

Aus der Abteilung Kieferorthopädie
(Prof. Dr. med. dent. D. Kubein-Meesenburg)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Untersuchungen über die Breitenrelation der Frontzähne und deren
Missverhältnisse**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Wiebke Göttsche

aus

Leer

Göttingen 2010

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel

I. Berichtstatter: Prof. Dr. med. dent. R. Sadat-Khonsari

II. Berichtstatter: Prof. Dr. med. dent. R. Mausberg

III. Berichtstatter/in:

Tag der mündlichen Prüfung: 07. Dezember 2010

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	2
2.1	Eugnathie.....	2
2.2	Entwicklung der Analyse von Zahngrößendiskrepanzen.....	5
2.3	Bolton-Index	6
2.4	Anwendbarkeit des Bolton-Index auf verschiedene Populationen	8
2.4.1	Geschlecht.....	8
2.4.2	Rassen	8
2.4.3	Verschiedene Malokklusionen.....	9
2.5	Bewertung des Bolton-Index.....	10
2.5.1	Untersuchungen, die den Bolton-Index bestätigen	10
2.5.2	Kritische Anmerkungen zum Bolton-Index.....	10
2.6	Häufigkeit von Zahngrößendiskrepanzen	12
2.7	Vergleich der Zahnbreiten zwischen Ober- und Unterkiefer.....	12
2.8	Möglichkeiten der Kompensation von Zahngrößendiskrepanzen.....	13
2.8.1	Vertikale Frontzahnstufe.....	13
2.8.2	Horizontale Frontzahnstufe.....	14
2.8.3	Angulation	15
2.8.4	Torque.....	17
2.8.5	Zahndicke.....	19
2.8.6	Maßnahmen zur Verkürzung des Zahnbogens	20
2.8.7	Maßnahmen zur Verlängerung des Zahnbogens	20
2.8.8	Zusammenfassung	20
2.9	Die funktionelle Frontzahnzuordnung	21

2.9.1	Nullpunkt und Frontzahnzuordnung	21
2.9.2	Vertikale und sagittale Frontzahnstufe	22
2.9.3	Zahngrößendiskrepanzen aus funktioneller Sicht.....	24
2.10	Messmethoden der Zahnbreite	25
3	PROBLEMSTELLUNG	27
4	MATERIAL und METHODE	29
4.1	Vorversuche	29
4.2	Versuche.....	31
4.2.1	Modelle	31
4.2.2	Messung.....	33
4.2.2.1	Messung der palatinalen Frontzahnbogenlänge mit dem 3D-Digitizer ..	33
4.2.2.2	Messung des Bolton-Index.....	37
4.2.2.3	Messung des Oberkieferfrontzahnbogens von palatinal	37
4.2.2.4	Messung des Overjets und Overbites	38
4.2.2.5	Messung des Torques	38
4.3	Statistische Auswertung	39
4.3.1	Erhobene Parameter in der Hauptuntersuchung	39
4.3.2	Statistische Auswertungsverfahren.....	39
4.3.3	Signifikanz, Fehler 1. und 2. Art, Teststärke	42
4.3.4	Übereinstimmung der Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge in Abhängigkeit der Höhe	43
4.3.5	Regressionsanalyse	43
4.3.6	Validität des Bolton-Index.....	44
4.3.7	Validität der palatinalen Schieblehrenmessung (eigene Methode).....	45
4.3.8	Übersicht.....	47
5	ERGEBNISSE	50

5.1	Methodenfehler	50
5.1.1	Messung der Linien im Ober- und Unterkiefer	50
5.1.2	Messung des Bolton-Index	51
5.1.3	Messung des Overjets, des Overbites, des Torques und der palatinalen Frontzahnbogenlänge mit der Schieblehre	51
5.2	Vergleich der Klasse-I- und Klasse-II-Patienten	51
5.2.1	Frontzahnbogenlängen.....	51
5.2.2	Bolton-Index	56
5.2.3	Torque	57
5.2.4	Vertikale Frontzahnstufe.....	58
5.2.5	Sagittale Frontzahnstufe	59
5.3	Übereinstimmung der Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlängen in Abhängigkeit der Höhe	60
5.4	Differenz zwischen den Zahnbogenlängen im Bereich der Ober- und Unterkieferinzisalkante	62
5.5	Regressionsanalyse	62
5.5.1	Regressionsgleichung in Abhängigkeit der Höhe.....	62
5.5.2	Regressionsgleichung in Abhängigkeit der Höhe und der Länge.....	64
5.6	Validität des Bolton-Index	65
5.6.1	Validität des Bolton-Index unter Betrachtung der einfachen Standardabweichung	65
5.6.2	Validität des Bolton-Index unter Betrachtung der zweifachen Standardabweichung	66
5.7	Validität der palatinalen Schieblehrenmessung (eigene Methode).....	67
5.7.1	Vergleich der 3D-Digitizer-Messung mit der Schieblehrenmessung im Oberkiefer	67

5.7.2	Differenz der palatinalen Oberkieferfrontzahnbogenlänge und der vestibulären Unterkieferfrontzahnbogenlänge mit der Schieblehre gemessen.....	68
5.7.3	Spezifität und Sensitivität	69
6	DISKUSSION.....	71
6.1	Diskussion der Methodik	71
6.1.1	Probandenauswahl	71
6.1.2	Messverfahren.....	71
6.1.2.1	Bestimmung der Frontzahnbogenlänge.....	71
6.1.2.2	Schneidezahnkronenwinkelmesser.....	74
6.1.2.3	Methodenfehler durch die Messung an Gipsmodellen.....	74
6.2	Diskussion der Ergebnisse	74
6.2.1	Zusammenhang zwischen der Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge und der vertikalen Frontzahnstufe	74
6.2.2	Einfluss weiterer Parameter auf die Frontzahnbogenlängen	76
6.2.3	Differenz zwischen den Zahnbogenlängen im Bereich der Ober- und Unterkieferinzisalkante	77
6.2.4	Validität des Bolton-Index.....	79
6.2.5	Validität der palatinalen Schieblehrenmessung (eigene Methode).....	82
6.3	Kritik	84
7	ZUSAMMENFASSUNG	87
8	ANHANG: Tab. 25.....	89
9	LITERATURVERZEICHNIS	92

1 EINLEITUNG

In der kieferorthopädischen Therapie werden häufig Probleme in der finalen Behandlungsphase beobachtet, die auf ein Breitenmissverhältnis der Frontzähne zurückgeführt werden. Um dem vorzubeugen, wird empfohlen, bereits in der Planungsphase der Behandlung eine Modellanalyse durchzuführen. Hierbei werden die mesio-distalen Zahnbreiten im Ober- und Unterkiefer bestimmt. Anschließend werden die gemessenen Strecken in Relation gesetzt, um ein Missverhältnis zwischen Ober- und Unterkieferzahnbogen frühzeitig zu erkennen (Bolton 1958). In der Literatur werden verschiedene Indizes zur Beurteilung dieses Verhältnisses beschrieben (Bolton 1958; Neff 1949; Tonn 1937). Der am häufigsten angewandte Index ist der Bolton-Index (Bolton 1958). In Abhängigkeit der Bolton-Analyse werden in der kieferorthopädischen Praxis Entscheidungen über die Durchführung von Extraktionen, approximalen Schmelzreduktionen, die Eingliederung von Kronen und Veneerschalen getroffen.

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die Frontzahnrelation nicht nur von der mesio-distalen Zahnbreite abhängt. Andere Parameter, wie Angulation, vertikale und horizontale Frontzahnstufe, Torque und Zahndicke beeinflussen maßgeblich die Frontzahnrelation (Bailey 1998; Bredy et al. 1967; Eismann 1983; Halazonetis 1996; Miethke 1972; Philippe 1974), werden aber in der Bolton-Analyse nicht berücksichtigt (Bolton 1958). Nach Kubein-Meesenburg (1985) sollten zur Analyse der Frontzahnrelation keine anatomischen Einheiten, sondern nur die miteinander artikulierenden Flächen herangezogen werden.

Die Studie verfolgt das Ziel, die Validität des Bolton-Index zu prüfen und die ideale Zuordnung der Unterkieferinzisalkanten zu den palatinalen Flächen der Oberkieferfrontzähne zu ermitteln. Mit Hilfe einer neu entwickelten Messmethode sollen funktionelle Aspekte Berücksichtigung finden. Das geschieht, indem miteinander artikulierende Zahnflächen einander gegenübergestellt werden. Durch die Analyse der Oberkieferfrontzahnbogenlängen in unterschiedlichen vertikalen Höhen soll die Beziehung zwischen einer Zahngrößendiskrepanz und dem Overbite genauer untersucht werden.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Eugnathie

Das eugnathe Gebiss ist das anzustrebende Ziel jeder kieferorthopädischen Behandlung. Unter Eugnathie versteht man das morphologisch und funktionell optimale Gebiss. Ein eugnathes Gebiss weist die volle Zahnzahl, normale Zahnformen, einen harmonischen Zahnbogen ohne Engstand und Lücken, keine Einzelzahnabweichungen, eine korrekte Größe der Kieferbasen, eine korrekte Einlagerung der Kieferbasen in den Schädel, eine Übereinstimmung der Kiefermitten, eine reguläre vertikale und horizontale Frontzahnstufe und eine ungehinderte statische und dynamische Okklusion auf (Schopf 2000).

Okklusion ist jeglicher Kontakt der Zähne des Unterkiefers mit denen des Oberkiefers (Diedrich 2000 a). Eine neutrale Okklusion beinhaltet den doppelzahnigen Antagonismus (Schopf 2000), wobei die Hauptantagonisten die gleichartigen Zähne sind und die Nebenantagonisten die jeweiligen Nachbarzähne. Eine Ausnahme stellen die mittleren unteren Schneidezähne dar, sie okkludieren im eugnathen Gebiss mit nur jeweils einem Zahn (Tonn 1937). Die bekannteste Okklusionseinteilung publizierte Angle (1913). Er bezieht sich auf die richtige Stellung des ersten Oberkiefermolaren in sagittaler Richtung. In der klinischen Anwendung und in zahlreichen Literaturangaben erfolgt heute zusätzlich eine Klassifizierung der Eckzahnbeziehung bei der okklusionsbezogenen Einstufung der Angle-Klassen (Kahl-Nieke 2001; Knak 2004; Schopf 2000).

Ein Neutralbiss (s. Abb. 1) wird als Angle-Klasse I bezeichnet.

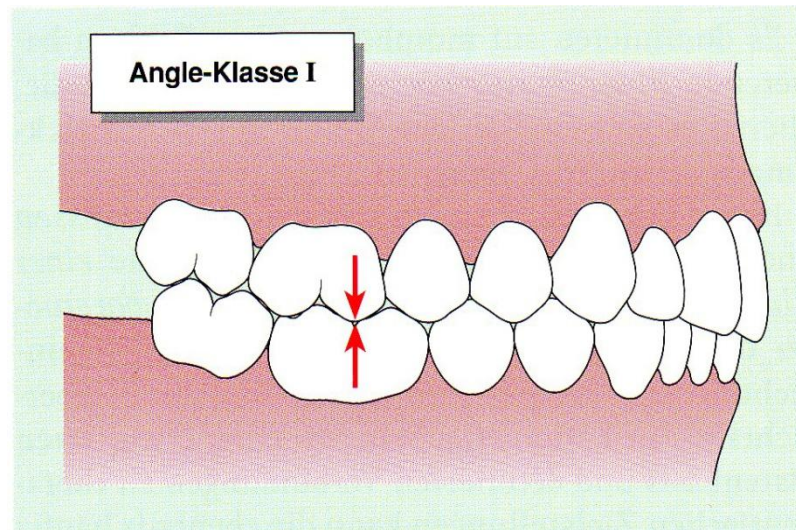


Abb. 1 Schematische Darstellung der Angle-Klasse I. Die Pfeilmarkierung zeigt, dass die mesio-bukkale Höckerspitze des ersten oberen Molaren in die Fissur zwischen den bukkalen Haupthöckern des ersten unteren Molaren greift (Diedrich 2000 a, S. 110)

Ein Distalbiss wird als Angle-Klasse II definiert. Die Unterkategorie Klasse II/1 beschreibt einen Distalbiss mit proklinierter Oberkieferfront (s. Abb. 2), die Bezeichnung Klasse II/2 bezieht sich auf einen Distalbiss mit reklinierter Oberkieferfront (s. Abb. 3).

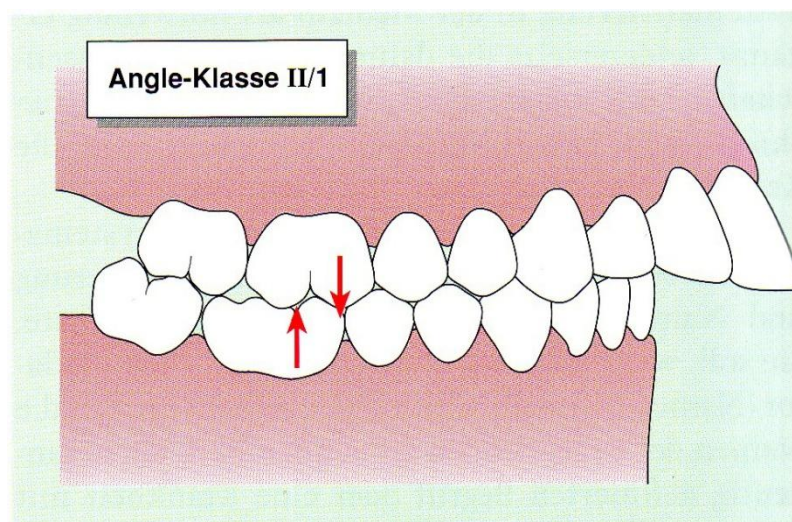


Abb. 2 Schematische Darstellung der Angle-Klasse II/1 bei einem Ausmaß von einer Prämolarenbreite (Diedrich 2000 a, S. 110)

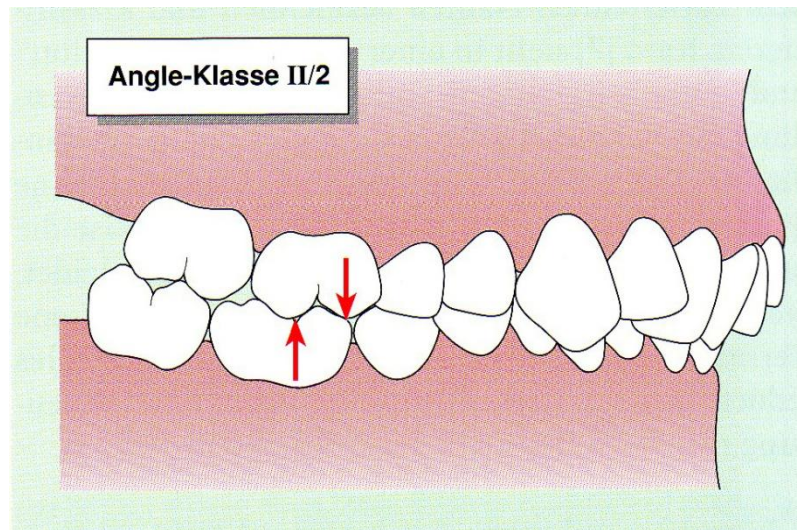


Abb. 3 Schematische Darstellung der Angle-Klasse II/2 bei einem Ausmaß von einer Prämolarenbreite (Diedrich 2000 a, S. 110)

Ein Mesialbiss wird als Angle-Klasse III klassifiziert (s. Abb. 4).

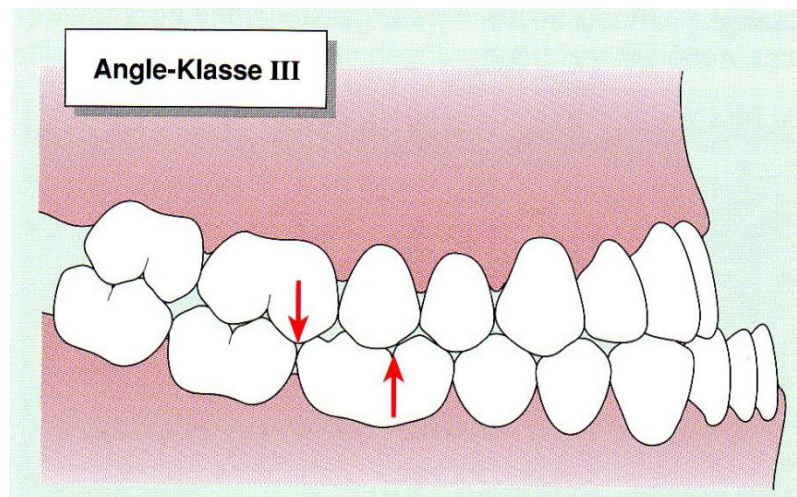


Abb. 4 Schematische Darstellung der Angle-Klasse III bei einem Ausmaß von einer Prämolarenbreite (Diedrich 2000 a, S. 111)

Das Ausmaß der Bissverschiebung wird in Prämolarenbreiten angegeben. Eine Bissverschiebung um eine Prämolarenbreite entspricht einer Verlagerung des Bisses um 7 mm (Diedrich 2000 a). Ist der Biss um eine Prämolarenbreite verschoben, so liegt im Seitenzahnbereich wie beim Neutralbiss eine Zahn-zu-zwei-Zahn Beziehung vor. Bei einer Verschiebung des Bisses um eine halbe Prämolarenbreite (ca. 3,5 mm) liegt eine Zahn-zu-Zahn Beziehung vor. Eine weitere Präzisierung in viertel Prämolarenbreiten ist möglich.

Im eugnathen Gebiss sind die Zahnbögen kongruent. Im Frontzahnbereich ergibt sich eine labiale und in beiden Seitenzahnbereichen eine bukkale Überlappung der Oberkieferzähne über die Unterkieferzähne. Die transversale und sagittale Okklusion im Front- und im Seitenzahnbereich ist durch den interinzisalen und interokklusalen Kontakt sowie durch den Coster-Zahnkegel charakterisiert. Der Coster-Zahnkegel zeigt auf, dass die Oberkieferbasis kleiner ist als die sagittale und transversale Ausdehnung der Zahnbögen und die Unterkieferbasis. Das ergibt eine bimaxilläre Labialneigung der Frontzähne, eine Lingualneigung der Unterkieferseitenzähne sowie eine Bukkalneigung der Oberkiefer-Seitenzähne. Durch die Neigung der Front- und Seitenzähne wird ein größtmöglicher Vielpunktkontakt bei Okklusion ermöglicht (Diedrich 2000 a).

Die Frontzähne sind für eine eugnathe Okklusion von größter Bedeutung. Sie müssen viele wichtige Aufgaben im stomatognathen System erfüllen. Für die Ästhetik, bei der Lautbildung und beim Abbeißen der Nahrung spielen sie eine wichtige Rolle (McHorris 1980). Auch aus funktioneller Sicht sind sie bedeutend, da sie den Grundstein für eine optimale Seitenzahnverzahnung legen (Andrews 1972).

Andrews (1972) formulierte die sechs Schlüssel zur Idealokklusion. Danach weisen nicht kieferorthopädisch behandelte eugnathe Gebisse folgende Eigenschaften auf:

1. Die mesio-bukkale Höckerspitze des ersten oberen Molaren greift in die Fissur zwischen den beiden bukkalen Haupthöckern des unteren ersten Molaren.
2. Bei der Kronenangulation befindet sich der gingivale Anteil der Längsachse weiter distal als der inzisale Anteil.
3. Der Wurzeltorque ist korrekt eingestellt.
4. Es liegen keine Rotationen vor.
5. Die Approximalkontakte sind stramm, es sind keine Lücken vorhanden.
6. Die Okklusionsebene ist flach, die Spee'sche Kurve ist höchstens leicht ausgeprägt.

Diese sechs Eigenschaften sollen bei der Einstellung einer optimalen Okklusion berücksichtigt werden (Andrews 1972).

2.2 Entwicklung der Analyse von Zahngrößendiskrepanzen

Probleme bei der Einstellung einer korrekten Frontzahnokklusion mit dem richtigen vertikalen Überbiss am Ende einer kieferorthopädischen Behandlung sind häufig. Die

Ursache kann ein Missverhältnis der mesio-distalen Zahnbreite zwischen Ober- und Unterkiefer sein (Neff 1949). In diesem Fall kann keine harmonische Okklusion geschaffen werden (Tonn 1937). Die älteste Methode, eine Zahngrößendiskrepanz zu diagnostizieren, ist das diagnostische Set-up. Dabei werden die Zähne auseinander gesägt und von der Basis des Modells abgelöst. Anschließend werden sie mit Wachs in der richtigen Position aufgestellt. Da das Verfahren kompliziert und zeitaufwendig ist, wurde im Laufe der Zeit versucht eine Zahngrößendiskrepanz durch das Ausmessen der mesio-distalen Zahnbreiten zu diagnostizieren.

Bei der Untersuchung von Gebissen mit perfekter Okklusion wurde herausgefunden, dass die Summe der vier oberen Schneidezahnbreiten sich zu der Summe der unteren vier Schneidezahnbreiten wie 1:0,75 verhält. Die Variationsbreite beträgt 1:0,68 bis 1:0,8. Die minimalen und maximalen Werte sind selten und müssen zu den Anomalien gezählt werden (Tonn 1937).

Neff (1949) stellt einen Koeffizienten vor, bei dem die Summe der oberen Schneidezähne durch die Summe der unteren Schneidezähne geteilt wird. Der Idealwert beträgt 1,2 bis 1,22, die Variationsbreite reicht von 1,17 bis 1,41. Ein gutes Zahngrößenverhältnis ist zu erwarten, wenn die Oberkieferzähne 22 – 36 % breiter sind als die Unterkieferzähne. Bei einer Abweichung von diesen Werten werden therapeutische Schritte wie die approximale Schmelzreduktion oder Extraktionen empfohlen (Neff 1957).

2.3 Bolton-Index

Die am meisten zitierte Arbeit zum Thema Zahngrößendiskrepanzen wurde von Bolton (1958) verfasst. War die kieferorthopädische Einstellung einer Normokklusion nicht möglich, so wurden unter anderem Zahngrößendiskrepanzen dafür verantwortlich gemacht. Ziel der Arbeit war es eine Methode zu finden, um Zahngrößendiskrepanzen zu diagnostizieren. Dazu wurde die mesio-distale Zahngröße an 55 Modellen mit ausgezeichneter Okklusion bestimmt (s. Abb. 5). Davon waren 44 Patienten kieferorthopädisch behandelt worden, die restlichen elf Modelle waren von unbehandelten Fällen. Die Messung wurde mit einem bis zu einem viertel Millimeter genauen Stechzirkel durchgeführt.

