						Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
2w	Frauen	2	2	1	4	5	5	24	3,43	1,72
5w		1	0	0	1	1	0	5	0,71	0,76
6w		2	0	2	2	2	3	13	1,86	0,90
8w		0	1	0	2	3	3	11	1,57	1,27
9w		1	1	1	1	3	4	14	2,00	1,29
10w		1	0	0	1	2	2	8	1,14	0,90
11w		0	0	0	1	1	2	5	0,71	0,76
12w		2	1	0	1	2	1	9	1,29	0,76
13m		1	1	1	1	2	3	10	1,43	0,79
14m		1	1	1	1	1	2	10	1,43	0,79
15m		0	1	1	3	3	5	17	2,43	1,81
16m		0	0	1	4	4	6	23	3,29	3,09
17m	Männer	1	2	2	3	3	5	18	2,57	1,27
20m		2	2	1	2	3	3	16	2,29	0,76
	Mittel	1,00	0,86	0,79	1,93	2,50	3,14	13,07		
	Standardabweichung	0,78	0,77	0,70	1,14	1,16	1,92	5,97		
	SEM	0,17	0,17	0,15	0,25	0,25	0,42	1,30		
	Mittel - Frauen	1,13	0,63	0,50	1,63	2,38	2,25	11,13		
	Mittel - Männer	0,83	1,17	1,17	2,33	2,67	4,33	15,67		

Tabelle 11: Biss 1, rechte Seite

Proband	Probandenbiss 1	Rechte Seite						Gesamt. Re	Mittelw. Re	Stabw. Re
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
2w	Frauen	2	1	1	2	3	5	20	2,86	1,95
5w		0	0	1	1	1	2	6	0,86	0,69
6w		1	0	1	2	3	3	14	2,00	1,41
8w		1	1	2	3	2	2	15	2,14	1,07
9w		4	1	0	1	2	3	13	1,86	1,35
10w		1	0	1	2	2	3	15	2,14	1,95
11w		0	0	0	1	2	2	9	1,29	1,50
12w		2	3	0	0	1	1	10	1,43	1,27
13m		1	0	1	0	0	0	2	0,29	0,49
14m		0	0	1	0	0	1	3	0,43	0,53
15m		0	0	1	3	3	4	14	2,00	1,63
16m		1	0	0	1	1	4	13	1,86	2,27
17m	Männer	1	2	2	2	3	2	14	2,00	0,58
20m		2	0	0	1	2	1	8	1,14	0,90
	Mittel	1,14	0,57	0,79	1,36	1,71	2,36	11,14		
	Standardabweichung	1,10	0,94	0,70	1,01	0,99	1,39	5,05		
	SEM	0,24	0,20	0,15	0,22	0,22	0,30	1,10		
	Mittel - Frauen	1,38	0,75	0,75	1,50	2,00	2,63	12,75		
	Mittel - Männer	0,83	0,33	0,83	1,17	1,33	2,50	9,00		

Tabelle 12: Biss 2, linke Seite

Proband	Probandenbiss 2	Linke Seite						Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
2w	Frauen	0	1	1	2	4	5	18	2,57	2,07
5w		0	0	0	1	1	3	8	1,14	1,35
6w		2	2	2	0	2	5	16	2,29	1,50
8w		2	1	1	3	5	3	19	2,71	1,50
9w		1	1	1	1	3	1	9	1,29	0,76
10w		0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
11w		2	0	0	1	1	2	7	1,00	0,82
12w		2	1	1	1	2	2	10	1,43	0,53
13m		1	0	1	2	1	1	7	1,00	0,58
14m		0	0	1	1	2	6	12	1,71	2,06
15m		0	2	2	3	2	3	15	2,14	1,07
16m		2	0	1	3	3	8	24	3,43	2,99
17m	Männer	0	2	2	3	1	4	15	2,14	1,35
20m		2	2	1	2	3	3	18	2,57	1,27
	Mittel	1,00	0,86	1,00	1,64	2,14	3,29	12,71		
	Standardabweichung	0,96	0,86	0,68	1,08	1,35	2,16	6,29		
	SEM	0,21	0,19	0,15	0,24	0,29	0,47	1,37		
	Mittel - Frauen	1,13	0,75	0,75	1,13	2,25	2,63	10,88		
	Mittel - Männer	0,83	1,00	1,33	2,33	2,00	4,17	15,17		

Tabelle 13: Biss 2, rechte Seite

Proband	Probandenbiss 2	Rechte Seite						Gesamt. Re	Mittelw. Re	Stabw. Re
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
2w	Frauen	0	0	1	2	3	4	15	2,14	1,95
5w		0	0	1	3	4	5	17	2,43	2,07
6w		0	1	0	2	2	2	12	1,71	1,70
8w		1	1	2	4	2	2	16	2,29	1,25
9w		2	0	0	1	2	4	13	1,86	1,68
10w		0	0	0	1	3	4	14	2,00	2,38
11w		2	0	0	1	2	2	10	1,43	1,13
12w		2	0	0	0	1	3	7	1,00	1,15
13m	Männer	1	0	1	0	0	0	2	0,29	0,49
14m		0	0	1	3	1	6	16	2,29	2,43
15m		0	0	0	1	2	1	4	0,57	0,79
16m		2	0	0	1	1	5	13	1,86	1,95
17m		0	0	0	2	2	3	8	1,14	1,21
20m		2	0	0	1	2	1	8	1,14	0,90
	Mittel	0,86	0,14	0,43	1,57	1,93	3,43	11,07		
	Standardabweichung	0,95	0,36	0,65	1,16	1,00	1,79	4,68		
	SEM	0,21	0,08	0,14	0,25	0,22	0,39	1,02		
	Mittel - Frauen	0,88	0,25	0,50	1,75	2,38	4,25	13,00		
	Mittel - Männer	0,83	0,00	0,33	1,33	2,33	2,33	8,50		