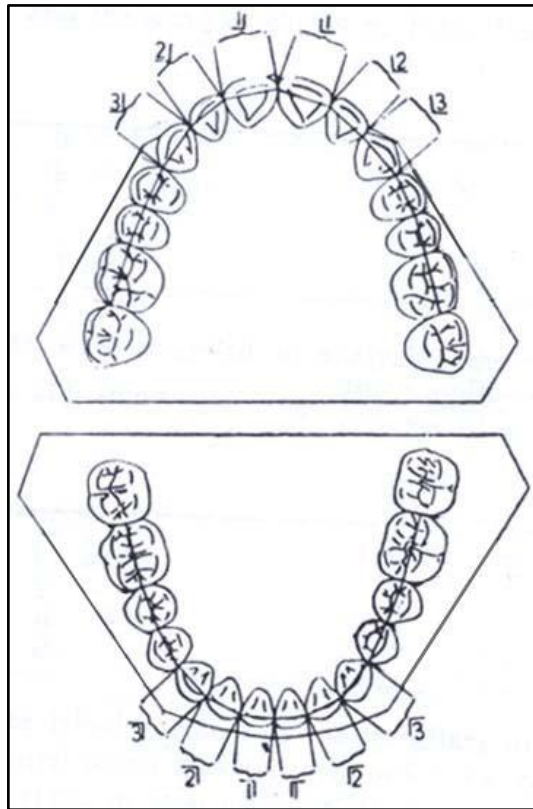


Abb. 5 Messung der mesio-distalen Zahnbreiten nach Bolton (1958), S. 114

Als Hilfestellung sowohl für die Diagnose als auch für die Behandlung einer Zahngrößendiskrepanz im Frontzahnbereich, bildete Bolton (1958) einen Index. Dieser Frontzahnindex, auch als „anterior ratio“ bezeichnet, wird errechnet, indem der Quotient aus der Summe der Unterkieferfrontzähne und der Summe der Oberkieferfrontzähne gebildet wird. Dieser Index wird im weiteren Kontext als „Bolton-Index“ bezeichnet.

$$\frac{\text{Summe der 6 Unterkieferfrontzähne}}{\text{Summe der 6 Oberkieferfrontzähne}} \times 100 = \text{anterior ratio}$$

Der Bolton-Index beträgt im Mittel 77,2 % mit einer Standardabweichung von 1,65. Liegt der errechnete Quotient eines Patienten außerhalb des Intervalls einer Standardabweichung, so liegt nach Bolton (1958) eine Zahngrößendiskrepanz vor. Als Therapie der Wahl schlägt er eine approximale Schmelzreduktion, eine Zahnextraktion oder approximale Kompositaufbauten vor.

Bei der Interpretation des Bolton-Index ist es relativ, ob ein Überschuss in einem Kiefer oder ein Unterschuss in dem anderen Kiefer vorliegt. Die Bildung des Quotienten wird als Screeningmaßnahme eingestuft. Eine Durchführung ist schnell und unkompliziert. Wird aufgrund dessen eine Zahngrößendiskrepanz vermutet, so empfiehlt es sich, ein diagnostisches Set-up durchzuführen, um weitere Details der Malokklusion zu erfassen (Bolton 1958).

2.4 Anwendbarkeit des Bolton-Index auf verschiedene Populationen

2.4.1 Geschlecht

In zahlreichen Untersuchungen wird bestätigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Patienten bezüglich Zahngrößendiskrepanzen gibt (Al-Khateeb und Abu Alhaija 2006; Araujo und Souki 2003; Bailey 1998; Basaran et al. 2006; Endo et al. 2007; Gaidyte et al. 2003; Kreis 1990; Othman und Harradine 2006; Paredes et al. 2006 b; Ta et al. 2001; Tadesse et al. 2008). Der mittlere Bolton-Index von 77,2 % gilt für beide Geschlechter.

Miethke (1972) hingegen findet bei Jungen häufiger Bolton-Diskrepanzen als bei Mädchen. Das sieht er als Indiz dafür, dass die Morphogenese beim weiblichen Geschlecht ungestörter abläuft als bei männlichen Individuen. Das weibliche Genom gilt mit seinen zwei X-Chromosomen als stabiler.

In vereinzelt Untersuchungen wiesen männliche kieferorthopädische Patienten häufiger zu große Unterkieferfrontzähne auf, weibliche Patienten dagegen tendierten zu vergrößerten Oberkieferfrontzähnen (Paersch 1990). Der Bolton-Index ist damit im Durchschnitt bei Männern um 0,63 - 1,01 % größer als bei Frauen (Lavelle 1972).

2.4.2 Rassen

Die Zulässigkeit des mittleren Bolton-Index von 77,2 % wurde an verschiedenen ethnischen Gruppen überprüft, da die Zahngröße zwischen den unterschiedlichen Rassen variierte (Bailit 1975). Der Mittelwert wurde nach Untersuchung weißer amerikanischer Patienten errechnet (Bolton 1958). Die Diskussion, ob der Mittelwert des Bolton-Index für andere Rassen zutrifft, bleibt ungeklärt. Die These, dass die Frontzahnbreitenrelation vererbbar ist, wird in Untersuchungen gleichgeschlechtlicher Geschwister bestätigt (Baydas et al. 2005). Daraus wird geschlossen, dass der

Mittelwert des Bolton-Index nicht universell bei allen ethnischen Gruppen angewendet werden kann (Laino et al. 2003; Paredes et al. 2006 b). Der mittlere Bolton-Index ist bei den Spaniern, Japanern und bei den dominikanischen Amerikanern statistisch signifikant vergrößert (Endo et al. 2007; Paredes et al. 2006 b; Santoro et al. 2000). Ebenfalls für die türkische Bevölkerung ist der Mittelwert nicht zulässig (Uysal und Sari 2005). Beim Vergleich der dunkel- und der hellhäutigen Bevölkerung, findet Lavelle (1972) bei Patienten mit dunkler Hautfarbe die im Mittel größeren Bolton-Indizes, während Smith et al. (2000) die größeren Bolton-Indizes bei kaukasischen Patienten findet. Anderen Untersuchungen zufolge scheint die Rasse der Patienten keinen Einfluss auf die Zahngrößendiskrepanz zu haben (Othman und Harradine 2006; Richardson ER und Malhotra 1975).

2.4.3 Verschiedene Malokklusionen

Zahngrößendiskrepanzen können bei Patienten mit einer Angle-Klasse-I-, -II- und -III-Verzahnung diagnostiziert werden. Die Häufigkeit von Zahngrößendiskrepanzen nimmt zu, wenn die untersuchten Patienten anstatt eines eugnathen Gebisses auch Malokklusionen zeigen (Akyalcin et al. 2006; Crosby und Alexander 1989; Uysal et al. 2005). Es wird kontrovers diskutiert, ob ein Zusammenhang zwischen der Art des Zahngrößenmissverhältnisses und der Molarenverzahnung besteht. Einige Autoren sehen Zahngrößendiskrepanzen als wichtigen Faktor in der Ätiologie von Malokklusionen (Nie und Lin 1999). Sie finden eine erhöhte Prävalenz von Zahngrößenmissverhältnissen mit einem Zahnhartsubstanzüberschuss im Unterkiefer bei Klasse-III-Patienten (Alkofide und Hashim 2002; Nie und Lin 1999; Othman und Harradine 2006). Zahngrößendiskrepanzen im Frontzahnggebiet sind bei dieser Patientengruppe am häufigsten (Fattahi et al. 2006; Ta et al. 2001). Klasse-II-Patienten weisen statistisch signifikant am seltensten Zahngrößendiskrepanzen auf (Araujo und Souki 2003). Besteht jedoch eine Zahngrößendiskrepanz, so ist am häufigsten der Oberkieferfrontzahnbogen zu lang (Nie und Lin 1999). Gegenteiliger Meinung sind viele Autoren, die eine Zahngrößendiskrepanz nicht als die Ursache eines Mesial- oder Distalbisses ansehen (Akyalcin et al. 2006; Al-Khateeb und Abu Alhajja 2006; Basaran et al. 2006; Fleischer-Peters und Stürmer 1972; Gaidyte et al. 2003; Lundström 1954; Ritter 1933; Schuster 1999; Uysal et al. 2005).

2.5 Bewertung des Bolton-Index

2.5.1 Untersuchungen, die den Bolton-Index bestätigen

Die menschliche Dentition ist nicht immer perfekt harmonisch. Häufig besteht nicht nur ein Zahngrößenunterschied zwischen rechter und linker Seite des Zahnbogens, sondern es liegt auch eine Diskrepanz von über 2 mm zwischen Ober- und Unterkiefer vor (Ballard 1956). Kleine Abweichungen spielen eine untergeordnete Rolle. Größere Abweichungen von über 2 mm müssen dagegen bei der Behandlungsplanung berücksichtigt werden (Lundström 1954). Dadurch werden Probleme bei der Einstellung einer korrekten Frontzahnokklusion am Ende der Behandlung verhindert (Ho und Freer 1999). Um Abweichungen der Zahngröße zu diagnostizieren und in die Behandlungsplanung mit einzubeziehen, ist der Bolton-Index ein wichtiges Hilfsmittel. Er dient der Einstellung einer korrekten Okklusion mit einem optimalen sagittalen und vertikalen Überbiss (Laino et al. 2003).

Die Nützlichkeit und Richtigkeit des Bolton-Index wird vielfach bestätigt (Bailey 1998; Ernst 1981; Stifter 1958). Kreis (1990) belegte die Gültigkeit für ein Probandengut, bei dem funktionelle Kriterien besondere Berücksichtigung fanden. Die nach funktionellen Gesichtspunkten ausgesuchten Gebisse hatten Kriterien zu erfüllen wie ein gut ausgeformter Zahnbogen mit einer lückenlosen und rotationsfreien Aufreihung der Zähne. Durch eine korrekte Inklination und Angulation soll eine Belastung der Zähne in ihrer Längsachse erfolgen. Alle Patienten wiesen sowohl in sagittaler als auch in transversaler Richtung eine korrekte Höcker-Fossa-Relation mit einer Zahn-zu-zwei-Zahn-Beziehung auf. Die Spee'sche Kurve verlief flach, eine transversale Kompensationskurve war vorhanden. Es bestand gleichmäßiger Vielpunktkontakt bei maximaler Interkuspitation ohne Vorkontakte. Die Mittellinien stimmten überein. Eine einwandfreie Front- und Eckzahnführung war vorhanden, so dass bei Laterotrusion keine Balance- oder Hyperbalancekontakte entstanden und bei Protrusion eine Disklusion im Seitenzahnbereich erfolgte.

2.5.2 Kritische Anmerkungen zum Bolton-Index

Kritisiert wird der Bolton-Index, weil eine durch diesen Index diagnostizierte Zahngrößendiskrepanz sowohl als Überschuss in einem Kiefer als auch als Unterschuss in dem anderen Kiefer interpretiert werden kann. Bailey (1998) fand heraus, dass die

absolute Größe einer Zahngrößendiskrepanz von dem Kiefer, in dem sie diagnostiziert wird, abhängt. Es wird beispielsweise ein idealer Bolton-Index von 77,2 % mit einer Oberkieferfrontzahnbogenlänge von 46 mm und einer Unterkieferfrontzahnbogenlänge von 35,5 mm zu Grunde gelegt. Bei einer Zahngrößendiskrepanz mit einem Bolton-Index von 73,9 % liegt entweder ein Defizit im Unterkiefer oder ein Überschuss an Zahnmaterial im Oberkiefer vor. Wird das Defizit im Unterkiefer vermutet, so beträgt es 1,5 mm, das heißt die Frontzahnbogenlänge beträgt 34 mm anstatt 35,5 mm. Werden die Oberkieferzähne jedoch als zu breit eingeschätzt, so beträgt der Überschuss an Zahnmaterial nicht 1,5 mm sondern 2 mm, das heißt die Frontzahnbogenlänge beträgt 48 mm anstatt 46 mm. Damit ist die absolute Zahngrößendiskrepanz bei gleichem Bolton-Index im Ober- und Unterkiefer unterschiedlich.

Bei kleinen bis mittleren Zahngrößendiskrepanzen kann ein klinisch akzeptables Resultat erzielt werden, ohne die Zahngröße zu verändern. Sogar Patienten mit einem Bolton-Index, der mehr als eine Standardabweichung vom Idealwert abweicht, können eine akzeptable Okklusion mit einer Klasse-I-Verzahnung haben (Bailey 1998; Heusdens et al. 2000). Deshalb kann der Zahngrößendiskrepanz alleine, bezogen auf die Einstellung einer harmonischen Okklusion, keine allzu große Bedeutung beigemessen werden (Heusdens et al. 2000). Die Ursache einer schlechten Okklusion kann nicht nur in Zahngrößendiskrepanzen gefunden werden (Huang 2003). Auch bei Patienten ohne Zahngrößendiskrepanz kann keine ideale Okklusion garantiert werden (Halazonetis 1996; Paersch 1990). Der Bolton-Index muss an die Zahnbogenform, die Dicke der Schneidekanten und den sagittalen sowie vertikalen Überbiss angepasst werden (Halazonetis 1996). Der Bolton-Index vergleicht lediglich anatomische Einheiten. Funktionelle Zusammenhänge dürfen jedoch nicht außer Acht gelassen werden (Kubein und Krüger 1978 b).

Steadman (1952) berücksichtigt die funktionellen Zahnbreiten, indem er im Oberkiefer die mesio-distalen Breiten der vier Schneidezähne plus der Eckzähne vom mesialen Kontaktpunkt bis zur Mitte der palatinalen Prominenz addiert. Gemessen wird auf Höhe des erwarteten Überbisses. Um die Dicke der Zähne zu berücksichtigen, wird die Hälfte der labio-palatinalen Dicke des oberen mittleren Schneidezahnes von der Summe abgezogen. Im Unterkiefer werden die mesio-distalen Breiten der sechs Frontzähne plus die labio-linguale Dicke des mittleren unteren Schneidezahnes, an der Inzisalkante

gemessen, addiert. Ideal ist ein Verhältnis der Oberkieferfrontzähne zu den Unterkieferfrontzähnen von eins. Liegt das Verhältnis unter eins, so resultiert ein Kopfbiss, über eins dagegen ist der vertikale Überbiss zu groß.

2.6 Häufigkeit von Zahngrößendiskrepanzen

Die Angaben über die Häufigkeit von Zahngrößendiskrepanzen sind in der Literatur sehr unterschiedlich. Der Grund dafür ist in der unterschiedlichen Definition, ab wann von einer Zahngrößendiskrepanz gesprochen wird, zu suchen. Ursprünglich wird von einer Zahngrößendiskrepanz gesprochen, wenn der Bolton-Index mehr als eine Standardabweichung vom Mittelwert abweicht (Bolton 1958). In weiterführenden Publikationen wird jedoch erst eine Abweichung von mehr als zwei Standardabweichungen als klinisch signifikant bezeichnet (Crosby und Alexander 1989).

Bei 5 % (Proffit et al. 1993) bis 54,54 % der Bevölkerung kann eine Zahngrößendiskrepanz diagnostiziert werden (Tadesse et al. 2008). Klinisch signifikante Zahngrößendiskrepanzen weisen 17,4 % (Othman und Harradine 2007 a) bis 30,6 % der Probanden auf (Freeman et al. 1996). Die meisten Autoren fanden eine behandlungsbedürftige Zahngrößendiskrepanz bei 20 - 28 % der Patienten (Crosby und Alexander 1989; Endo et al. 2007; Miethke 1972; Paredes et al. 2006 b; Santoro et al. 2000; Uysal und Sari 2005).

2.7 Vergleich der Zahnbreiten zwischen Ober- und Unterkiefer

Ob die fehlerhaften Zahnbreiten eher im Ober- oder im Unterkiefer zu suchen sind, bleibt ein weiterer Punkt, der in der Literatur nicht einheitlich geklärt wird. So sehen einige Autoren die Hauptursache für Abweichungen von idealen Zahngrößenrelationen bei den Oberkieferfrontzähnen (Eismann 1976; Ernst 1981; Oe und Herren 1971), da diese die größere Breitenvariabilität aufweisen (Oe und Herren 1971). Andere Autoren dagegen finden bei einem Vergleich von Patienten mit einem kleinen und einem großen Bolton-Index, dass die Oberkieferfrontzähne in etwa gleich groß sind, während die Unterkieferzähne deutlich differieren (Bailey 1998; Miethke 1972; Paersch 1990). Othman und Harradine (2007 a) finden die Ursache für Zahngrößendiskrepanzen ebenfalls am häufigsten in zu breiten Unterkieferfrontzähnen.

2.8 Möglichkeiten der Kompensation von Zahngrößendiskrepanzen

Der Bolton-Index berücksichtigt lediglich die mesio-distale Zahnbreite der Frontzähne als Kriterium der Okklusion. Bei einer eugnathen Frontzahnokklusion müssen sich jedoch viele verschiedene Parameter im Normbereich befinden. Overbite, Overjet, Engstand, Lücken, Torque und Angulation müssen bei Aussagen zur Frontzahnverzahnung zusammen betrachtet werden (Cordato 1998). Es ist daher nicht einfach, scharfe Grenzen zwischen einem normalen und einem anormalen Frontzahnbreitenverhältnis zu ziehen (Tonn 1937). Nachfolgend werden die einzelnen Kriterien, die bei der Beurteilung einer Frontzahnokklusion betrachtet werden müssen, detaillierter dargestellt.

2.8.1 Vertikale Frontzahnstufe

Die vertikale Frontzahnstufe, auch als Overbite bezeichnet, ist der Betrag um den die Frontzähne des Oberkiefers die Frontzähne des Unterkiefers in vertikaler Richtung überragen. Der Overbite wird senkrecht zur Okklusionsebene gemessen. Der Idealwert wird mit 2 mm angegeben (Benz et al. 2000).

Ein ausreichender vertikaler Überbiss ist für die Front- und Eckzahnführung wichtig. Nur so kann der Unterkiefer bei Exkursionsbewegungen frei gleiten und dabei die Höcker der Prämolaren und Molaren vollständig geschützt werden. Die Seitenzähne dürfen beim Abbeißen keinen Kontakt haben. Eine Vielzahl von Autoren sieht die ideale Größe der vertikalen Frontzahnstufe jedoch als individuell an. McHorris (1980) stellte fest, dass bei optimalem Überbiss die Schneidekanten der unteren Frontzähne etwas oberhalb des Mittelpunktes der Strecke Inzisalkante-Gingivalsaum der oberen Schneidezähne zu liegen kommen. Jeder Fall sollte individuell in Bezug auf Höckerhöhe, Fossatiefe und Kondylenbahnneigung betrachtet werden. Eine vertikale Stufe von 3 - 4 mm ist nach Kubein-Meesenburg (1985) ideal, wenn dabei die Schneidekante der Unterkieferinzisivi auf dem Umschlagpunkt der oberen palatinalen Konvexität zur Konkavität positioniert ist. Neff (1949) ist der Meinung, dass die Größe der idealen vertikalen Frontzahnstufe von der vertikalen Zahngröße abhängig ist. Dazu wird der Overbite mit Hilfe einer Prozentzahl angegeben. Diese beschreibt den Anteil der Bedeckung des Unterkieferfrontzahnes durch den Oberkieferfrontzahn.

Es wird kontrovers diskutiert, ob individuelle Variationen der vertikalen Frontzahnstufe zum Ausgleich von Zahngrößendiskrepanzen zulässig sind.

In seiner ersten Arbeit findet Bolton (1958) keinen Zusammenhang der vertikalen Frontzahnstufe mit der Zahngröße oder der „anterior ratio“. Der vertikale Überbiss variiert zu stark. Das Ergebnis wird von Sanin und Savara (1971) sowie Schuster (1999) bestätigt.

In seiner zweiten Arbeit publiziert Bolton (1962) jedoch, dass der vertikale Überbiss im Zusammenhang mit Zahngrößendiskrepanzen eine große Rolle spielt. Auch andere Autoren kommen zu diesem Ergebnis (Bredy et al. 1967; Neff 1957).

Zahngrößendiskrepanzen können behoben werden, indem die Größe des Overbites geändert wird (Halazonetis 1996; Lundström 1954). Dadurch entfällt bei zahlreichen Patienten die Notwendigkeit der approximalen Schmelzreduktion (Miethke 1972). Zur Erzielung einer guten Okklusion empfiehlt Neff (1949) den Overbite zu individualisieren. Ein Zahnhartsubstanzüberschuss im Unterkiefer steht in Verbindung mit einem verkleinerten vertikalen Überbiss (Bailey 1998; Paersch 1990). Bei zu knappem Overbite sind ästhetische Probleme und Probleme bei der Frontzahnführung die Folge (Fields 1981), da keine protektive Funktion der Frontzähne für das Seitenzahnggebiet ausgeführt werden kann (Tuverson 1980 a).

2.8.2 Horizontale Frontzahnstufe

Die horizontale Frontzahnstufe, auch als Overjet bezeichnet, ist der Abstand zwischen den Labialflächen der mittleren Unterkieferschneidezähne und der Inzisalkante der oberen mittleren Inzisivi. Sie wird parallel zur Okklusionsebene gemessen. Der Idealwert liegt bei 2 mm (Benz et al. 2000). Die Größe der horizontalen Frontzahnstufe hängt vom Torque und der vertikalen Frontzahnstufe ab. In einem eugnathen Gebiss stehen die Unterkieferfrontzähne mit der Palatinalfläche der Oberkieferfrontzähne in Kontakt. Die ideale funktionelle sagittale Frontzahnstufe nach Kubein-Meesenburg (1985) beträgt 0 mm.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen Zahngrößendiskrepanzen und der horizontalen Frontzahnstufe (Bolton 1958; Bolton 1962). Bei einem Überschuss an Zahnmaterial im Oberkieferzahnbogen ist die mittlere sagittale Frontzahnstufe größer als bei einem zu großen Unterkieferzahnbogen (Bailey 1998; Eismann 1983). Zum Ausgleich einer Zahngrößendiskrepanz ist eine Vergrößerung des Overjets auf Grund ästhetischer und

funktionaler Grenzen weniger geeignet (Fields 1981). Bei einem Überschuss an Zahnmaterial im Oberkiefer würde eine vergrößerte sagittale Stufe eine neutrale Verzahnung im Seitenzahnbereich zulassen. Eine regelrechte Frontzahnführung wäre in diesem Fall aber nicht vorhanden, so dass von dieser Methode abzusehen ist. Trotzdem wird diese Maßnahme zum Ausgleich von Zahngrößendiskrepanzen vorgeschlagen (Halazonetis 1996; Lundström 1954; Neff 1957)

Gegenteilige Beobachtungen, bei denen bei Patienten mit Zahngrößendiskrepanzen keine Veränderung der sagittalen Frontzahnstufe beobachtet werden konnte, wurden ebenfalls publiziert (Jonas und Ritter 1977; Lundström 1955; Sanin und Savara 1971).

2.8.3 Angulation

Die Angulation ist die Bezeichnung für die mesio-distale Orientierung der Zahnachse. Sie wird in Grad angegeben (Benz et al. 2000). Die Normwerte betragen für die mittleren oberen Frontzähne 3° , für die seitlichen oberen Frontzähne 9° und für die Oberkiefer-Eckzähne 6° . Im Unterkiefer betragen die Normwerte für die Inzisivi 0° und für die Eckzähne 5° (Diedrich 2000 b). Die Längsachse der Frontzahnkrone steht gingival distaler als inzisal (Andrews 1972).

Zur Erzielung einer eugnathen Okklusion im Frontzahnbereich ist neben einem ausgeglichenen Breitenverhältnis der Frontzähne eine eugnathe Angulation der Frontzähne zwingend (Bolton 1962). Die Angulation leistet einen entscheidenden Beitrag zur mesio-distalen Breite eines Zahnes. Je weiter die Kronenlängsachse geneigt ist, desto mehr Platz beansprucht der Zahn in mesio-distaler Richtung (s. Abb. 6) (Andrews 1972; Kirschen et al. 2000). Diese Erkenntnis ermöglicht es, Zahngrößendiskrepanzen durch eine Änderung der Angulation auszugleichen. Damit entfällt die Notwendigkeit der approximalen Schmelzreduktion bei zahlreichen Patienten (Halazonetis 1996; Miethke 1972). Der Methode sind ästhetische Grenzen gesetzt (Fields 1981), so dass die Zahnbogenlänge um maximal 2 mm variiert werden kann (Tuversson 1980 a).

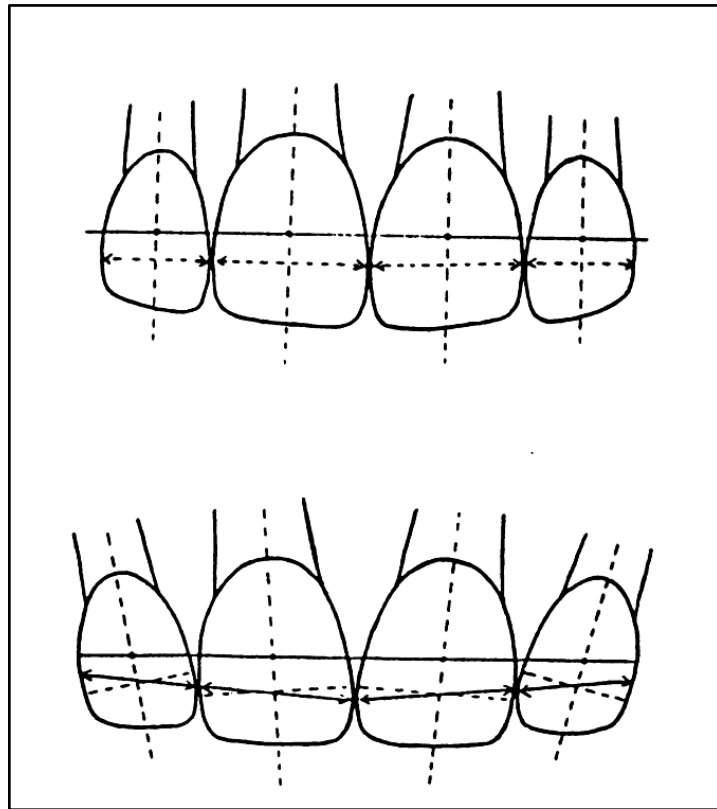


Abb. 6 Schematische Darstellung der Platzverhältnisse von extrem aufrecht stehenden oberen Schneidezähnen (oben) und von normal angulierten Schneidezähnen (unten) (Kirschen et al. 2000, S. 453)

2.8.4 Torque

Der Torque ist, wie in Abb. 7 dargestellt, die Kronenneigung in oro-vestibulärer Richtung (Benz et al. 2000).

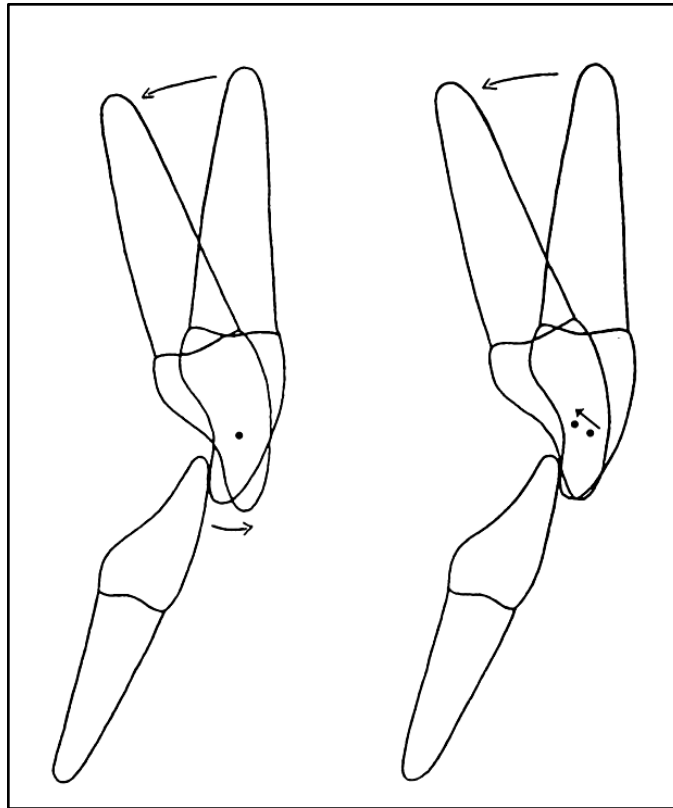


Abb. 7 Überlagerung oberer Frontzähne vor und nach palatinalen Wurzeltorque. Links mit Drehpunkt innerhalb der Krone, rechts mit Drehpunkt am okklusalen Kontaktpunkt. Liegt der Drehpunkt am okklusalen Kontaktpunkt, so verlagert sich der Approximalkontakt nach palatinal und gingival. In beiden Fällen entsteht ein erhöhter Platzbedarf im Zahnbogen (Kirschen et al. 2000, S. 453)

Als Idealwerte werden für den oberen mittleren Frontzahn 20° , für den oberen seitlichen Inzisivus 14° und für den Eckzahn -2° angegeben. Im Unterkiefer sollen idealerweise alle drei Frontzähne einen Torque von 0° haben (Diedrich 2000 b). Der Torquewert der Frontzähne ist von entscheidender Bedeutung. Er trägt zu einer regulären vertikalen und sagittalen Frontzahnstufe bei, die aus geometrisch evidenten Gründen von der Neigung der Schneidezähne in oro-vestibulärer Richtung abhängt (Philippe 1974). Des Weiteren beeinflusst der Frontzahntorque die reguläre Verzahnung im Seitenzahnbereich. Stehen die Frontzähne zu steil, resultiert daraus eine Klasse-II-Relation im Eckzahnbereich, die

oft fälschlicherweise auf eine Zahngrößendiskrepanz zurückgeführt wird (Andrews 1972).

Liegt dagegen eine Zahngrößendiskrepanz vor, kann der Torque zum Ausgleich individuell eingestellt werden. Ein zu großer Oberkieferzahnbogen wird durch einen Steilstand der oberen Inzisivi und einen vergrößerten Labialstand der Unterkieferfrontzähne kompensiert (Bailey 1998; Jonas und Ritter 1977).

Ein zu kurzer Oberkieferzahnbogen kann durch einen um etwa 5° vergrößerten Wurzeltorque (Bailey 1998) um 0,9 – 1 mm verlängert werden (Sangcharearn und Ho 2007 a; Tuverson 1980 a). Die exakte Gradzahl hängt von der Zahnmorphologie ab (s. Abb. 8). Bei parallelen Zahnformen ist die zu erzielende Veränderung der Zahnbogenlänge am größten, gefolgt von tonnenförmigen Zähnen. Nur wenig ändert sich die Zahnbogenlänge bei dreieckigen Zähnen, weil diese ihren Kontaktpunkt in der Nähe der Inzisalkante haben. Dadurch ist der labiale Versatz der Inzisalkante geringer (O'Higgins et al. 1999). Die Frontzähne können nicht unbegrenzt protrudiert werden, da es neben ästhetischen Grenzen zu Problemen bei der Frontzahnführung käme (Fields 1981).

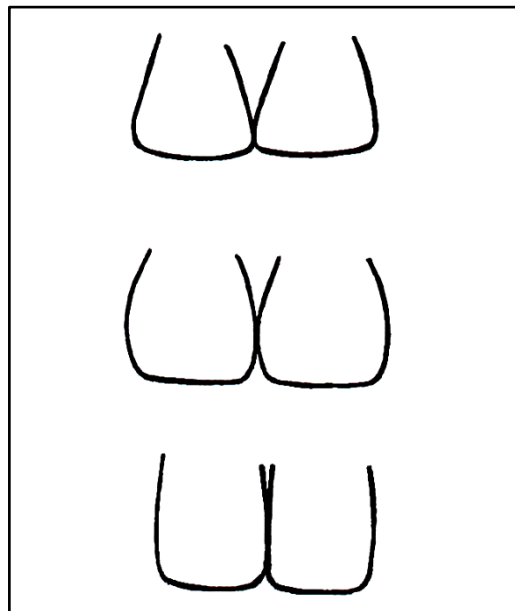


Abb. 8 Unterschiedliche Zahnformen schematisch dargestellt (O'Higgins et al. 1999, S. 101)

Bei einem ausgeglichenen Breitenverhältnis, wird bei protrudierten Frontzähnen zusätzliche Zahnhartsubstanz benötigt, um Lücken im Zahnbogen zu vermeiden (Akyalcin et al. 2006; Bolton 1962; Eismann 1983).

Schuster (1999) sowie Al-Tamimi und Hashim (2005) konnten keine Korrelation zwischen dem Interinzisalwinkel und der „anterior ratio“ finden.

Zusammenfassend wird in der Literatur die Schlussfolgerung gezogen, dass der mesio-distale Platz, der von jedem Zahn benötigt wird, durch den Torque des Zahnes beeinflusst werden kann (Cordato 1995; Steadman 1952). Folglich kommt eine Änderung des Torques in Frage um eine Zahngrößendiskrepanz zu beheben (Halazonetis 1996). Ebenfalls kann eine als Zahngrößendiskrepanz auffallende Fehlverzahnung aus einem fehlerhaften Torquewert und nicht aus einer wirklichen Zahngrößendiskrepanz resultieren (Sangcharearn und Ho 2007 a). Aus diesem Grund entfällt die Notwendigkeit der approximalen Schmelzreduktion bei zahlreichen Patienten (Miethke 1972).

2.8.5 Zahndicke

Wird die mesio-distale Zahnbreite von vestibulär gemessen, so muss die Zahndicke der Oberkieferfrontzähne bei der Diagnose einer Zahngrößendiskrepanz Berücksichtigung finden (Halazonetis 1996; Rudolph et al. 1998). Die Okklusionskontakte liegen im Oberkiefer palatinal, so dass die palatinale Oberkieferfrontzahnbogenlänge aus funktioneller Sicht relevanter ist. Je dicker die Zähne sind, desto größer ist der Unterschied zwischen palatinaler und vestibulärer Frontzahnbogenlänge. Um ein normales Overbite-Overjet-Verhältnis bei überdurchschnittlich ausgeprägten Randleisten zu erzielen, wird ein, von vestibulär gemessen, längerer Oberkieferfrontzahnbogen benötigt (Bolton 1962; Halazonetis 1996; Neff 1949; Rudolph et al. 1998).

Bei extrem ausgeprägten Randleisten kann es notwendig werden die Dicke der Zähne zu reduzieren, um einen normalen vertikalen Überbiss zu ermöglichen (Bolton 1962). Geringere Zahngrößendiskrepanzen können durch eine Modifizierung der Zahndicke ausgeglichen werden (Halazonetis 1996; Miethke 1972). Die Variation der Zahndicke um 1 mm verändert den Bolton-Index bereits um 5 % (Halazonetis 1996). Dadurch entfällt bei zahlreichen Patienten die Notwendigkeit der approximalen

Schmelzreduktion (Miethke 1972). Diskrepanzen in der Zahndicke sind häufiger als Diskrepanzen im mesio-distalen Durchmesser (Neff 1957).

2.8.6 Maßnahmen zur Verkürzung des Zahnbogens

Strippen oder Slicen ist die Reduktion des Schmelzes am Approximalkontakt. Diese Methode kommt zur Anwendung, um eine Zahngrößendiskrepanz auszugleichen (Halazonetis 1996). Die approximale Schmelzreduktion erfolgt in dem Kiefer, in dem eine relativ zu lange Zahnbogenlänge diagnostiziert wird (Fields 1981; Tuverson 1980 a). Das Vorgehen wird durch die Nähe der benachbarten Wurzeln und durch die approximale Dicke des Schmelzes limitiert. Der Zahnbogen kann maximal um 2-2,5 mm (Fields 1981) beziehungsweise um 4 mm (Tuverson 1980 a) mit Hilfe dieser Methode reduziert werden. Ist die Zahngrößendiskrepanz ausgeprägter, so muss bei einem Defizit an Zahnmaterial im Oberkiefer zur Etablierung einer eugnathen Frontzahnokklusion ein unterer Frontzahn extrahiert werden (Halazonetis 1996; Tuverson 1980 a; Tuverson 1980 b). Extraktionen im Oberkiefer werden aus ästhetischen Gründen nicht vorgenommen.

2.8.7 Maßnahmen zur Verlängerung des Zahnbogens

Zum Ausgleich einer relativ zu kurzen Zahnbogenlänge, kann das Defizit an Zahnmaterial durch die Anfertigung von Kronen, Veneers oder approximalen Kompositaufbauten ausgeglichen werden (Fields 1981; Halazonetis 1996; Tuverson 1980 a). Der Zahnersatz hat im Gegensatz zu approximalen Kompositaufbauten den Nachteil, dass er erst nach Abschluss der aktiven kieferorthopädischen Behandlung eingegliedert werden kann (Waldman 2008). Das Verfahren ist invasiv. Es besteht die Gefahr der Pulpa-Schädigung bei der Präparation der Zähne zur Aufnahme des Zahnersatzes. Die mit Hilfe der Schmelz-Ätz-Technik befestigten Kompositaufbauten dagegen (Fields 1981) verfärben sich mit der Zeit und müssen im Laufe des Lebens mehrmals ausgetauscht werden (Waldman 2008).

2.8.8 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Frontzahnokklusion von vielen Parametern abhängt. Eine komplexe Betrachtung ist notwendig. Liegt eine Zahngrößendiskrepanz vor, so kann diese durch die Veränderung der vertikalen Frontzahnstufe, der Angulation, des Torquewertes, der Zahndicke, durch approximale

Schmelzreduktion, Extraktionen, Eingliederung von Kronen und approximale Kompositaufbauten kompensiert werden. Die Zahndicke kann nur bedingt beeinflusst werden. Approximale Schmelzreduktion, Extraktion, Eingliederung von Zahnersatz und approximale Kompositaufbauten sind invasive Therapieansätze, die möglichst vermieden werden sollten. Deshalb werden drei Parameter bevorzugt, wenn es um die Kompensation einer Zahngrößendiskrepanz geht: die vertikale Frontzahnstufe, die Angulation und der Torque.

2.9 Die funktionelle Frontzahnzuordnung

2.9.1 Nullpunkt und Frontzahnzuordnung

Bei der funktionellen Frontzahnzuordnung wird die Konvexität der Unterkieferinzisalkante am Nullpunkt positioniert (Kubein und Krüger 1978 b). Der Nullpunkt wird definiert als der Wendepunkt zwischen der palatinalen Konkavität und der zervikal gelegenen Konvexität des Oberkieferschneidezahnes im Sagittalschnitt gesehen (Krüger und Kubein 1978). An diesem Punkt erreichen die Scher- und Normalkräfte, und damit die effektiven Hebelarme, gemeinsam ihr Minimum (Kubein-Meesenburg 1985) (s. Abb. 9).

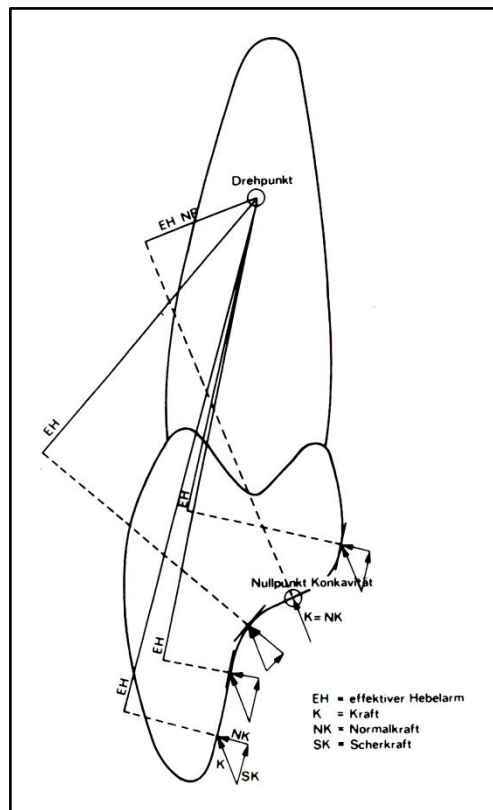


Abb. 9 Kraftwirkung auf die palatinale Konkavität (Kubein-Meesenburg 1985, S. 23)

Auf diese Weise ist eine optimale Belastung des Oberkieferfrontzahnes gewährleistet (Kubein und Krüger 1978 a). Die horizontale Verbindungslinie aller Nullpunkte und die Verbindung der Unterkieferinzisalkanten werden als Nullpunktlinien bezeichnet (Wenzel 1979).

2.9.2 Vertikale und sagittale Frontzahnstufe

Kubein und Wenzel (1982 b) beziehen die sagittale und vertikale Messung der Frontzahnstufe auf den Nullpunkt. Idealerweise ist die Unterkieferinzisalkante auf dem Nullpunkt positioniert, so dass die funktionelle sagittale und vertikale Stufe 0 mm ergibt (s. Abb. 11a und Abb. 13a). Dies entspricht einer statistisch sagittalen Frontzahnstufe von 2 mm und einer statistisch vertikalen Frontzahnstufe von 4 mm, welche von Oberkiefer- und Unterkieferinzisalkante gemessen werden (s. Abb. 10 und Abb. 12).

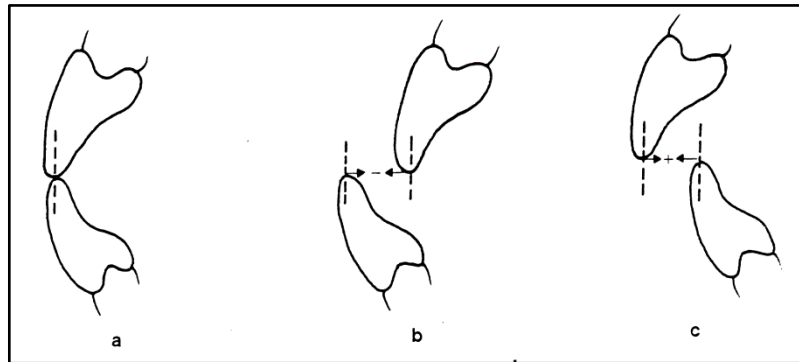


Abb. 10 **Sagittale Frontzahnstufe (Wenzel 1979, S. 28)**
a) bei Kopfgebiss beträgt die statistische sagittale Stufe 0 mm
b) die statistische sagittale Stufe nimmt negative Werte an bei Mesialgebiss
c) die statistische sagittale Stufe nimmt positive Werte an bei Distalgebiss

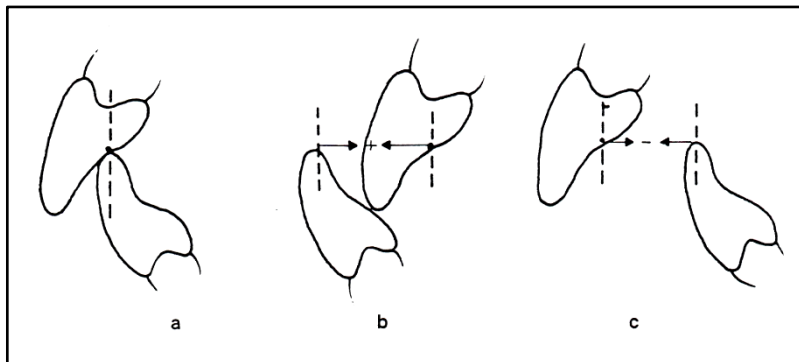


Abb. 11 **Zuordnung der Nullpunktklinien in sagittaler Richtung (Wenzel 1979, S. 29)**
a) die funktionelle sagittale Stufe beträgt 0 mm
b) die funktionelle sagittale Stufe nimmt positive Werte an bei Mesialgebiss
c) die funktionelle sagittale Stufe nimmt negative Werte an bei Distalgebiss

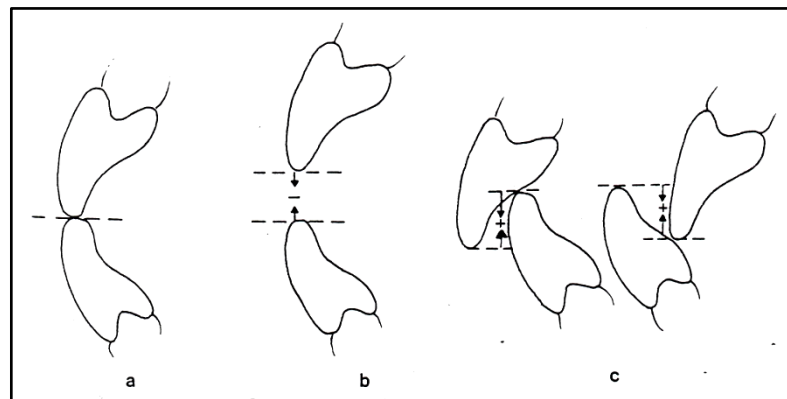


Abb. 12 **Vertikale Frontzahnstufe (Wenzel 1979, S. 26)**
 a) die statistische vertikale Stufe beträgt bei Kopfbiss 0 mm
 b) die statistische vertikale Stufe nimmt bei offenem Biss negative Werte an
 c) die statistische vertikale Stufe nimmt bei tiefem Biss positive Werte an

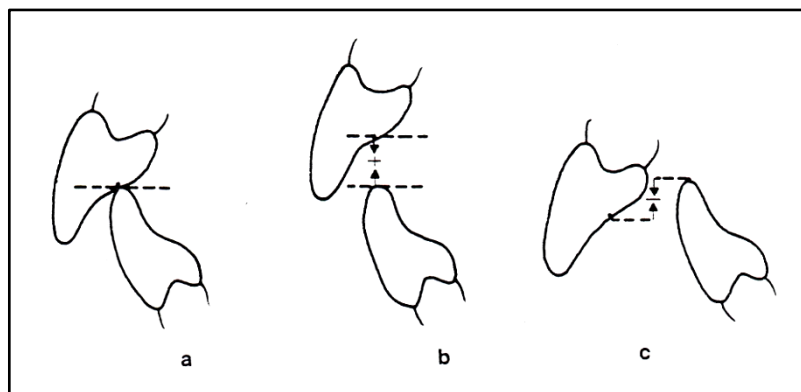


Abb. 13 **Zuordnung der Nullpunktlinien in vertikaler Richtung (Wenzel 1979, S. 27)**
 a) die funktionelle vertikale Stufe beträgt 0 mm
 b) die funktionelle vertikale Stufe nimmt bei offenem Biss positive Werte an
 c) die funktionelle vertikale Stufe nimmt bei tiefem Biss negative Werte an

2.9.3 Zahngrößendiskrepanzen aus funktioneller Sicht

Die Breite der Inzisivi und der Vergleich der Summen dieser Ausmessung von Ober- und Unterkiefer haben einen besonderen Stellenwert in der kieferorthopädischen Befunderhebung. Ein Vergleich von anatomischen Größeneinheiten ist jedoch unzulässig (Kubein und Krüger 1978 b) und darf nicht in die Therapieentscheidung eingehen (Kubein und Wenzel 1982 a). Vielmehr müssen okklusalmorphologisch füreinander determinierte Flächen zueinander in Relation gesetzt werden. Das sind im Frontzahnbereich die labialen Inzisalkantenkonvexitäten des Unterkiefers von

Höckerspitze 33 bis 43 und die palatinale Nullpunktlinie des Oberkiefers von 12 bis 22 (s. Abb. 14).