Tabelle 14: Biss 3, linke Seite

Proband	Probandenbiss 3	Linke Seite							Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämolare	2. Prämolare	1. Molar	2. Molar			
2w	Frauen	1	1	1	0	0	0	0	3	0,43	0,53
5w		0	0	0	1	1	1	3	6	0,86	1,07
6w		2	1	0	0	2	0	2	7	1,00	1,00
8w		1	1	2	3	5	2	2	16	2,29	1,38
9w		1	1	1	1	3	1	1	9	1,29	0,76
10w		0	1	1	1	1	1	0	5	0,71	0,49
11w		0	0	0	1	1	1	1	4	0,57	0,53
12w		2	1	1	2	4	8	4	22	3,14	2,48
13m		0	0	0	1	1	1	1	4	0,57	0,53
14m		0	0	1	1	2	3	2	9	1,29	1,11
15m		1	2	2	2	1	2	2	12	1,71	0,49
16m		0	0	1	2	3	8	6	20	2,86	3,08
17m	Männer	0	1	1	3	3	4	5	17	2,43	1,81
20m		2	2	1	2	3	3	3	16	2,29	0,76
	Mittel	0,71	0,79	0,86	1,43	2,14	2,50	2,29	10,71		
	Standardabweichung	0,83	0,70	0,66	0,94	1,41	2,59	1,77	6,41		
	SEM	0,18	0,15	0,14	0,20	0,31	0,57	0,39	1,40		
	Mittel - Frauen	0,88	0,75	0,75	1,13	2,13	1,75	1,63	9,00		
	Mittel - Männer	0,50	0,83	1,00	1,83	2,17	3,50	3,17	13,00		

Tabelle 16: Biss 4, linke Seite

Proband	Probandenbiss 4	Linke Seite						Gesamt. Li	Mittelw. Li	Stabw. Li
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol. 2. Prämol.	1. Molar	2. Molar			
2w	Frauen	0	1	1	3	5	5	20	2,86	2,19
5w		1	0	2	2	4	4	15	2,14	1,46
6w		0	0	2	3	7	4	19	2,71	2,43
8w		0	1	2	2	5	2	13	1,86	1,57
9w		0	1	1	1	3	3	11	1,57	1,13
10w		1	1	1	1	3	5	20	2,86	2,73
11w		0	0	0	1	3	2	7	1,00	1,15
12w		2	1	1	3	7	4	21	3,00	2,08
13m	Männer	1	1	1	2	2	3	12	1,71	0,76
14m		0	0	1	3	7	4	17	2,43	2,51
15m		0	0	1	3	4	5	16	2,29	1,98
16m		0	0	0	2	3	5	15	2,14	2,27
17m		1	2	2	2	4	4	18	2,57	1,13
20m		2	2	3	4	3	4	21	3,00	0,82
	Mittel	0,57	0,71	1,29	2,29	2,93	4,43	16,07		
	Standardabweichung	0,76	0,73	0,83	0,91	1,07	2,17	4,20		
	SEM	0,16	0,16	0,18	0,20	0,23	0,47	0,92		
	Mittel - Frauen	0,50	0,63	1,25	2,00	3,13	4,63	15,75		
	Mittel - Männer	0,67	0,83	1,33	2,67	2,67	4,17	16,50		

Tabelle 17: Biss 4, rechte Seite

Proband	Probandenbiss 4	Rechte Seite						Gesamt. Re	Mittelw. Re	Stabw. Re
		1. Inzisivus	2. Inzisivus	Caninus	1. Prämol	2. Prämol	1. Molar	2. Molar		
2w	Frauen	1	1	1	3	4	8	4	3,14	2,54
5w		1	0	1	2	4	4	7	2,71	2,43
6w		0	0	2	3	4	7	2	2,57	2,44
8w		0	1	2	4	1	4	6	2,57	2,15
9w		1	1	0	1	2	6	5	2,29	2,29
10w		2	1	1	1	1	6	4	2,29	1,98
11w		0	0	0	1	1	4	2	1,14	1,46
12w		2	3	0	1	3	4	2	2,14	1,35
13m		1	2	1	0	1	2	0	1,00	0,82
14m		0	0	1	3	2	2	7	2,14	2,41
15m		0	0	1	3	3	3	4	2,00	1,63
16m		0	0	0	1	1	5	6	1,86	2,54
17m	Männer	1	1	2	2	2	3	3	2,00	0,82
20m		1	0	0	1	1	1	0	0,57	0,53
	Mittel	0,71	0,71	0,86	1,86	2,14	4,21	3,71	14,21	
	Standardabweichung	0,73	0,91	0,77	1,17	1,23	2,01	2,33	4,93	
	SEM	0,16	0,20	0,17	0,25	0,27	0,44	0,51	1,08	
	Mittel - Frauen	0,88	0,88	0,88	2,00	2,50	5,38	4,00	16,50	
	Mittel - Männer	0,50	0,50	0,83	1,67	1,67	2,67	3,33	11,17	