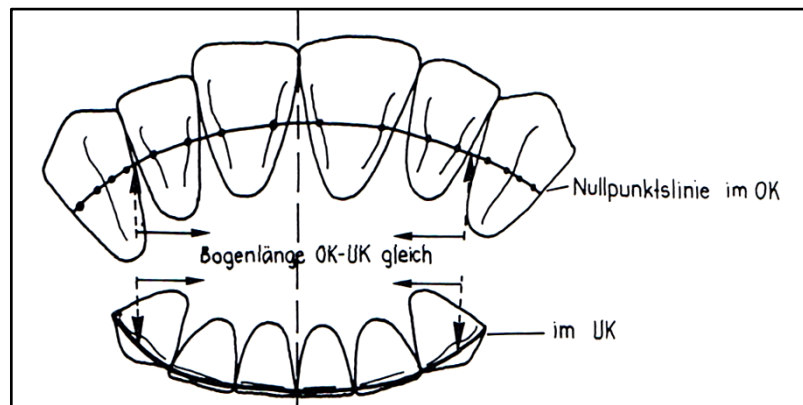


Abb. 14 Funktionelle Frontzahnbreiten (Kubein-Meesenburg 1985, S. 32)

Ebenso entspricht die Summe der Frontzahnbreiten in Höhe der Nullpunktlinie von Mitte 13 bis 23 der Summe der Inzisalkanten von 33 bis 43 (Kubein und Krüger 1978 b). Wenzel (1979) stellte bei der Vermessung von 1000 Gipsmodellen mit einem Stechzirkel fest, dass sich die Nullpunktlinien des Ober- und Unterkiefers entsprechen. Die Messung wurde auf volle Millimeter gerundet, so dass Größendiskrepanzen bis zu 2 mm toleriert wurden. Durch Variation des linguo-bukkalen Wurzeltorques und die Gestaltung der interdentalen Kontaktbereiche ist jedoch ein gewisses Anordnungsspiel möglich. Das Erreichen einer neutralen Frontzahnrelation ist somit eine Frage der Anordnung der Zähne (Kubein und Wenzel 1982 a). Gravierende Größendifferenzen treten nur bei Aplasie, Hyperplasie und bei Zapfenzähnen auf (Kubein und Krüger 1978 b).

2.10 Messmethoden der Zahnbreite

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die mesio-distale Breite eines Zahnes zu ermitteln. Die meisten Messungen finden an Gipsmodellen statt (Tonn 1937). In einigen Veröffentlichungen wird der absolut größte mesio-distale Kronendurchmesser (Herren 1974), in den meisten Arbeiten jedoch der größte bogenbezogene Durchmesser, begrenzt durch die Kontaktpunkte, gemessen (Bolton 1958; McCann und Burden 1996; Othman und Harradine 2007 a; Tonn 1937). Die Messtechnik entwickelte sich von der

Verwendung eines Stechzirkels, über die Schieblehre (Moorrees und Reed 1964) bis hin zu Messmikroskopen (Richardson ME et al. 1963), zuletzt mit elektronischer Datenverarbeitung (Kreis 1990). Neuerdings werden die Modelle auch mit einem 3D Scanner optisch erfasst und dann digital auf dem Bildschirm vermessen (Brosky et al. 2003). Eine weitere Möglichkeit der Digitalisierung von Modellen besteht in der Verwendung des MicroScribe 3DX (Immersion, San Jose, USA). Das ist ein mechanisches 3D digitalisierendes System, das die Daten als dreidimensionale Koordinaten dargestellt und in Excel® (Microsoft, Redmond, USA) überträgt (Hayasaki et al. 2005). Eine Platzanalyse mit Fotokopien von Modellen ist dagegen nicht ausreichend genau (Champagne 1992).

3 PROBLEMSTELLUNG

In zahlreichen Untersuchungen wird der Bolton-Index als Messmethode für Zahngrößendiskrepanzen bestätigt (Akyalcin et al. 2006; Al-Khateeb und Abu Alhaija 2006; Al-Tamimi und Hashim 2005; Alkofide und Hashim 2002; Araujo und Souki 2003; Bailey 1998; Basaran et al. 2006; Baydas et al. 2005; Bernabe et al. 2004 a; Bernabe et al. 2004 b; Crosby und Alexander 1989; Endo et al. 2007; Ernst 1981; Fattahi et al. 2006; Freeman et al. 1996; Gaidyte et al. 2003; Heusdens et al. 2000; Kreis 1990; Nie und Lin 1999; Nourallah et al. 2005; Othman und Harradine 2006; Othman und Harradine 2007 a; Othman und Harradine 2007 b; Paredes et al. 2006 a; Paredes et al. 2006 b; Richardson ER und Malhotra 1975; Rudolph et al. 1998; Saatci und Yukay 1997; Santoro et al. 2000; Shellhart et al. 1995; Smith et al. 2000; Sperry et al. 1977; Stifter 1958; Ta et al. 2001; Tadesse et al. 2008; Uysal und Sari 2005; Uysal et al. 2005). Andere Untersucher dagegen erheben Zweifel an der Gültigkeit des Verfahrens (Halazonetis 1996; Huang 2003; Kubein-Meesenburg 1985; Kubein und Krüger 1978 b; Paersch 1990; Wenzel 1979). Kubein-Meesenburg (1985) kritisiert, dass beim Bolton-Index anatomische Einheiten miteinander in Beziehung gesetzt werden und dabei funktionell miteinander artikulierende Flächen keine Berücksichtigung finden. Neben der Zahnbreite werden keine weiteren Parameter der Frontzahnokklusion, wie beispielsweise die vertikale und horizontale Frontzahnstufe, die Angulation, der Torque oder die Zahndicke, berücksichtigt. Diese Parameter haben einen erheblichen Einfluss auf die Frontzahnokklusion und müssen bei der Bestimmung der Zahngrößendiskrepanz berücksichtigt werden. Daraus resultiert, dass es möglich ist trotz einer festgestellten Zahngrößendiskrepanz eine akzeptable Okklusion zu erzielen (Bailey 1998; Heusdens et al. 2000). Umgekehrt kann bei einem idealen Bolton-Index keine optimale Okklusion im Frontzahnbereich garantiert werden (Halazonetis 1996). Wenzel (1979) stellt fest, dass die Ober- und Unterkieferfrontzahnbögen, gemessen an den Nullpunktlinien, immer zueinander passen und es somit keine Zahngrößendiskrepanzen gibt. Auf Grund dieser Widersprüche, war es Aufgabe der vorliegenden Arbeit den Bolton-Index auf seine Validität zu prüfen. Dazu soll die Frontzahnokklusion differenzierter betrachtet werden. Funktionelle Aspekte und Möglichkeiten der Kompensation von Zahngrößendiskrepanzen sollen Beachtung finden. Durch Vergleich der

Oberkieferfrontzahnbogenlängen auf verschiedenen vertikalen Messhöhen soll die Abnahme der Frontzahnbogenlänge im Vergleich zur vertikalen Höhe bestimmt werden. Die Vermessung von Klasse-I- und Klasse-II-Modellen dient der Bestätigung folgender These: Der Overbite ist ein Parameter der Frontzahnokklusion, der indirekt die Seitenzahnokklusion beeinflusst. Liegt trotz einer sonst harmonischen Frontzahnokklusion eine Klasse-II-Verzahnung im Seitenzahnbereich vor, so könnte eventuell durch die Individualisierung des Overbites eine Klasse-I-Verzahnung im Seitenzahnbereich erreicht werden. Des Weiteren soll eine neue Methode entwickelt werden, die es möglich macht eine Zahngrößendiskrepanz unter Beachtung funktioneller Kriterien zu diagnostizieren.

4 MATERIAL und METHODE

4.1 Vorversuche

Die Vorversuche wurden zur Validierung des Verfahrens an einem Normgebiss (Standardmodell AG-3, frasaco GmbH, Tett nang, Deutschland) durchgeführt. Sechs Linien wurden auf den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne mit Hilfe eines Parallelometers in Millimeterabständen eingezeichnet (s. Abb. 15). Dabei wurde das Modell so ausgerichtet, dass die ersten Molaren und die mittleren Schneidezähne in einer Ebene parallel zur Tischebene lagen.



Abb. 15 Frasacomodell mit sechs parallelen Linien

Im Unterkiefer wurde ebenfalls eine Linie am Übergang der Schneidekante zur Labialfläche des Zahnes von 33 bis 43 markiert (s. Abb. 16).



Abb. 16 Unterkiefer Frasacomodell mit eingezeichneter Schneidekantenlinie

Die Länge der Linien wurde anhand der mit dem 3D-Digitizer bestimmten Koordinaten über den Satz des Pythagoras errechnet.

Zur Bestimmung des Bolton-Index wurden die mesio-distalen Zahnbreiten von vestibulär mit einer Schieblehre gemessen. Aus der summierten Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge wurde der Bolton-Index errechnet. Die sagittale und vertikale Frontzahnstufe wurde mit dem Lineal von Oberkiefer- zu Unterkieferschneidekante gemessen. Der Torque der Oberkieferinzisivi wurde für den Zahn 11 bestimmt. Dazu wurde der Schneidezahnkronenwinkelmesser nach Richmond et al. (1998) verwendet. Bei einer weiteren Messung mit der Schieblehre wurden von palatinal die mesio-distalen Breiten der mittleren und seitlichen Frontzähne und die Breiten der mesialen Hälften der Eckzähne auf Höhe der Kontaktpunkte bestimmt.

Alle Messungen wurden zehn Mal wiederholt und der Methodenfehler nach Dahlberg (1940) berechnet. Dieser diente der Bewertung der Zuverlässigkeit und damit der Genauigkeit der Messungen. Er wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

δ = Methodenfehler

d = Differenz zwischen dem einzelnen Messwert und dem Mittelwert aus den Einzelmessungen

n = gesamte Anzahl der Messungen

Zusätzlich wurden der Mittelwert, der Minimalwert und der Maximalwert der Messungen angegeben.

4.2 Versuche

4.2.1 Modelle

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 89 Modelle von kieferorthopädisch behandelten Patienten nach abgeschlossener Behandlung vermessen. Bei 45 Modellen wurde eine Angle-Klasse-I-Okklusion im Eckzahnbereich mit einer perfekten Frontzahnokklusion bestimmt (s. Abb. 17). Diese Modelle werden im weiteren Kontext als „Klasse-I-Modelle“ bezeichnet. Die anderen 44 Modelle zeigten im Eckzahnbereich eine Angle-Klasse-II-Okklusion (s. Abb. 18). Der untere Eckzahn war einseitig mindestens um eine viertel Prämolarenbreite, maximal um eine dreiviertel Prämolarenbreite nach distal verschoben (s. Tab. 1). Sie werden „Klasse-II-Modelle“ genannt.

Tab. 1 Lokalisierung und Ausprägung der Klasse-II-Verzahnung bei den 44 untersuchten Klasse-II-Modellen

Ausprägung der Klasse-II-Verzahnung	Anzahl der Modelle
Einseitig $\frac{1}{4}$ Prämolarenbreiten distal	1
Beidseitig $\frac{1}{4}$ Prämolarenbreiten distal	27
Einseitig $\frac{1}{2}$ Prämolarenbreiten distal	5
Einseitig $\frac{3}{4}$ Prämolarenbreiten distal	1
Einseitig $\frac{1}{2}$ Prämolarenbreiten distal, einseitig $\frac{1}{4}$ Prämolarenbreiten distal	10



Abb. 17 Exemplarische Darstellung eines Klasse-I-Modells



Abb. 18 Exemplarische Darstellung eines Klasse-II-Modells

Alle 89 Modelle erfüllten folgende Kriterien:

- Eine regelhafte sagittale Stufe von 1 bis 3,5 mm, so dass die Unterkieferschneidezähne die Oberkieferschneidezähne an ihrer Palatinalfläche berührten
- Keine interdentalen Lücken zwischen den Frontzähnen
- Keine Rotationen der Frontzähne
- Keine Überkronungen im Frontzahnbereich
- Keine approximalen Füllungen im Frontzahnbereich
- An den Frontzähnen wurde im Verlauf der Behandlung keine proximale Schmelzreduktion durchgeführt
- Alle bleibenden Zähne waren vollständig durchgebrochen
- Keine Anomalien der Zahnform, wie zum Beispiel Zapfenzähne
- Eine exzellente Modellqualität (keine Frakturen oder Luftblasen - sowohl positive als auch negative - im Bereich der Frontzähne).

Die Modelle wurden aus verschiedenen kieferorthopädischen Praxen, sowie aus dem Universitätsklinikum Göttingen rekrutiert.

Die Klasse-I-Modelle stammten von 26 weiblichen und 19 männlichen Patienten. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 14 Jahre und 10 Monate. Der jüngste Patient war am Tag der Abdrucknahme 12 Jahre und 5 Monate, der älteste Patient 34 Jahre und 6 Monate.

Die Klasse-II-Modelle stammten von 37 weiblichen und 7 männlichen Patienten. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 16 Jahre. Der jüngste Patient war am Tag der Abdrucknahme 12 Jahre und 7 Monate, der älteste Patient 32 Jahre und 2 Monate.

4.2.2 Messung

4.2.2.1 Messung der palatinalen Frontzahnbogenlänge mit dem 3D-Digitizer

Vor der Messung wurden an jedem Oberkiefermodell mit Hilfe des Parallelometers Linien im Abstand von einem Millimeter auf den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne angezeichnet. Der in dem Parallelometer eingepasste Druckbleistift (s. Abb. 19) wurde dafür millimeterweise abgesenkt.

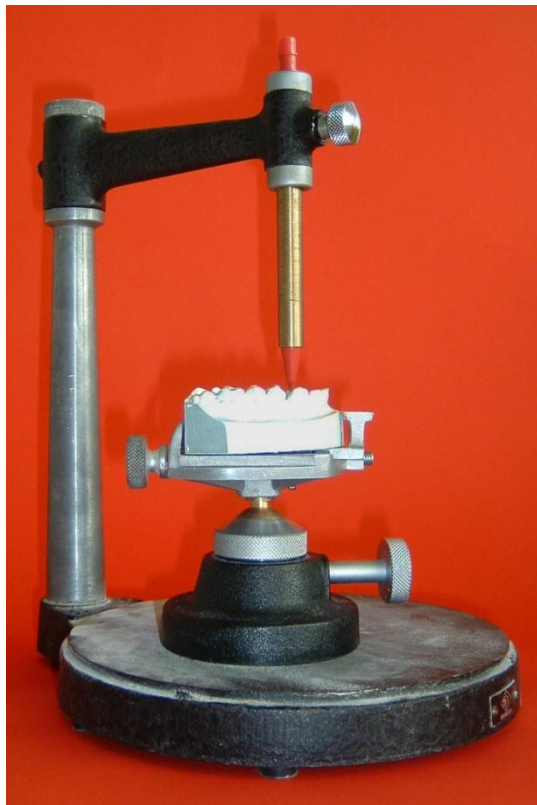


Abb. 19 Parallelometer mit angepasstem Druckbleistift

Das Modell wurde so ausgerichtet, dass die ersten Molaren und die mittleren Schneidezähne in einer Ebene parallel zur Tischebene lagen. Die erste Linie wurde 1 mm unterhalb der Schneidekante der mittleren Frontzähne eingezeichnet, die letzte kurz vor dem Marginalsaum der Gingiva. Die Anzahl der angezeichneten Linien richtete sich nach der cervico-inzisalen Länge und der oro-vestibulären Neigung des Zahnes und reichte von drei bis zu fünf Linien.

Alle Unterkiefermodelle wurden mit Wachs vorbereitet. Die Interdentalräume zwischen 33 und 34 sowie zwischen 43 und 44 wurden mit Modellierwachs aufgefüllt. Das Niveau lag auf einer gedachten Linie zwischen Eckzahn und dem ersten Prämolaren (s. Abb. 20).



Abb. 20 **vorbereitetes Unterkiefermodell**

An den Unterkiefermodellen wurde ebenfalls eine Linie mit dem Parallelometer eingezeichnet. Diese befand sich genau an dem Übergang der Schneidekante zur Labialfläche des Zahnes und wurde von 33 bis 43 durchgezogen.

Zur Bestimmung der Länge der angezeichneten Linien wurde der 3D-Digitizer „MicroScribe G2X“ (Immersion, San Jose, USA) verwendet (s. Abb. 21). Hierfür wurde die Messspitze des Digitizers auf zuvor definierten Punkten entlang der jeweiligen Linie nacheinander positioniert. Die Koordinaten der Messpunkte wurden durch Betätigung eines Fußschalters generiert und automatisch in eine Excel® Tabelle (Microsoft, Redmond USA) übertragen. Im Oberkiefer wurden nur die Koordinaten derjenigen Punkte generiert, die für den Kontakt mit den Unterkieferfrontzähnen in Frage kamen. Dazu zählten die mesialen und distalen Randleisten sowie die Tubercula (s. Abb. 22). Im Unterkiefer wurden die Punkte am inzisivo-labialen Übergang gemessen. Die Messung begann und endete im Bereich des Wachses auf Höhe des Approximalkontaktes zwischen Eckzahn und dem ersten Prämolaren (s. Abb. 20). Nach der Bestimmung der Koordinaten der Messpunkte auf einer Linie wurde der Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten mit Hilfe des Satzes nach Pythagoras bestimmt. Die Summe der einzelnen Teilstrecken ergab die Länge der jeweiligen Messstrecke. Vor jeder Messserie wurde der 3D-Digitizer kalibriert.



Abb. 21 3D-Digitizer „MicroScribe G2X“ und Modelltisch auf einer Platte montiert

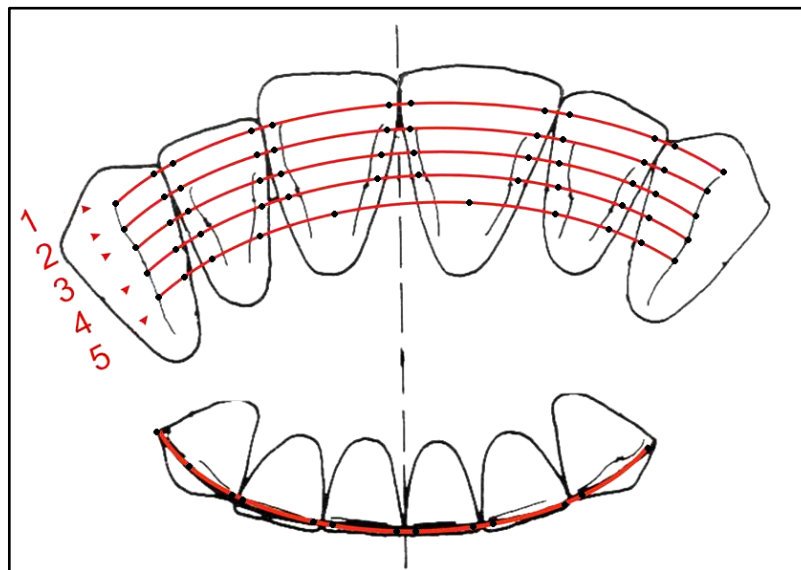


Abb. 22 Schematische Darstellung der eingezeichneten Linien (in Rot) und der einzelnen Messpunkte (in Schwarz)

4.2.2.2 Messung des Bolton-Index

Nachdem die Linien und das Wachs durch Abdampfen entfernt worden waren, wurden die mesio-distalen Zahnbreiten von vestibulär mit der digitalen Schieblehre 16EX (Mahr, Esslingen, Deutschland) bestimmt (s. Abb. 23). Die Branchen der Schieblehre wurden so modifiziert, dass sie exakt in die Interdentalräume eingebracht werden konnten. Nach der Messung wurde der Bolton-Index nach folgender Formel errechnet:

$$\frac{\text{Summe der 6 Unterkieferfrontzähne}}{\text{Summe der 6 Oberkieferfrontzähne}} \times 100 = \text{anterior ratio}$$



Abb. 23 Schieblehre mit modifizierten Branchen

4.2.2.3 Messung des Oberkieferfrontzahnbogens von palatinal

Da die Funktionsfläche der Oberkieferfrontzähne palatinal lag, wurde eine weitere Messung mit der Schieblehre zur Bestimmung der Oberkieferfrontzahnbogenlänge durchgeführt. Dazu wurde die mesio-distale Breite der Zähne 12, 11, 21 und 22 auf Höhe der Kontaktpunkte von palatinal bestimmt. Außerdem wurde die mesiale Hälfte der Zähne 13 und 23 von palatinal vermessen. Die Schieblehre wurde dafür am mesialen Kontaktpunkt und in der Mitte des Zahnes zur Messung angesetzt. Diese sechs gemessenen Zahnbreiten wurden zur palatinalen Oberkieferfrontzahnbogenlänge addiert.

4.2.2.4 *Messung des Overjets und Overbites*

Zur Bestimmung des Overjets wurde der sagittale Abstand zwischen der Labialfläche der Unterkieferinzisivi und der Schneidekante der Oberkieferinzisivi mit einem Lineal ermittelt. Beim Overbite wurde die Höhe des vom Oberkieferinzisivus bedeckten Unterkieferinzisivus gemessen.

4.2.2.5 *Messung des Torques*

Der Torque der Oberkieferinzisivi wurde für den Zahn 11 bestimmt. Dazu wurde das Oberkiefermodell auf einem Schneidezahnkronenwinkelmesser nach Richmond et al. (1998) befestigt (s. Abb. 24). Auf einem beweglichen Modelltisch wurde das Modell in der Weise ausgerichtet, dass der erste Molar und die Prämolaren Kontakt mit dem Tisch hatten. Dann wurde der Modelltisch langsam an eine bewegliche Nadel heran bewegt, so dass diese dem Zahn genau in der Mitte der Krone sowohl in mesio-distaler als auch in inzisivo-cervikaler Richtung anlag. Am Ende der Nadel konnte der Torquewert dieses Zahnes, also der Winkel zwischen der Labialfläche und der Okklusionsebenen senkrecht, an einer Skala abgelesen werden. Der Wert wurde positiv, wenn der gingivale Anteil der fazialen Tangente oral lag als der inzisale Anteil (Knösel et al. 2007 b).

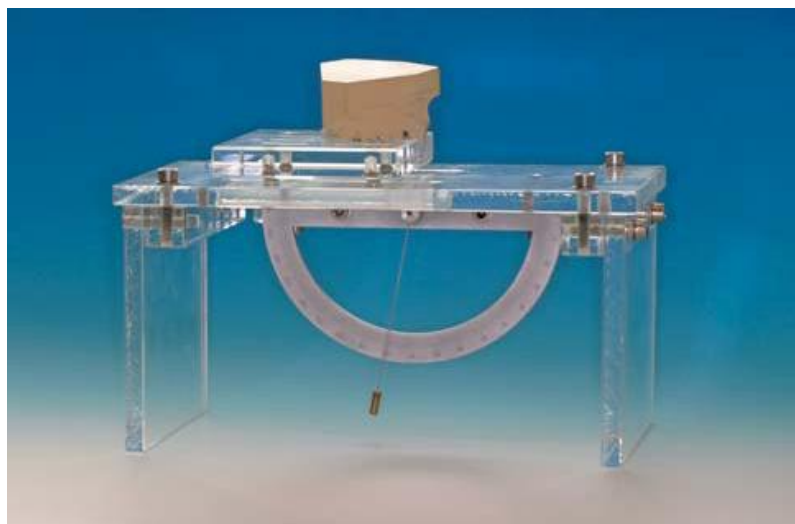


Abb. 24 Schneidezahnkronenwinkelmesser (Knösel et al. 2007 a, S. 202)

4.3 Statistische Auswertung

4.3.1 Erhobene Parameter in der Hauptuntersuchung

Am Ende der Messungen lagen für jedes Modellpaar folgende Werte vor:

- Im Oberkiefer wurde die Strecke 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm und 5 mm unterhalb der Inzisalkante von Mitte des Eckzahnes 13 zur Mitte des Eckzahnes 23 mit dem 3D-Digitizer gemessen. Die Messung 4 mm unterhalb der Inzisalkante war bei einem Modell (Klasse I) nicht möglich, die Messung 5 mm unterhalb der Inzisalkante war bei sechs Klasse-I-Modellen und fünf Klasse-II-Modellen nicht möglich
- Im Unterkiefer die Strecke von dem Kontaktpunkt zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren der linken Seite zum Kontaktpunkt zwischen Eckzahn und erstem Prämolaren der rechten Seite auf Höhe der Inzisalkante mit dem 3D-Digitizer gemessen
- Die Summe der mesio-distalen Zahnbreiten der sechs Ober- und der sechs Unterkieferfrontzähne mit der Schieblehre von vestibulär gemessen
- Der Bolton-Index
- Im Oberkiefer die Strecke von Mitte des Eckzahnes 13 zur Mitte des Eckzahnes 23 mit der Schieblehre von palatinal auf Höhe der Kontaktpunkte gemessen
- Der Torquewert des Zahnes 11 in Grad
- Die vertikale Frontzahnstufe
- Die sagittale Frontzahnstufe.

4.3.2 Statistische Auswertungsverfahren

Bei der Analyse der Häufigkeitsverteilung zeigte sich, dass die Stichproben nicht generell normal verteilt waren (Shapiro-Wilk-Statistik). Aus diesem Grunde wurden für die statistische Auswertung ausschließlich verteilungsunabhängige Testverfahren verwendet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde für alle statistischen Analysen auf 5 % ($\alpha < 0,05$) gesetzt.

Für die statistische Auswertung der Unterschiede zwischen den Klasse-I-Patienten und den Klasse-II-Patienten, wurden die unter 4.3.1 aufgeführten Parameter verwendet. Es wurde der Mittelwert, der Median, der Minimalwert, der Maximalwert, die Standardabweichung, der Standardfehler und das Konfidenzintervall jedes Wertes für

jede Gruppe angegeben. Anschließend wurde mit Hilfe des Mann-Whitney-U Tests ermittelt, ob ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen vorlag.

Der Mittelwert wurde errechnet, indem die Summe der Werte für jedes Element der Stichprobe durch die Anzahl der Elemente der Stichprobe geteilt wurde. Die entsprechende mathematische Formel lautet:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

\bar{X} = Mittelwert der Stichprobe der Größe n

X_i = Datenpunkt des i-ten Patienten

n = Anzahl der Elemente der Stichprobe (Glantz 1998)

Zur Bestimmung des Medians wurden die Messwerte ihrer Größe nach sortiert. 50 % der Messwerte fielen unter den Median, 50 % darüber. Der Median halbierte demnach die Verteilung der Werte und ist weniger anfällig gegenüber Ausreißern als der Mittelwert (Glantz 1998).

Die Standardabweichung ist eine Möglichkeit die Streuung der Messergebnisse um den Mittelwert anzugeben. Sie lässt sich aus der Quadratwurzel der durchschnittlichen quadratischen Abweichung vom Mittelwert bestimmen. Ihre mathematische Formel lautet:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

s = Standardabweichung der Stichprobe

X_i = Datenpunkt des i-ten Patienten

\bar{X} = Mittelwert der Stichprobe

n = Anzahl der Elemente der Stichprobe (Glantz 1998)

Der Standardfehler setzte die Standardabweichung in Beziehung mit dem Stichprobenumfang. Da die Genauigkeit des geschätzten Mittelwertes zunahm, wenn der Stichprobenumfang stieg, nahm der Standardfehler folglich ab. Der Standardfehler errechnet sich wie folgt:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$\sigma_{\bar{x}}$ = Standardfehler des Mittelwertes

σ = Standardabweichung

n = Größe der Stichprobe (Pospeschill 1996)

Der Mann-Whitney-U-Test untersucht mit Hilfe des Medianwertes, ob sich die Verteilung zweier Gruppen, in diesem Falle die der Klasse-I- und Klasse-II-Patienten, tatsächlich oder zufällig unterscheidet. Er wird bei nicht normal verteilten Grundgesamtheiten angewendet (Glanz 1998).

Die statistische Auswertung der Ergebnisse wurde unter Verwendung des Computerprogramms SigmaStat® (Systat Software GmbH, Erkrath, Deutschland) für Windows, Version 3.0, durchgeführt. Für die ROC-Analyse wurde die Statistiksoftware SAS (SAS Institute Inc., Cary, USA) verwendet (Kaufmann et al. 2005).

Zur adäquaten graphischen Darstellung wurden Box- und Whisker-Plots mit dem Programm SigmaPlot® 2002 (Systat Software GmbH, Erkrath, Deutschland), Version 8.0, erstellt. Hierbei wurden die auszuwertenden Daten der Größe nach sortiert. In der Graphik (s. Abb. 25) wurde der Wertebereich in dem die mittleren 50 % der Beobachtungen lokalisiert waren in Form eines Rechtecks (Box) eingezeichnet. Der Bereich zwischen dem 10 % Perzentil und dem 90 % Perzentil wurde mit Hilfe von Linien gekennzeichnet. Zwei Punkte symbolisierten den Beginn und das Ende des Bereiches, der 90 % der sortierten Werte umfasste (Bereich zwischen dem 5 % Perzentil und dem 95 % Perzentil).

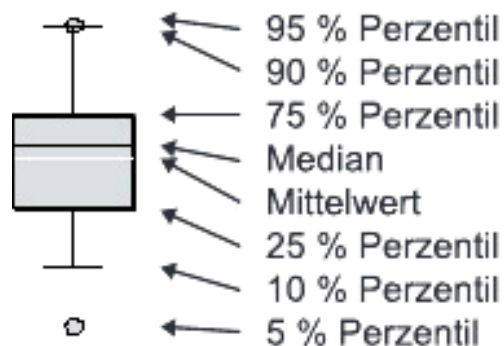


Abb. 25 Box Plot

4.3.3 Signifikanz, Fehler 1. und 2. Art, Teststärke

Unterschiede zwischen Stichproben waren signifikant, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass sie durch Zufall zustande kamen, gering war. Dennoch kann dieser Unterschied durch einen Zufall zustande gekommen sein. Bei jedem Test wird von einem Ergebnis auf den tatsächlichen Zustand geschlossen. Der Anteil der falschen Testergebnisse wird als Irrtumswahrscheinlichkeit bezeichnet. Wie hoch die Wahrscheinlichkeit war einen Fehler 1. Art zu begehen, also ein falsch positives Ergebnis zu erhalten, wurde durch die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau α) festgelegt. $\alpha = 0,05$ bedeutet, dass die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit bei 5 % lag. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von kleiner oder gleich 5 % wurde von Signifikanz gesprochen. Sehr signifikant war eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 %, hoch signifikant eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,3 % (Bortz 2005).

Der p-Wert, auch Überschreitungswahrscheinlichkeit genannt, war eine Kennzahl zur Auswertung statistischer Tests. Er steht in enger Beziehung mit dem Signifikanzniveau. Je kleiner der p-Wert, desto eher sollte die Nullhypothese, also die Annahme, dass zwischen zwei Gruppen kein Unterschied bestand, verworfen werden. Die Nullhypothese wurde verworfen, wenn der p-Wert kleiner oder gleich α war.

Ein Fehler 2. Art wurde begangen, wenn die Nullhypothese irrtümlich beibehalten wurde. Es wurde davon ausgegangen, dass kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen existierte, obwohl tatsächlich ein Unterschied vorlag. Damit lag eine falsch negative Entscheidung vor. Das β -Fehlerniveau sollte idealerweise einen viermal so hohen Wert haben wie das Signifikanzniveau α . In der vorliegenden Arbeit standen jedoch lediglich 89 Modelle für die Vermessung zur Verfügung. Je kleiner das β -

Fehlerniveau wurde, desto größer wurde die Teststärke (power) und damit die Aussagekraft des Tests (s. Tab. 2) (Pospeschill 1996).

Tab. 2 Möglichkeiten falscher Entscheidung beim Testen von Hypothesen (modifiziert nach Glantz (1998), S. 149)

	Es gab tatsächlich einen Unterschied	Es gab tatsächlich keinen Unterschied
Es gab im Test einen Unterschied zwischen den zwei Gruppen	Richtig positiv, Entscheidung richtig ($1 - \beta$)	Falsch positiv, Fehler 1. Art (α)
Es gab beim Test keinen Unterschied zwischen den zwei Gruppen	Falsch negativ, Fehler 2. Art (β)	Richtig negativ, Entscheidung richtig ($1 - \alpha$)

4.3.4 Übereinstimmung der Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge in Abhängigkeit der Höhe

Um die größte Übereinstimmung zwischen Oberkiefer- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge zu ermitteln, wurden die Zahnbogenlängen im Oberkiefer auf verschiedenen Messniveaus mit dem 3D-Digitizer bestimmt. Zunächst wurde für jeden Patienten die Unterkieferfrontzahnbogenlänge von der Oberkieferfrontzahnbogenlänge der jeweiligen Messhöhe abgezogen. Für jede Messhöhe wurde der Mittelwert der Differenzen aller Klasse-I-Patienten und der Mittelwert der Differenzen aller Klasse-II-Patienten gebildet. Auf der Höhe mit der geringsten mittleren Differenz war der optimale Overbite zu finden. Das heißt, dass auf der Messhöhe der Unterkiefer am besten zum Oberkiefer passte.

4.3.5 Regressionsanalyse

Mit Hilfe der univariante Regressionsanalyse kann eine bestimmte Variable mit einer oder mehreren unbestimmten Variablen in Beziehung gesetzt werden (Bosch 1997). In dieser Arbeit war das Ziel die Abnahme der Oberkieferfrontzahnbogenlänge in Abhängigkeit von der Messhöhe zu schätzen. Dafür wurden bei Klasse-I-Patienten die Frontzahnbogenlängen der verschiedenen Messniveaus (1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm oder

5 mm unterhalb der Inzisalkante) mit der Abnahme der Frontzahnbogenlänge in Beziehung gesetzt. Eine weitere Regressionsgerade wurde unter Einbeziehung der Frontzahnbogenlänge 1 mm unterhalb der Inzisalkante gebildet. Beide Regressionsgeraden wurden als Ursprungsgeraden ($y = mx$) dargestellt. Das bedeutet, dass die y-Achse bei null geschnitten wurde. Dafür wurde die Forderung aufgestellt, dass $\sum(y_i - mx_i)^2$ minimal war. Nach m aufgelöst berechnet sich die Steigung m mit folgender Formel:

$$m = \frac{\sum y_i x_i}{\sum x_i^2}$$

Der Korrelationskoeffizient ist ein dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen. Er kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Bei dem Wert 1 besteht ein vollständig positiver linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen, bei dem Wert 0 hängen beide Werte überhaupt nicht linear voneinander ab (Bosch 1997).

Das Bestimmtheitsmaß ist der Prozentanteil der Variation der abhängigen Variablen Y, der durch die lineare Regression erklärt wird. Je näher das Bestimmtheitsmaß an 1 liegt, desto eher liegen alle Punkte auf der Regressionsgeraden. Damit steigen die Wahrscheinlichkeit eines linearen Zusammenhangs und die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Variable durch das lineare Regressionsmodell erklären lässt. Bei $r^2 = 0$ besteht kein linearer Zusammenhang (Pospeschill 1996).

4.3.6 Validität des Bolton-Index

Anhand der Differenz zwischen Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge, die mit dem 3D-Digitizer gemessen wurde (Goldstandard), wurde die Validität des Bolton-Index überprüft. Patienten, bei denen der Bolton-Index positiv war, obwohl die Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlängen nach der 3D-Digitizer-Messung übereinstimmten, wurden als falsch positiv eingestuft. Bei negativer Differenz der Zahnbogenlängen und positivem Bolton-Index lag dagegen ein richtig positives Testergebnis vor. Ebenso wurde die Anzahl der falsch negativen und der richtig negativen Ergebnisse ermittelt. Daraus wurden die Spezifität und die Sensitivität des Bolton-Index errechnet (s.Tab. 3).

Tab. 3 Vier-Felder-Tafel zur Berechnung von Sensitivität und Spezifität (Hellwig et al. 2003, S. 77)

Bolton-Index	Tatsächlich ist der Patient	
	Auffällig (Zahngrößendiskrepanz lag vor)	Unauffällig (Zahngrößendiskrepanz lag nicht vor)
Positiv (Zahngrößendiskrepanz lag vor)	Richtig positiv A	Falsch positiv B
Negativ (Zahngrößendiskrepanz lag nicht vor)	Falsch negativ C	Richtig negativ D

Da in der Literatur verschiedene Angaben gemacht wurden, ab wann eine Zahngrößendiskrepanz vorlag, wurden Spezifität und Sensitivität sowohl für eine als auch für zwei Standardabweichungen des Bolton-Index berechnet. In der ersten Berechnung galten alle Modelle nach dem Bolton-Index als positiv, deren Index niedriger als 75,55 % oder höher als 78,85 % war. In der zweiten Berechnung galten alle Modelle als positiv, deren Bolton-Index niedriger als 73,9 % oder höher als 80,5 % war.

4.3.7 Validität der palatinalen Schieblehrenmessung (eigene Methode)

Mit dem Ziel ein neues Verfahren zur Diagnose einer Zahngrößendiskrepanz vorzustellen, wurde die Summe der von vestibulär mit der Schieblehre gemessenen Unterkieferfrontzahnbreiten von der von palatinal am Kontaktpunkt gemessenen Zahnbogenlänge (von Mitte 13 zu Mitte 23) des Oberkiefers abgezogen. Es wurde angenommen, dass eine Zahngrößendiskrepanz vorhanden ist, wenn die Differenz aus den Längen der Frontzahnbögen des Ober- und Unterkiefers einen negativen Wert ergibt. Dagegen liegt eine harmonische Relation vor, wenn die Differenz der Zahnbogenlängen in einem positiven Wert resultiert.

Um zu überprüfen, ob die Bestimmung der Frontzahnbogenlänge mit der Schieblehre valide ist, wurden die Messungen mit den Messungen des 3D-Digitizers verglichen. Der

Korrelationskoeffizient wurde zwischen der Messung jedes Messniveaus mit dem 3D-Digitizer und der palatinalen Schlieblehrenmessung errechnet.

Eine Regressionsgerade wurde gebildet, um von dem mit der Schieblehre gemessenen Wert auf den Wert des 3D-Digitizers schließen zu können. Zusätzlich wurde das 95 % - Prognoseintervall, sowie das 95 % - Konfidenzintervall graphisch dargestellt.

Die Validität der neuen Methode wurde durch die Berechnung der Sensitivität und Spezifität überprüft. Hierfür diente die Messung mit dem 3D-Digitizer als Goldstandard. Die Spezifität der neuen Methode war die Wahrscheinlichkeit einen tatsächlichen negativen Sachverhalt (Zahngrößendiskrepanz lag nicht vor) auch durch ein negatives Testergebnis zu erkennen (richtig negativ). Die Sensitivität der neuen Methode war dagegen die Wahrscheinlichkeit einen tatsächlichen positiven Sachverhalt (Zahngrößendiskrepanz lag vor) auch durch ein positives Testergebnis zu erkennen (richtig positiv) (s. Tab. 4).

Tab. 4 Vier-Felder-Tafel zur Berechnung von Sensitivität und Spezifität (Hellwig et al. 2003, S. 77)

Eigene Methode	Tatsächlich ist der Patient	
	Auffällig (Zahngrößendiskrepanz liegt vor)	Unauffällig (Zahngrößendiskrepanz liegt nicht vor)
Positiv (Zahngrößendiskrepanz lag vor)	Richtig positiv A	Falsch positiv B
Negativ (Zahngrößendiskrepanz lag nicht vor)	Falsch negativ C	Richtig negativ D

Sensitivität: $\frac{A}{A+C}$

Spezifität: $\frac{D}{B+D}$ (Hellwig et al. 2003)

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der eigenen Methode wurde eine ROC-Analyse durchgeführt. Dafür wurde die Rate richtig positiver Ergebnisse (Sensitivität) gegen die Rate falsch positiver Ergebnisse ($1 - \text{Spezifität}$) für verschiedene Cut-Off-Values (Schwellenwerte, Grenzwerte) aufgetragen. Durch treppenförmige Verbindung der Werte entsteht eine ROC-Kurve. Anhand der Größe der Fläche unter dieser Kurve kann die diagnostische Leistungsfähigkeit eines Tests beurteilt werden. Bei einem perfekten Test wäre die Größe der Fläche unter der Kurve gleich 1.

Aus den Koordinaten der ROC-Kurve kann außerdem der optimale Grenzwert für die eigene Methode abgelesen werden. Der Grenzwert trennt zwischen auffällig und unauffällig. Der optimale Schwellenwert ist definiert als derjenige Wert, bei dem die Differenz zwischen Sensitivität und Spezifität minimal ist (Youden-Index). Dies gilt unter der Voraussetzung, dass Sensitivität und Spezifität als gleich wichtig bewertet werden.

4.3.8 Übersicht

Abschließend wurden die verschiedenen Auswertungen der durchgeführten Messungen in einer Übersicht (s. Abb. 26 und Abb. 27) veranschaulicht:

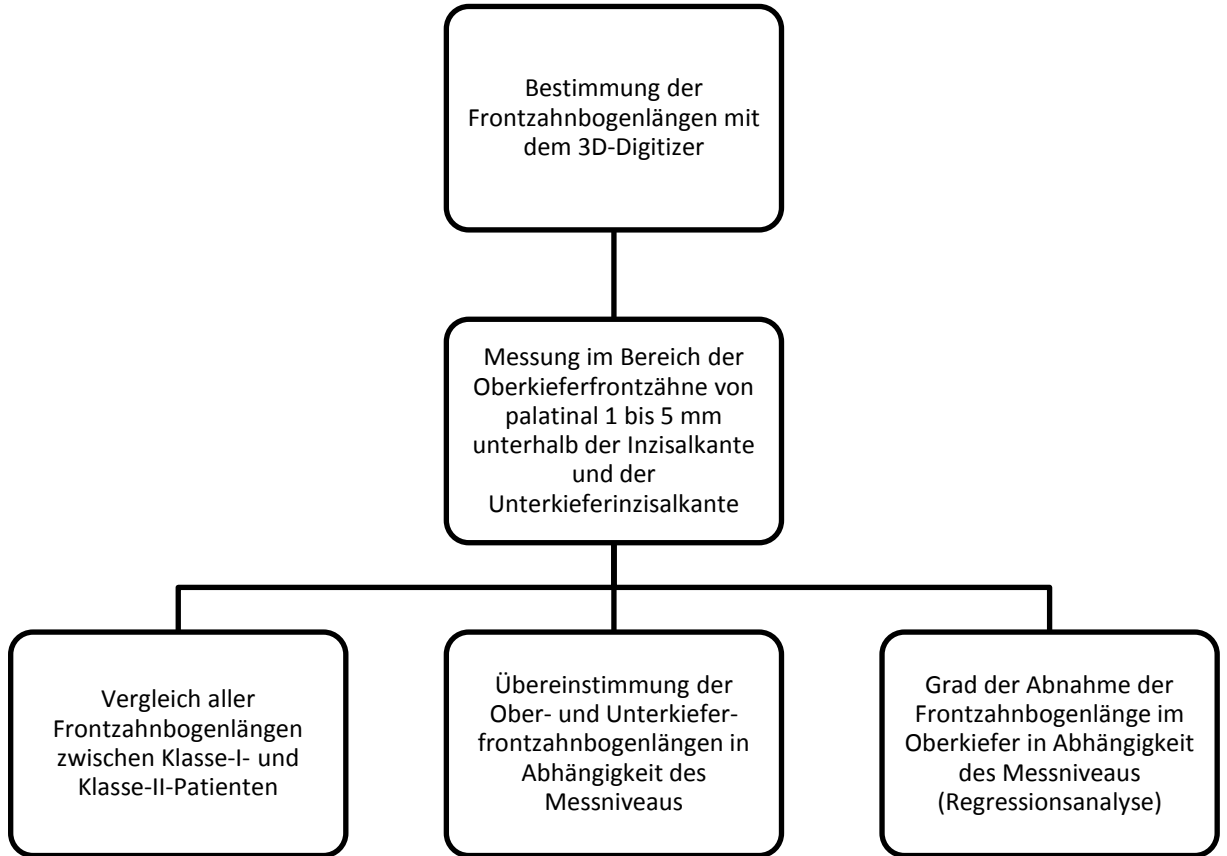


Abb. 26 Übersicht über die Auswertungen der Messungen mit dem 3D-Digitizer

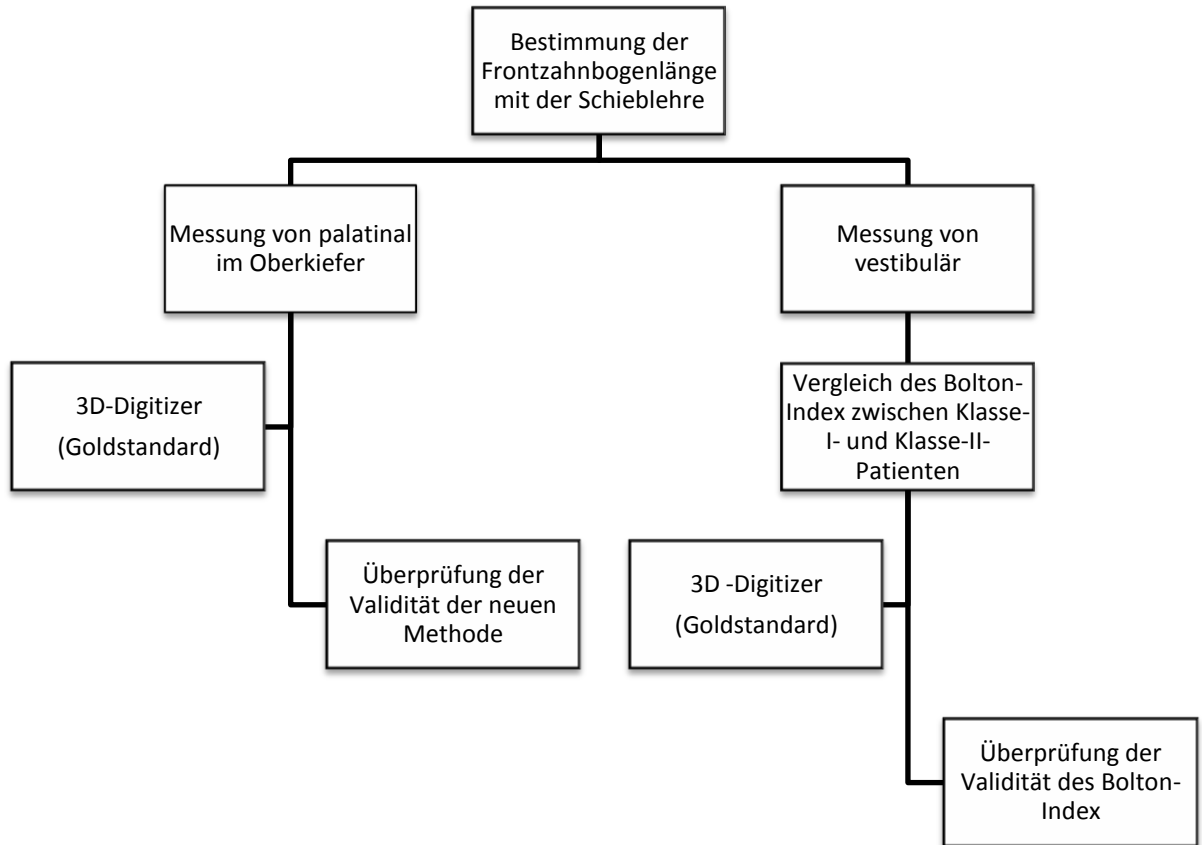


Abb. 27 Übersicht über die Auswertungen der Messungen mit der Schieblehre

5 ERGEBNISSE

Ziel der Studie war es, Untersuchungen zu Zahngrößendiskrepanzen durchzuführen. Dafür wurden die Unterschiede zwischen den Klasse-I- und Klasse-II-Patienten in Frontzahnbogenlänge, Overbite, Overjet, Torque und Bolton-Index ermittelt. Des Weiteren wurde untersucht, auf welcher vertikalen Höhe die Unterkieferfrontzahnbogenlänge am besten zur Oberkieferfrontzahnbogenlänge passte und inwieweit durch eine Veränderung dieser vertikalen Höhe eine Zahngrößendiskrepanz ausgeglichen werden konnte. Um eine eventuelle Zahngrößendiskrepanz herauszufinden, wurde die Differenz zwischen Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge gebildet. Zum Schluss der Arbeit wurde die Validität des Bolton-Index und der neuen Methode überprüft.

5.1 Methodenfehler

5.1.1 Messung der Linien im Ober- und Unterkiefer

Bei den Vorversuchen am Frasacomodell wurde für den 3D-Digitizer ein Methodenfehler von 0,2 mm ermittelt. In Tab. 5 werden die Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Messungen aufgeführt.

Tab. 5 Messung der Linien im Ober- und Unterkiefer

	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert
1 mm unterhalb der Inzisalkante	45,03 mm	45,98 mm	45,48 mm
2 mm unterhalb der Inzisalkante	45,86 mm	46,35 mm	46,10 mm
3 mm unterhalb der Inzisalkante	44,00 mm	44,62 mm	44,34 mm
4 mm unterhalb der Inzisalkante	42,49 mm	43,58 mm	42,99 mm
5 mm unterhalb der Inzisalkante	39,13 mm	40,32 mm	39,56 mm
6 mm unterhalb der Inzisalkante	34,74 mm	36,62 mm	35,52 mm
Unterkiefer	37,02 mm	37,72 mm	37,40 mm

5.1.2 Messung des Bolton-Index

Bei den Vorversuchen am Frasacomodell wurde für den Bolton-Index mit der Schieblehre ein mittlerer Index von 74,0 % gemessen. Der Methodenfehler betrug 0,18 %. Der kleinste gemessene Index lag bei 73,68 %, der größte dagegen bei 74,42 %. Die Oberkieferfrontzahnbogenlänge betrug im Mittel 48,1 mm, wobei der maximal gemessene Wert bei 48,75 mm und der Minimalwert bei 48,06 mm lagen. Der Methodenfehler für die Oberkieferfrontzahnbogenlänge betrug 0,1 mm. Die Unterkieferfrontzahnbogenlänge maß im Mittel 35,58 mm, wobei der maximal gemessene Wert bei 35,85 mm und der Minimalwert bei 35,49 mm lagen. Der Methodenfehler für die Unterkieferfrontzahnbogenlänge betrug 0,07 mm.

5.1.3 Messung des Overjets, des Overbites, des Torques und der palatinalen Frontzahnbogenlänge mit der Schieblehre

Tab. 6 Messung des Overjets, des Overbites, des Torques und der palatinalen Frontzahnbogenlänge

	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert	Methodenfehler
Overjet	2 mm	2 mm	2 mm	0 mm
Overbite	2,5 mm	2,5 mm	2,5 mm	0 mm
Torque	- 1,5°	1°	0,2°	0,6°
Palatinale Frontzahnbogenlänge	37,01 mm	37,5 mm	37,3 mm	0,12 mm

5.2 Vergleich der Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

5.2.1 Frontzahnbogenlängen

In den nachfolgenden Tabellen (s. Tab. 7, Tab. 8, Tab. 9, Tab. 10 und Tab. 11) werden die mit dem 3D-Digitizer gemessenen palatinalen Frontzahnbogenlängen der

unterschiedlichen Messhöhen der beiden Untersuchungsgruppen einander gegenübergestellt. Dabei werden jeweils der Mittelwert, der Median, der Minimalwert, der Maximalwert, die Standardabweichung und der Standardfehler angegeben.

Der Unterschied der Zahnbogenlänge 1 mm unterhalb der Inzisalkante war zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten hoch signifikant ($p < 0,001$).

Tab. 7 Palatinale Zahnbogenlänge von Mitte 13 zu Mitte 23 1 mm unterhalb der Inzisalkante

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	41,51 mm	39,30 mm
Median	41,50 mm	39,05 mm
Minimalwert	36,42 mm	34,07 mm
Maximalwert	48,49 mm	45,90 mm
Standardabweichung	2,59 mm	2,62 mm
Standardfehler	0,39	0,39

Der Unterschied der Zahnbogenlänge 2 mm unterhalb der Inzisalkante war zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten hoch signifikant ($p < 0,001$).

Tab. 8 Palatinale Zahnbogenlänge von Mitte 13 zu Mitte 23 2 mm unterhalb der Inzisalkante

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	40,33 mm	38,31 mm
Median	40,12 mm	37,98 mm
Minimalwert	35,44 mm	33,40 mm
Maximalwert	46,57 mm	44,59 mm
Standardabweichung	2,32 mm	2,48 mm
Standardfehler	0,35	0,37

Der Unterschied der Zahnbogenlänge 3 mm unterhalb der Inzisalkante war zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten hoch signifikant ($p = 0,001$).

Tab. 9 Palatinale Zahnbogenlänge von Mitte 13 zu Mitte 23 3 mm unterhalb der Inzisalkante

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	38,95 mm	37,30 mm
Median	38,79 mm	37,01 mm
Minimalwert	34,30 mm	32,82 mm
Maximalwert	45,18 mm	44,06 mm
Standardabweichung	2,46 mm	2,34 mm
Standardfehler	0,37	0,35

Der Unterschied der Zahnbogenlänge 4 mm unterhalb der Inzisalkante war zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten hoch signifikant ($p = 0,002$).

Tab. 10 Palatinale Zahnbogenlänge von Mitte 13 zu Mitte 23 4 mm unterhalb der Inzisalkante

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	37,48 mm	35,80 mm
Median	37,32 mm	35,46 mm
Minimalwert	33,64 mm	31,06 mm
Maximalwert	43,85 mm	41,96 mm
Standardabweichung	2,53 mm	2,32 mm
Standardfehler	0,38	0,35

Der Unterschied der Zahnbogenlänge 5 mm unterhalb der Inzisalkante war zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten hoch signifikant ($p = 0,003$).

Tab. 11 Palatinale Zahnbogenlänge von Mitte 13 zu Mitte 23 5 mm unterhalb der Inzisalkante

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	35,16 mm	33,21 mm
Median	34,23 mm	33,09 mm
Minimalwert	31,47 mm	28,34 mm
Maximalwert	42,89 mm	39,02 mm
Standardabweichung	2,81 mm	2,51 mm
Standardfehler	0,45	0,40

In Abb. 28 und in Abb. 29 werden die Frontzahnbogenlängen im Vergleich zur Messhöhe bei Klasse-I- und bei Klasse-II-Patienten graphisch dargestellt.

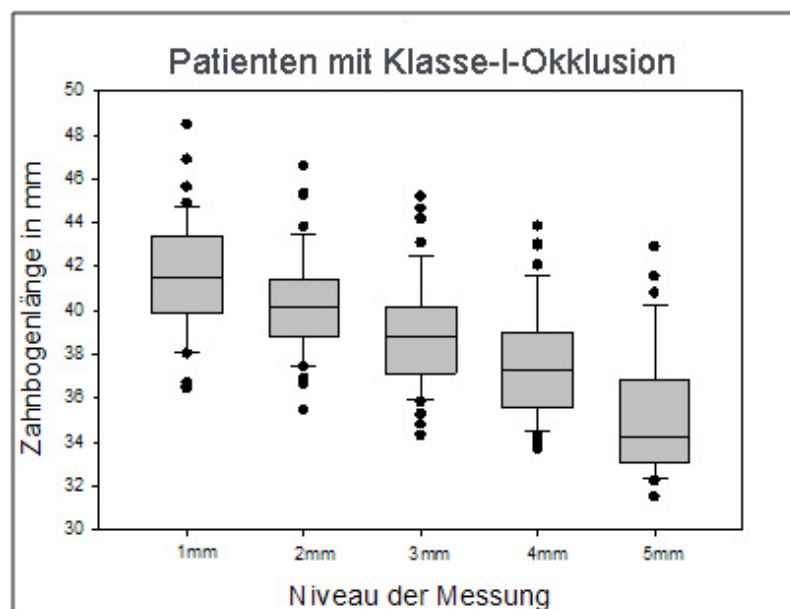


Abb. 28 Zahnbogenlänge im Vergleich zum Niveau der Messung bei Klasse-I-Patienten

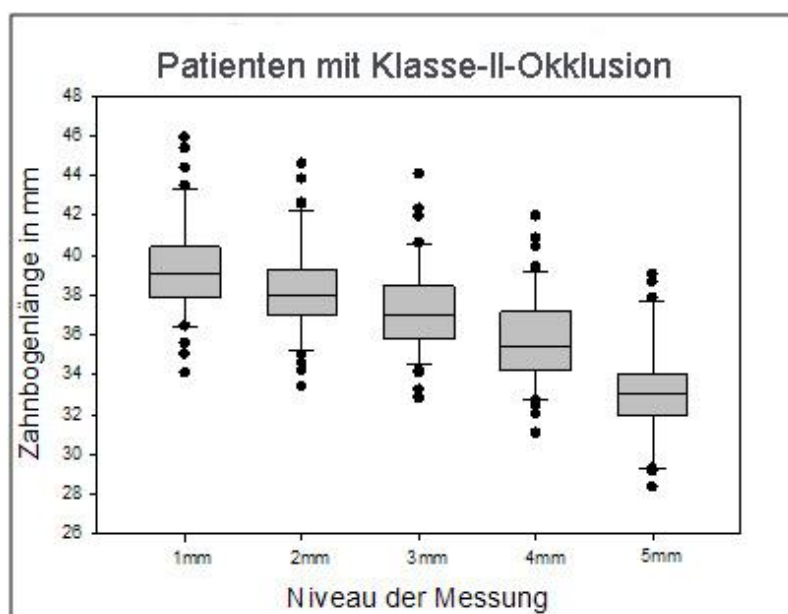


Abb. 29 Zahnbogenlänge im Vergleich zum Niveau der Messung bei Klasse-II-Patienten

In Tab. 12 wurde die Unterkieferfrontzahnbogenlänge der Klasse-I- und Klasse-II-Patienten gegenübergestellt.

Der Unterschied der Unterkieferfrontzahnbogenlänge zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten war nicht signifikant ($p = 0,673$).

Tab. 12 Unterkieferzahnbogenlänge von 33 zu 43 an der Inzisalkante

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	38,48 mm	38,25 mm
Median	38,15 mm	38,40 mm
Minimalwert	34,45 mm	34,35 mm
Maximalwert	44,82 mm	43,55 mm
Standardabweichung	2,13 mm	2,17 mm
Standardfehler	0,32	0,33

Klasse-I-Patienten wiesen durchschnittlich auf allen Messhöhen einen statistisch hoch signifikant längeren Oberkieferfrontzahnbogen auf als Klasse-II-Patienten, wohingegen sich die mittlere Länge des Unterkieferfrontzahnbogens nur unwesentlich unterschied. Der Unterschied in der Unterkieferfrontzahnbogenlänge war statistisch nicht signifikant.

5.2.2 Bolton-Index

Der Unterschied zwischen den Messungen des Bolton-Index für Klasse-I- und Klasse-II-Patienten war hoch signifikant ($p < 0,001$) (s. Tab. 13 und Abb. 30).

Tab. 13 Vergleich des Bolton-Index zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	75,83 %	78,46 %
Median	75,90 %	78,20 %
Minimalwert	71,69 %	74,77 %
Maximalwert	79,96 %	82,77 %
Standardabweichung	0,02 %	0,02 %
Standardfehler	0,003	0,003

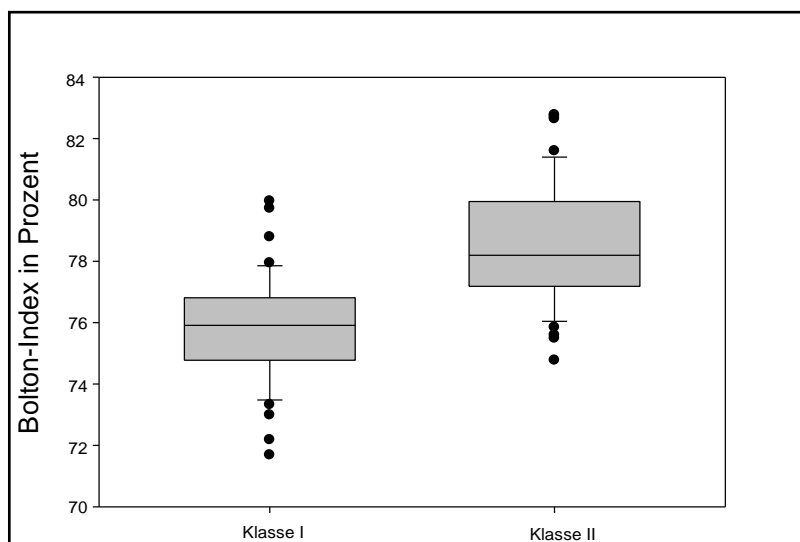


Abb. 30 Gegenüberstellung der Größe des Bolton-Index zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

5.2.3 Torque

Der Unterschied des Frontzahntorques zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten war signifikant ($p = 0,048$) (s. Tab. 14 und Abb. 31).

Tab. 14 Vergleich des Torquewertes zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	9,2°	6,4°
Median	9°	5°
Minimalwert	- 1°	- 6°
Maximalwert	22°	19°
Standardabweichung	5,8°	6,8°
Standardfehler	0,86	1,02

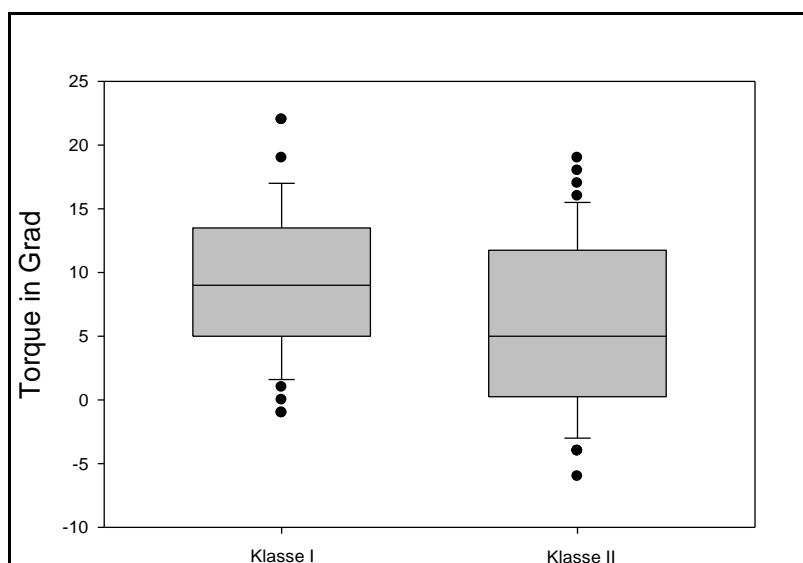


Abb. 31 Größe des Torquewertes bei Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

5.2.4 Vertikale Frontzahnstufe

Der Unterschied der vertikalen Frontzahnstufe zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten war nicht signifikant ($p = 0,110$) (s. Tab. 15 und Abb. 32).

Tab. 15 Vergleich der vertikalen Frontzahnstufe zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	2,4 mm	2,6 mm
Median	2 mm	2,5 mm
Minimalwert	1 mm	1 mm
Maximalwert	4,5 mm	5 mm
Standardabweichung	0,8 mm	0,9 mm
Standardfehler	0,12	0,14

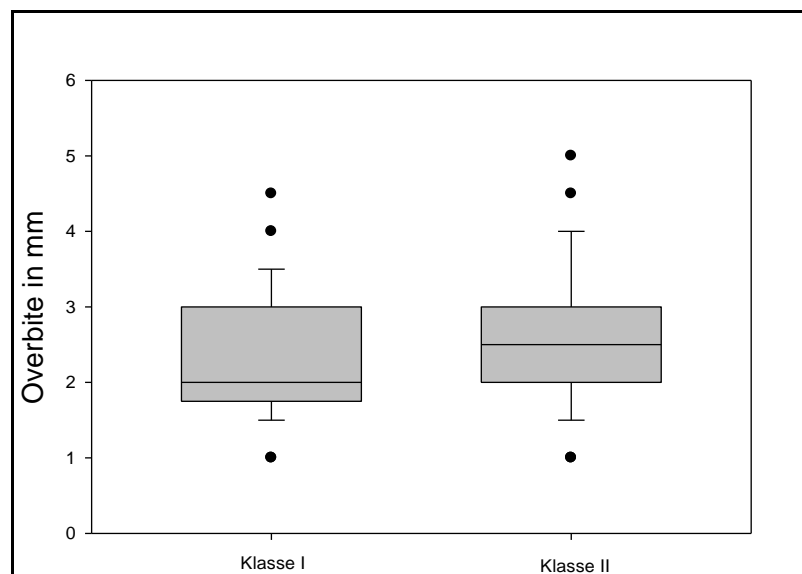


Abb. 32 Größe der vertikalen Frontzahnstufe (Overbite) bei Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

5.2.5 Sagittale Frontzahnstufe

Der Unterschied der sagittalen Frontzahnstufe zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten war nicht signifikant ($p = 0,927$) (s. Tab. 16 und Abb. 33).

Tab. 16 Vergleich der sagittalen Frontzahnstufe zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

	Klasse I	Klasse II
n	45	44
Mittelwert	2,5 mm	2,5 mm
Median	2,5 mm	2,5 mm
Minimalwert	1,5 mm	1,0 mm
Maximalwert	3,5 mm	3,5 mm
Standardabweichung	0,6 mm	0,6 mm
Standardfehler	0,09 mm	0,09 mm

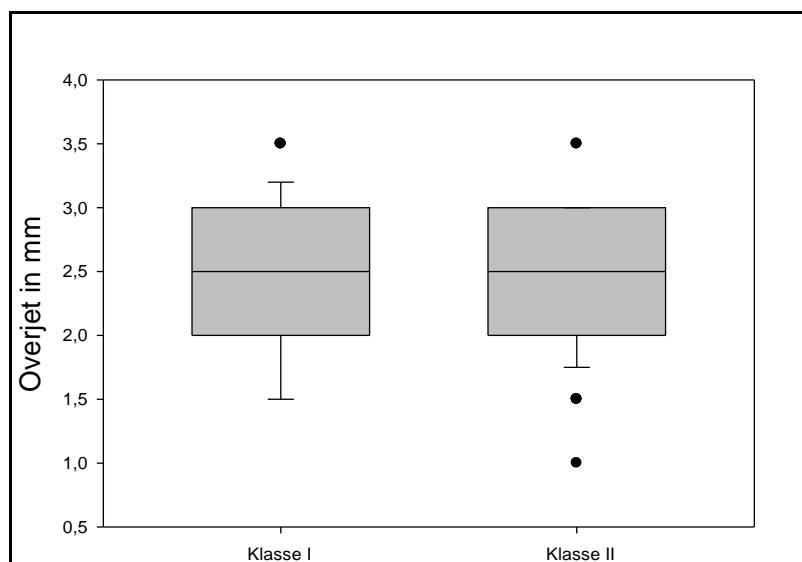


Abb. 33 Größe der sagittalen Frontzahnstufe (Overjet) bei Klasse-I- und Klasse-II-Patienten

5.3 Übereinstimmung der Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlängen in Abhängigkeit der Höhe

Die minimale Differenz zwischen Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge lag bei Klasse-I-Patienten 3 - 4 mm unterhalb der Inzisalkante. Bei Klasse-II-Patienten hingegen lag die minimale Differenz 2 mm unterhalb der Inzisalkante (s. Tab. 17, Abb. 34 und Abb. 35).

Tab. 17 Mittlere Differenz zwischen der Oberkiefer- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge, die mit dem 3D-Digitizer gemessen wurde

	Klasse I	Klasse II
1 mm unterhalb der Inzisalkante	3,03 mm	1,05 mm
2 mm unterhalb der Inzisalkante	1,86 mm	0,07 mm
3 mm unterhalb der Inzisalkante	0,47 mm	- 0,95 mm
4 mm unterhalb der Inzisalkante	- 1,03 mm	- 2,45 mm
5 mm unterhalb der Inzisalkante	- 3,19 mm	- 5,21 mm

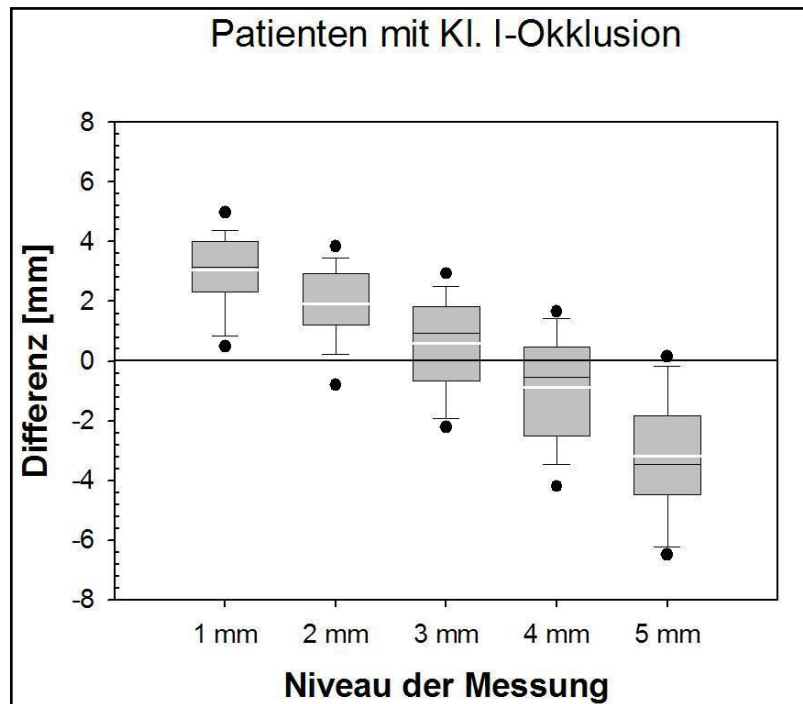


Abb. 34 Differenz zwischen den verschiedenen Frontzahnbogenlängen des Oberkiefers und der Unterkieferfrontzahnbogenlänge auf den unterschiedlichen Messhöhen bei Klasse-I-Patienten

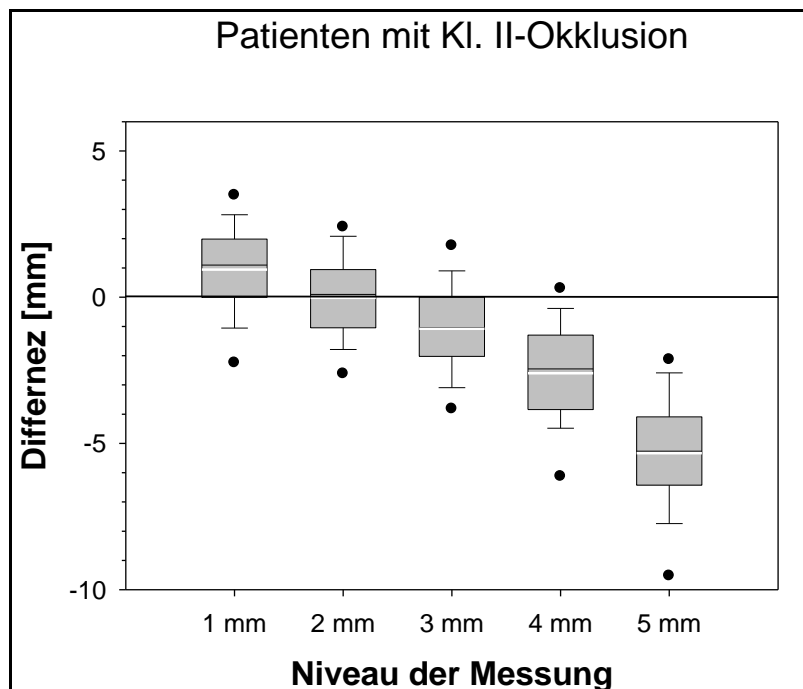


Abb. 35 Differenz zwischen den verschiedenen Frontzahnbogenlängen des Oberkiefers und der Unterkieferzahnbogenlänge auf den unterschiedlichen Messhöhen bei Klasse-II-Patienten

5.4 Differenz zwischen den Zahnbogenlängen im Bereich der Ober- und Unterkieferinzisalkante

Als Grundlage für die Berechnung der Differenz zwischen der Oberkieferzahnbogenlänge 1 mm unterhalb der Inzisalkante und der Unterkieferfrontzahnbogenlänge diente die Messung mit dem 3D-Digitizer. Alle Klasse-I-Patienten wiesen ein positives Ergebnis in der Differenz zwischen Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge auf. Bei den Klasse-II-Patienten lagen neben 35 Fällen mit einem positiven Ergebnis in neun Fällen negative Ergebnisse vor. Bei einem negativen Ergebnis war der Frontzahnbogen im Unterkiefer länger als im Oberkiefer, so dass eine Zahngrößendiskrepanz vorlag.

5.5 Regressionsanalyse

Es wurden zwei Regressionsgleichungen erstellt mit deren Hilfe prognostiziert werden konnte inwieweit sich der Frontzahnbogen im Oberkiefer verkleinerte, wenn der Overbite erhöht wurde. Die Grundlage für die Regressionsanalyse waren Messungen mit dem 3D-Digitizer an den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne aller Klasse-I-Modelle.

5.5.1 Regressionsgleichung in Abhängigkeit der Höhe

Es zeigte sich, dass generell die Frontzahnbogenlänge von inzisal nach zervikal abnahm. Mit Hilfe der Regressionsanalyse konnte festgestellt werden, dass sich pro Millimeter Höhenunterschied die Frontzahnbogenlänge um 1,44 mm reduzierte (s. Abb. 36).

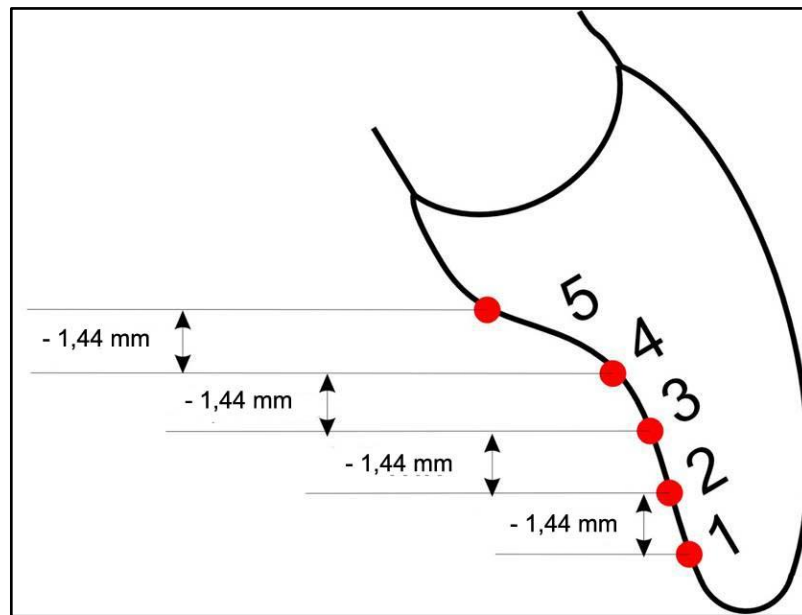


Abb. 36 Abnahme der Strecken gemessen auf den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne

Die Regressionsgleichung, die als Ursprungsgerade berechnet wurde, lautete:

$$\text{Abnahme} = (-1,44) \times \text{Höhe}$$

Ausgangshöhe war dabei immer die Messung 1 mm unterhalb der Inzisalkante. Sollte beispielsweise die Zahnbogenlänge 2 mm unterhalb der Inzisalkante berechnet werden, wurde 1 als Höhe eingesetzt. Für die Berechnung der Zahnbogenlänge 3 mm unterhalb der Inzisalkante wurde 2 als Höhe eingesetzt. Das Bestimmtheitsmaß r^2 für die Regressionsgleichung betrug 0,685 (s. Abb. 37).

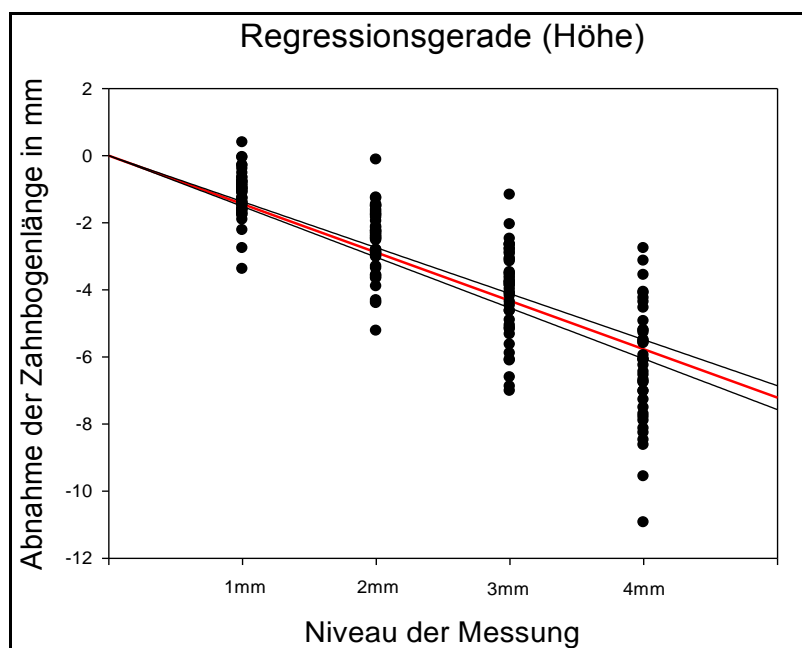


Abb. 37 Regressionsgerade (Abnahme der Zahnbogenlänge in Abhängigkeit der Höhe)

5.5.2 Regressionsgleichung in Abhängigkeit der Höhe und der Länge

Die zweite Gleichung wurde als multivariante Regressionsgleichung formuliert. Diese war nicht nur von der Höhe abhängig, sondern auch von der Länge des Frontzahnbogens. Ausgangslänge war auch hier die Messung 1 mm unterhalb der Inzisalkante, die als Länge eingesetzt wurde. Die Höhe wurde wie oben beschrieben eingesetzt. Die Regressionsgleichung als Ursprungsgerade lautete:

$$Abnahme = (0,0124 \times Länge) - (1,617 \times Höhe)$$

Das Bestimmtheitsmaß betrug $r^2 = 0,905$.

Unter der Okklusionsbedingung, dass die Frontzahnbogenlänge der errechneten Höhe und die Frontzahnbogenlänge des Unterkiefers übereinstimmen, konnte die obenstehende Gleichung so umgeformt werden, dass der bei einem Patienten einzustellende Overbite errechnet werden konnte:

$$\text{Höhe} + 1 \text{ mm} = \frac{(1 - 0,0124) \times (B_{OK} - B_{UK})}{1,617}$$

B_{OK} = Zahnbogenlänge 1 mm unterhalb der Inzisalkante im Oberkiefer gemessen

B_{UK} = Frontzahnbogenlänge im Unterkiefer

5.6 Validität des Bolton-Index

5.6.1 Validität des Bolton-Index unter Betrachtung der einfachen Standardabweichung

Nach Bolton (1962) lag eine harmonische Relation der Frontzähne vor, wenn der Index zwischen 75,55 % und 78,85 % lag. Dieses Intervall entspricht einer Standardabweichung von 1,65 bezogen auf den Idealwert von 77,2 %. Von den 89 untersuchten Modellen (Klasse I und Klasse II) zeigten neun Modelle Zahngrößendiskrepanzen. Alle neun auffälligen Modelle lagen auch außerhalb einer Standardabweichung des idealen Bolton-Index. Der Bolton-Index hatte damit eine Sensitivität von 1. Von den 80 nach dem Goldstandard unauffälligen Modellen, lagen jedoch nur 50 Modelle innerhalb einer Standardabweichung. Dreißig Modelle dagegen lagen außerhalb einer Standardabweichung. Der Bolton-Index wies somit eine Spezifität von 0,63 auf (s. Tab. 18 und Tab. 20).

Tab. 18 Vier-Felder-Tafel zur Bestimmung der Spezifität und Sensitivität des Bolton-Index bei einfacher Standardabweichung

einfache Standardabweichung	Tatsächlich auffällig	Tatsächlich unauffällig
Mit Boltonabweichung	9	30
Ohne Boltonabweichung	0	50

5.6.2 Validität des Bolton-Index unter Betrachtung der zweifachen Standardabweichung

Einer zweiten Bestimmung der Validität des Bolton-Index wurde die zweifache Standardabweichung zugrunde gelegt. Dazu wurden erneut alle 89 Modelle hinsichtlich des Bolton-Index ausgewertet. Von den neun nach dem Goldstandard auffälligen Modellen lagen nur vier Modelle außerhalb von zwei Standardabweichungen des Idealwertes 77,2 %. Fünf Modelle dagegen lagen innerhalb von zwei Standardabweichungen. Daraus resultierte eine Sensitivität von 0,44. Achtzig Modelle waren nach dem Goldstandard unauffällig. Dreiundsiebzig davon lagen innerhalb von zwei Standardabweichungen. Die Spezifität lag damit bei 0,91 (s. Tab. 19 und Tab. 20).

Tab. 19 Vier-Felder-Tafel zur Bestimmung der Spezifität und Sensitivität des Bolton-Index bei zweifacher Standardabweichung

zweifache Standardabweichung	Tatsächlich auffällig	Tatsächlich unauffällig
Mit Boltonabweichung	4	7
Ohne Boltonabweichung	5	73

Tab. 20 Spezifität und Sensitivität des Bolton-Index bei einfacher und zweifacher Standardabweichung

	Spezifität	Sensitivität
einfache Standardabweichung	0,63	1
zweifache Standardabweichung	0,91	0,44

5.7 Validität der palatinalen Schieblehrenmessung (eigene Methode)

5.7.1 Vergleich der 3D-Digitizer-Messung mit der Schieblehrenmessung im Oberkiefer

Tab. 21 Korrelationskoeffizient zwischen 3D-Digitizer und Schieblehre

	Korrelationskoeffizient
1 mm unterhalb der Inzisalkante	0,955
2 mm unterhalb der Inzisalkante	0,953
3 mm unterhalb der Inzisalkante	0,91
4 mm unterhalb der Inzisalkante	0,86
5 mm unterhalb der Inzisalkante	0,20

Die Messung mit der Schieblehre von palatinal korrelierte am besten mit der 3D-Digitizer-Messung, die 1 mm unterhalb der Inzisalkante genommen wurde. Der Korrelationskoeffizient betrug 0,955 (s. Tab. 21). Von der Messung mit der Schieblehre ließ sich mit recht hoher Wahrscheinlichkeit auf die Messung mit dem 3D-Digitizer 1 mm unterhalb der Inzisalkante schließen. Zur Veranschaulichung wurde eine Regressionsgerade gebildet und zusätzlich das 95 % - Prognoseintervall (s. Abb. 38) sowie das 95 % - Konfidenzintervall (s. Abb. 39) dargestellt. Auf der y-Achse wurde die Differenz aus Oberkieferzahnbogenlänge (1 mm unterhalb der Inzisalkante) und Unterkieferfrontzahnbogenlänge mit dem 3D-Digitizer gemessen in Millimeter aufgetragen. Die Werte der x-Achse stellten die Differenz aus Oberkieferfrontzahnbogenlänge (von palatinal) und Unterkieferfrontzahnbogenlänge mit der Schieblehre gemessen in Millimeter dar. Der Korrelationskoeffizient dieser Regressionsgeraden lag bei 0,70.

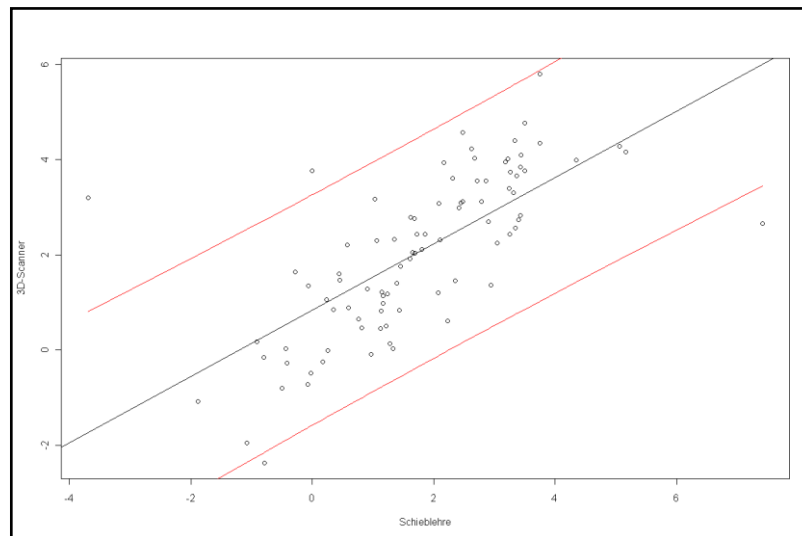


Abb. 38 **Regressionsgerade (in Schwarz) mit 95 % - Prognoseintervall (in Rot)**

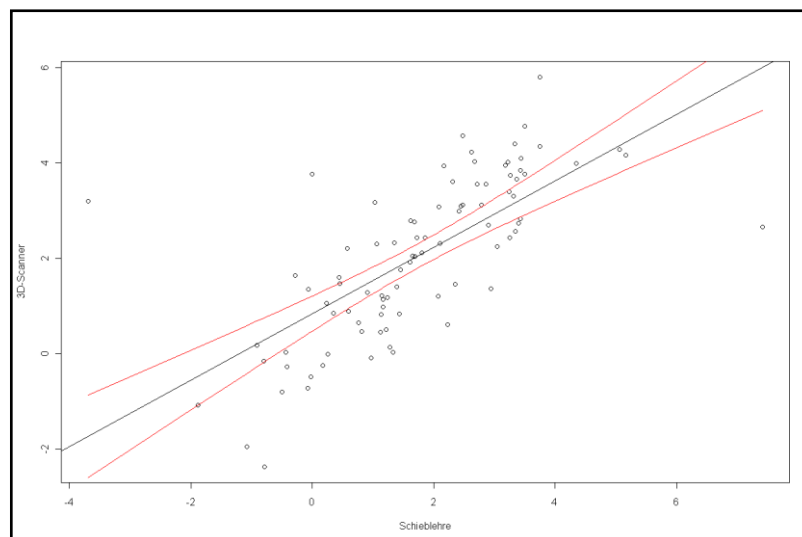


Abb. 39 **Regressionsgerade (in Schwarz) mit 95 % - Konfidenzintervall (in Rot)**

5.7.2 Differenz der palatinalen Oberkieferfrontzahnbogenlänge und der vestibulären Unterkieferfrontzahnbogenlänge mit der Schieblehre gemessen

Mit der Schieblehre wurden die Frontzahnbogenlängen im Oberkiefer von palatinal und im Unterkiefer von vestibulär bestimmt. Die mittleren Differenzen dieser Längen sind in Tab. 22 dargestellt. Es konnte ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten hinsichtlich dieser mittleren Differenzen festgestellt werden.

Tab. 22 Mittlere Differenzen zwischen Oberkiefer- (von palatinal) und Unterkieferfrontzahnbogenlänge mit der Schieblehre gemessen

	Klasse I	Klasse II
Mittelwert	2,55	0,92
Median	2,48	1,05

5.7.3 Spezifität und Sensitivität

Die Überprüfung der Spezifität und Sensitivität der Differenz der palatinalen Oberkieferfrontzahnbogenlänge und der vestibulären Unterkieferfrontzahnbogenlänge erfolgte mit Hilfe des Goldstandards. Bei den Messungen mit dem 3D-Digitizer konnte festgestellt werden, dass neun Klasse-II-Modelle eine Zahngrößendiskrepanz zeigten. Die restlichen Klasse-II-Modelle und alle Klasse-I-Modelle waren unauffällig. Anhand dieses Ergebnisses wurden die Sensitivität und die Spezifität der eigenen Methode bestimmt. Im Idealfall sollte sowohl die Sensitivität als auch die Spezifität möglichst hoch sein. Eine detaillierte Berechnung ist im Anhang in Tab. 25 dargestellt. Das Optimum an Sensitivität und Spezifität lag bei einer Differenz von 0,24 mm. Das bedeutet, dass die Differenz aus der Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge im Idealfall $> 0,24$ mm sein sollte. Bei einem kleineren Ergebnis war der Frontzahnbogen im Unterkiefer länger als im Oberkiefer, so dass eine Zahngrößendiskrepanz vorlag. Die graphische Darstellung der Berechnung der verschiedenen Sensitivitäten und Spezifitäten erfolgte mit der ROC-Kurve (s. Abb. 40). Die AUC, also die Fläche unter der ROC-Kurve (Receiver-Operating-Characteristic) wurde auf 0,9778 geschätzt. Mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit lag die Fläche zwischen 0,9273 und 0,9935.

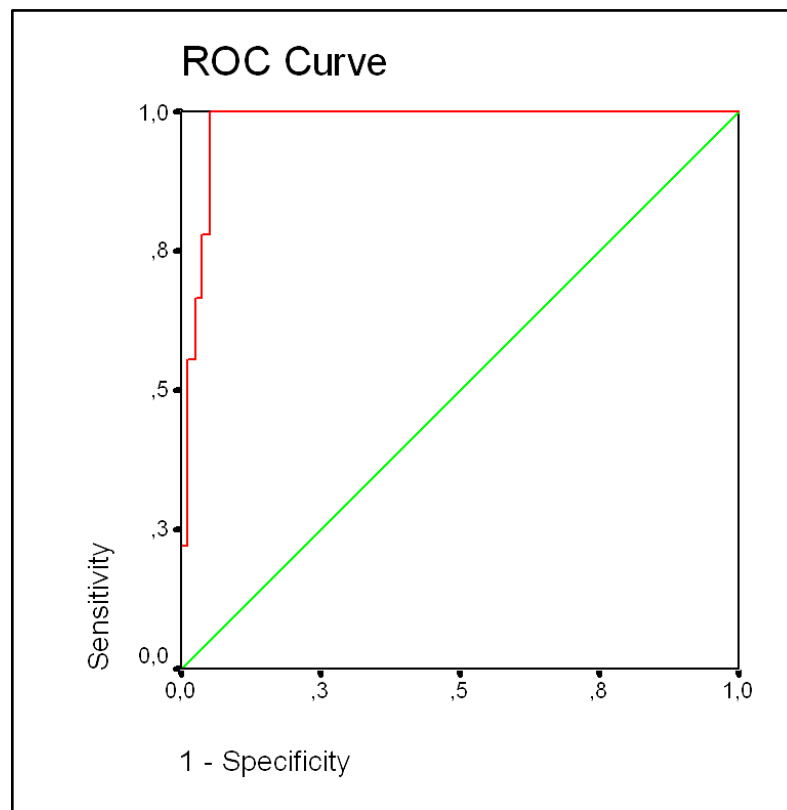


Abb. 40 ROC-Kurve

Bezogen auf die vermessenen 89 Modelle, wurden alle neun Modelle mit Zahngrößendiskrepanz durch die Berechnung der Differenz aus der palatinalen Oberkieferfrontzahnbogenlänge und der vestibulären Unterkieferfrontzahnbogenlänge (mit der Schieblehre gemessen) als auffällig erkannt. Die Sensitivität betrug 1. Von den 80 gesunden Modellen wurden 76 als gesund erkannt, vier dagegen nicht. Das ergab eine Spezifität von 0,95 (s. Tab. 23).

Tab. 23 Vier-Felder-Tafel zur Bestimmung der Spezifität und Sensitivität der palatinalen Schieblehrenmessung

	Tatsächlich auffällig	Tatsächlich unauffällig
Mit Abweichung	9	4
Ohne Abweichung	0	76

6 DISKUSSION

6.1 Diskussion der Methodik

Die Ergebnisse dieser Arbeit beruhen auf zahlreichen methodischen und statistischen Parametern. Um den Fehler so gering wie möglich zu halten, wurden alle Parameter genau definiert. Es erfolgte eine kriterienorientierte Patientenauswahl. Des Weiteren kam eine geeignete Messmethodik zur Anwendung. Der konsequente Einsatz digitaler und computerunterstützter Messinstrumente ermöglichte die Erarbeitung reproduzierbarer und aussagekräftiger Ergebnisse.

6.1.1 Probandenauswahl

Der Stichprobenumfang sollte für eine aussagekräftige Statistik so groß wie möglich sein. Die Modellauswahl erfolgte nach den in der Literatur üblichen Kriterien wie ausgezeichnete Modellqualität und keine Veränderung der Frontzahnbogenlänge durch Extraktion, Füllungen, Kronen oder approximale Schmelzreduktion (Al-Khateeb und Abu Alhaija 2006; Alkofide und Hashim 2002; Basaran et al. 2006; Bernabe et al. 2004 a; Crosby und Alexander 1989; Hashim und Al-Ghamdi 2005; McCann und Burden 1996; Nie und Lin 1999; Nourallah et al. 2005; Paredes et al. 2006 a; Peck 2003; Quimby et al. 2004; Santoro et al. 2003; Schirmer und Wiltshire 1997; Smith et al. 2000; Uysal et al. 2005). Zusätzlich war es wichtig, dass alle Modelle eine perfekt harmonische Frontzahnokklusion hatten. Modelle die alle Kriterien (siehe 4.2.1) erfüllten waren nur sehr schwer zu finden. Nach Durchsicht von etwa 4000 Modellen konnten lediglich 89 Modelle die aufgestellten Kriterien erfüllen. Davon hatten 45 Patienten im Eckzahnbereich eine Klasse-I-Verzahnung und 44 Patienten eine Klasse-II-Verzahnung. Auf Grund der Schwierigkeit geeignete Modelle zu finden, basiert die Statistik dieser Arbeit nur auf den untersuchten 89 Modellen.

6.1.2 Messverfahren

6.1.2.1 Bestimmung der Frontzahnbogenlänge

Jede Messung sollte so präzise wie möglich mit der tatsächlichen Größe übereinstimmen. Ein Fehler von bereits einem halben Millimeter in der Summe der Frontzahnbreite von Ober- oder Unterkiefer kann beispielsweise den Bolton-Index um

1 % beeinflussen (Halazonetis 1996). Die Bedeutung eines Messfehlers fand sich in folgender Überlegung: In vielen odontometrischen Werken tauchte die Frage auf, ob ein Unterschied der Zahnbreite zwischen verschiedenen Populationen bestünde (Bailit 1975; Endo et al. 2007; Laino et al. 2003; Lavelle 1972; Paredes et al. 2006 b; Smith et al. 2000; Uysal und Sari 2005). Tatsächlich waren zwischen den Messungen, die von unterschiedlichen Untersuchern an verschiedenen Populationen durchgeführt wurden, mehr oder minder starke Differenzen deutlich zu erkennen. Diese Unterschiede dürften teilweise durch folgende methodische Verschiedenheiten bedingt sein: die Auswahlkriterien des Probandenmaterials, die Definition des größten mesio-distalen Durchmessers, die Genauigkeit der Messgeräte und die Exaktheit des Untersuchers (Miethke 1972). Das eindeutige Aufsuchen definierter Bezugspunkte für odontometrische Bestimmungen war wegen der anatomischen Gestalt der Zahnkronen nicht einfach. Deshalb konnten selbst simple Messungen bei Wiederholung oder wenn sie von verschiedenen Personen an gleichen Objekten durchgeführt wurden, nicht unerheblich differieren (Jonas und Ritter 1977; Manke und Miethke 1983). Einzelne Zähne waren aus morphologischen Gründen schwieriger zu messen. Dazu zählten die seitlichen Schneidezähne im Oberkiefer und die Eckzähne im Unterkiefer (Hunter und Priest 1960). Hauptsächlich bedingten jedoch zufällige Fehler die Ungenauigkeit eines gemessenen Wertes (Sorg 1977). Aufgrund des Messfehlers wurde dem Kliniker empfohlen jedes Modell drei- oder viermal zu vermessen und die Ergebnisse zu mitteln, bevor er therapeutische Konsequenzen zog (Othman und Harradine 2007 b).

In der vorliegenden Arbeit wurde zur Vermessung der Modelle ein 3D-Digitizer verwendet. Damit wurden dreidimensionale Koordinaten generiert. Diese Koordinaten wurden direkt in eine Excel®-Tabelle übertragen, in der die Berechnung der Frontzahnbogenlängen erfolgte. Übertragungsfehler konnten damit ausgeschlossen werden. Von der Firma Immersion wurde für den 3D-Digitizer eine Messgenauigkeit von 0,23 mm angegeben. Bei den eigenen Messungen lag der Methodenfehler bei 0,2 mm und entsprach damit den Angaben des Herstellers. Hayasaki et al. (2005) bestätigte, dass der systematische Fehler des MicroScribe® 3D-Digitizers sehr gering war. Alle Fehler waren zufällig und normal verteilt. Er konnte keinen Unterschied zur Messung mit einem Stechzirkel finden. Der Methodenfehler des 3D-Digitizers war somit klinisch unbedeutend.

Bolton (1958) verwendete für seine Untersuchungen einen Stechzirkel. Die Enden eines Stechzirkels verjüngen sich. Daraus resultierte ein systematisch vergrößerter Messwert, weil die eigentlichen Enden des Stechzirkels den Zahn nicht berührten. Die Schieblehre maß um im Mittel 0,15 mm pro Zahn, und damit statistisch signifikant, kleinere Werte als der Stechzirkel. Deshalb sollte die Schieblehre für die Messung der mesio-distalen Breite eines Zahnes bevorzugt werden (Hunter und Priest 1960; Richardson ME et al. 1963). Die Differenz zwischen beiden Messinstrumenten war signifikant (Richardson ME et al. 1963).

In der vorliegenden Arbeit wurde eine digitale Schieblehre verwendet, wie von Kreis (1990) beschrieben wurde. Diese digitale Schieblehre war zur direkten Datenübertragung an den Computer angeschlossen. Damit konnte Kreis (1990) seine Messungen bis auf 0,02 mm reproduzieren. Die kalibrierte Schieblehre ist zur Zeit die genaueste, zuverlässigste und am besten zu reproduzierende Messmethode (Schirmer und Wiltshire 1997). Zahlreiche Autoren konnten keinen signifikanten Messfehler feststellen (Al-Tamimi und Hashim 2005; Alkofide und Hashim 2002; Araujo und Souki 2003; Basaran et al. 2006; Endo et al. 2007; Fattahi et al. 2006; Lavelle 1972; Nie und Lin 1999; Uysal und Sari 2005). Der intraindividuelle Messfehler betrug 0,01 bis 0,3 mm pro Zahn (Al-Khateeb und Abu Alhaija 2006; Bernabe et al. 2004 a; Eismann und Bergmann 1988; Ernst 1981; Moorrees et al. 1957; Santoro et al. 2000). Bezogen auf den gesamten Frontzahnbogen konnte es jedoch zu Abweichungen von bis zu 1,5 mm kommen (Ernst 1981). Der interindividuelle Messfehler konnte bis zu 0,74 mm groß sein (Ernst 1981; Kieser et al. 1990; Paredes et al. 2006 b) und war damit statistisch schwach signifikant (Richardson ME et al. 1963).

Der Methodenfehler der eigenen Untersuchung lag zwischen 0,07 mm und 0,1 mm für die bukkale Messung und 0,12 mm für die palatinale Messung. Der Methodenfehler war damit geringer als in der Literatur angegeben. Zum Einen führte die konsequente Verwendung digitaler Messgeräte mit direkter Übertragung auf den Computer zu einer Reduktion möglicher Fehlerquellen, zum Anderen wurden die Messungen von nur einem Untersucher durchgeführt. Zusammenfassend kann die Methode als zuverlässig betrachtet werden.

6.1.2.2 Schneidezahnkronenwinkelmesser

Der Schneidezahnkronenwinkelmesser kam für die Messung des Torquewertes zum Einsatz. Dieses Messgerät wurde mehrfach als geeignet für die Torquemessung der mittleren oberen Schneidezähne bestätigt (Ghahferokhi et al. 2002; Knösel et al. 2007 a; Richmond et al. 1998). Der in dieser Arbeit ermittelte Methodenfehler von $0,6^\circ$ hat keine klinische Relevanz. Er liegt in der Größenordnung der Methodenfehler die von Richmond (1998) ($0,2^\circ$) und Knösel (2007 b) ($0,7^\circ$) gefunden wurden.

6.1.2.3 Methodenfehler durch die Messung an Gipsmodellen

Die Messung von Zahngrößen erfolgte an Gipsmodellen aus Hartgips. Diese wurden in einem Negativ-Positiv-Umkehrvorgang nach einer Abformung mit dem Abformwerkstoff Alginat gewonnen. Die Dimensionsabweichungen der Zähne hatten dabei ihren Ursprung in den Volumenänderungen und Verzerrungen sowohl des Abform- als auch des Modellwerkstoffes. Die Veränderungen, die durch eine längere Lagerung des Alginatabdrucks vor dem Ausgießen beziehungsweise durch die Veränderung des Wasser-Pulververhältnisses entstanden sind, sind kleiner als 0,1 mm. Dennoch ergaben die Untersuchungen von Schwarz (1984), dass mit einer statistisch signifikanten Dimensionsabweichung von + 0,2 mm gegenüber dem Original gerechnet werden muss. Die Dimensionsabweichung zwischen geseiften und ungeseiften Modellen war von nicht signifikanter Größe (Hunter und Priest 1960).

Die Dimensionsabweichung war ein systematischer Fehler. Da alle Messungen an Gipsmodellen durchgeführt wurden und damit den gleichen systematischen Fehler aufwiesen, konnte dieser vernachlässigt werden. Richardson ME et al. (1963) bestätigte, dass akkurate Messungen sowohl im Mund als auch an Gipsmodellen durchgeführt werden konnten, die Ergebnisse aber nicht miteinander korrespondierten.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Zusammenhang zwischen der Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge und der vertikalen Frontzahnstufe

Bei der Analyse der 89 Modelle mit harmonischer Frontzahnokklusion wurde kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten in der vertikalen und sagittalen Frontzahnstufe festgestellt. Der Unterschied des Torques war

nur schwach signifikant. Auch bezüglich der Unterkieferfrontzahnbogenlänge konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen gefunden werden. Die Oberkieferfrontzahnbogenlängen dagegen waren bei Klasse-I-Patienten auf allen fünf Messhöhen statistisch signifikant länger als bei Klasse-II-Patienten. Die klinische Konsequenz dieses Ergebnisses war, bei sonst perfekter Frontzahnokklusion aller Modelle, dass es zu einer unterschiedlichen Verzahnung im Eckzahnbereich kam. Der längere Oberkieferfrontzahnbogen der Klasse-I-Patienten hatte ebenfalls einen Einfluss darauf, in welcher Höhe die Ober- und Unterkieferfrontzahnbogenlängen am besten übereinstimmten. Bei Klasse-I-Patienten entsprach die Unterkieferfrontzahnbogenlänge der Oberkieferfrontzahnbogenlänge 3 bis 4 mm unterhalb der Inzisalkante. Bei Klasse-II-Patienten dagegen entsprach die Unterkieferfrontzahnbogenlänge der Oberkieferfrontzahnbogenlänge 2 mm unterhalb der Inzisalkante. Das Ergebnis verdeutlichte, dass die Länge des Oberkieferfrontzahnbogens mit der vertikalen Höhe variierte. Zur weiteren Überprüfung des Ergebnisses wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Grundlage war die millimeterweise Vermessung der Palatinalfläche der Oberkieferfrontzähne mit dem 3D-Digitizer. Die Regressionsanalyse ergab, dass die Oberkieferfrontzahnbogenlänge linear von der vertikalen Höhe abhing. Wurde die Ausgangszahnbogenlänge außer Acht gelassen, so verkürzte sich der Oberkieferfrontzahnbogen um 1,44 mm bei Reduktion der vertikalen Höhe um 1 mm. Das Einbeziehen der Ausgangszahnbogenlänge präziserte die Regressionsanalyse, die Gleichung wurde dabei jedoch komplizierter.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass bei den 35 Klasse-II-Patienten, die nach dem Goldstandard keine Zahngrößendiskrepanz aufwiesen, möglicherweise durch Reduktion der vertikalen Frontzahnstufe eine Klasse-I-Verzahnung im Eckzahnbereich möglich gewesen wäre. Die Erklärung lag darin, dass bei einer Reduktion der vertikalen Frontzahnstufe die für die Okklusion zur Verfügung stehende Oberkieferfrontzahnbogenlänge zunahm.

Beispiel:

Ein Patient hat einen für eine Klasse-I-Verzahnung vermeintlich 2,5 mm zu kurzen Oberkieferfrontzahnbogen bei einem Overbite von 3 mm. Durch die lineare Abhängigkeit verlängert sich der Oberkieferfrontzahnbogen um 1,44 mm pro Millimeter vertikale Höhe. Würde folglich der Overbite um 2 mm reduziert,

verlängerte sich die für die Okklusion zur Verfügung stehende Palatinalfläche um 2,88 mm. Damit wäre die Einstellung einer Klasse-I-Verzahnung mit Kontakt im Frontzahnbereich bei diesem Patienten möglich.

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit zeigten, dass ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Frontzahnbogenlänge und dem Overbite bestand. Ein vermeintlich zu kurzer Oberkieferfrontzahnbogen konnte durch eine Änderung des Overbites ausgeglichen werden. Eine Zahngrößendiskrepanz lag erst dann vor, wenn der Unterkieferfrontzahnbogen länger war als der Oberkieferfrontzahnbogen 1 mm unterhalb der Inzisalkante. In diesem Fall hätte eine weitere Reduzierung des Overbites einen Kopfbiss oder einen offenen Biss zur Folge.

Auch bei einem zu kurzen Unterkieferfrontzahnbogen war der Änderung des Overbites eine Grenze gesetzt. Der Overbite durfte nicht so stark vergrößert werden, dass die Inzisalkanten der Unterkieferschneidezähne mit dem Marginalsaum der Oberkieferzähne in Kontakt kamen. Daraus würde ein traumatischer Gingivaeinbiss mit einer Schädigung des Parodontiums resultieren. Auch in diesem Fall läge eine Zahngrößendiskrepanz vor. Das heißt der Overbite konnte nur innerhalb einer Grenze variiert werden. Bei in inzisivo-cervikaler Richtung kurzen Zähnen war die Variationsbreite geringer als bei längeren Zähnen. Aus diesem Grund konnte kein einheitlicher Grenzwert angegeben werden. Bei den vermessenen Modellen dieser Arbeit lag bei keinem einzigen eine Zahngrößendiskrepanz vor, die daraus resultierte, dass der Overbite nicht weiter vergrößert werden konnte.

Mit Hilfe der in dieser Arbeit aufgestellten Formel konnte der individuell optimale Overbite eines Patienten errechnet werden. Dafür mussten die Frontzahnbogenlängen des Ober- und Unterkiefers in die Gleichung eingesetzt werden.

6.2.2 Einfluss weiterer Parameter auf die Frontzahnbogenlängen

Der Overbite stellt nur einen Parameter der Frontzahnokklusion dar. Bekannt ist, dass die Angulation ebenfalls einen entscheidenden Beitrag zur mesio-distalen Breite eines Zahnes leistet. Je weiter die Kronenlängsachse geneigt ist, desto mehr Platz beansprucht der Zahn in mesio-distale Richtung (Andrews 1972; Kirschen et al. 2000). Das bedeutet, dass die Angulation der Frontzähne die Zahnbogenlängenmessung mit dem 3D-Digitizer beeinflusste. Ist eine leichte Veränderung eines Frontzahnbogens erwünscht, so kann die Option, die Angulation der Zähne zu vergrößern oder zu verkleinern, in

Erwägung gezogen werden. Eine deutliche Abweichung von den Richtwerten sollte aus ästhetischen Gründen vermieden werden (Fields 1981). Die Frontzahnbogenlänge kann maximal um 2 mm variiert werden (Tuverson 1980 a). Eine Änderung der Angulation sollte bei der Beeinflussung der Frontzahnbogenlänge stets bedacht werden. Es ist jedoch sorgfältig abzuwägen, ob diese ein optimales Ergebnis hervorbringen kann. Bei stark angulierten Zähnen füllt oftmals die Papille das interdentale Dreieck nur unvollständig aus. Plaqueakkumulation, eine erschwerte Reinigungsmöglichkeit und eine unschöne Ästhetik sind die Konsequenzen. Zu aufrecht stehende Zähne haben ebenfalls eine beeinträchtigte Ästhetik zur Folge.

Der Torque beeinflusst sowohl den benötigten mesio-distalen Platz eines Zahnes (Cordato 1995) als auch die vertikale Frontzahnstufe (Akyalcin et al. 2006). Bei Protrusion eines Zahnes verringert sich der vertikale Überbiss. In der vorliegenden Arbeit wurden nur Modelle verwendet deren Oberkieferfrontzähne keinen auffälligen Torquewert hatten. Bei stark protrudierten Frontzähnen wäre die vertikale Höhe, senkrecht zur Okklusionsebene gemessen, verkürzt. Versuchstechnisch könnten weniger Linien palatinal eingezeichnet werden. Gleichzeitig wäre jedoch auch der Unterschied zwischen den Frontzahnbogenlängen der jeweiligen Messniveaus vergrößert. Bei retrudierten Oberkieferschneidezähnen wäre die vertikale Höhe, senkrecht zur Okklusionsebene gemessen, erhöht. Das heißt, es könnten palatinal mehr Linien eingezeichnet werden. Der Unterschied zwischen den Frontzahnbogenlängen der verschiedenen Messniveaus wäre reduziert. Auch die Unterkieferfrontzahnbogenlänge könnte durch den Torquewert beeinflusst werden. Bei einer vorliegenden Zahngrößendiskrepanz sollte deshalb die Variation der Torquewerte der Ober- und Unterkieferschneidezähne berücksichtigt werden. Ein um 5° vergrößerter Torque verlängert den Zahnbogen um etwa 1 mm (Sangcharearn und Ho 2007 a; Tuverson 1980 a). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass extreme Torquewerte zu ungünstigen ästhetischen Ergebnissen führen. Ebenso kann die Funktion wie zum Beispiel die Frontzahnführung beeinträchtigt werden (Fields 1981).

6.2.3 Differenz zwischen den Zahnbogenlängen im Bereich der Ober- und Unterkieferinzisalkante

Die Vermessung der Oberkieferpalatinalfläche erfolgte mit Hilfe des 3D-Digitizers an den für die Okklusion in Frage kommenden Koordinaten. Im Unterkiefer wurde die

Inzisalkante am Übergang zur vestibulären Fläche vermessen. Das war der zum Oberkiefer Kontakt aufweisende Bereich. Die Unterkieferfrontzahnbogenlänge von distal 33 zu distal des Zahnes 43 entsprach nach der Theorie der Zahn-zu-zwei-Zahn-Beziehung der Oberkieferfrontzahnbogenlänge von Mitte 13 zu Mitte 23. Exakt diese funktionell zusammengehörigen Bereiche wurden mit dem 3D-Digitizer vermessen.

Die maximale Oberkieferfrontzahnbogenlänge lag 1 mm unterhalb der Inzisalkante. Um eine potentielle Zahngrößendiskrepanz zu diagnostizieren, wurde die Unterkieferfrontzahnbogenlänge von der maximalen Oberkieferfrontzahnbogenlänge abgezogen. Idealerweise sollte das Ergebnis ≥ 0 mm betragen. Ab einem Ergebnis von $\leq -0,2$ mm liegt sicher eine Zahngrößendiskrepanz vor. Der Grenzwert von $\leq -0,2$ mm erklärte sich durch den Methodenfehler von 0,2 mm. Wäre kein Methodenfehler vorhanden, so läge die Grenze bei 0 mm. Durch den Methodenfehler von 0,2 mm stellte der Bereich von $-0,2$ bis 0,2 mm eine Zone dar, in der das Ergebnis vorsichtig interpretiert werden musste, da ein Messfehler nicht ausgeschlossen werden konnte. Daher wurde der Grenzwert für eine vorliegende Zahngrößendiskrepanz bei $\leq -0,2$ mm angesetzt. Eine Reduzierung des Overbites hätte in diesem Fall einen offenen Biss beziehungsweise einen Kopfbiss zur Folge. Es liegt eine Zahngrößendiskrepanz mit zu kurzer Oberkieferfrontzahnbogenlänge vor. Das hätte zur Konsequenz, dass im Oberkieferfrontzahnbereich Lücken nicht beseitigt werden könnten. Die Lücken könnten allerdings durch Mesialisierung der Oberkieferseitenzähne geschlossen werden. Damit wäre eine Einstellung der Seitenzähne in Klasse-II-Okklusion verbunden. Weitere Optionen zur Vermeidung der Lücken bestehen in der approximalen Schmelzreduktion der Unterkieferfrontzähne, beziehungsweise dem Aufbau der Oberkieferfrontzähne.

War dagegen das Ergebnis der Differenz $\geq 0,2$ mm, so konnte eine Klasse-I-Verzahnung im Eckzahnbereich realisiert werden. Nach der Regressionsanalyse kann bei einer Erhöhung des Overbites um 1 mm eine Verkürzung des Oberkieferfrontzahnbogens um 1,44 mm erreicht werden. Bei einem Overbite von 5 mm wäre beispielsweise der Oberkieferfrontzahnbogen um 5,76 mm kürzer als die maximale Frontzahnbogenlänge 1 mm unterhalb der Inzisalkante (s. Tab. 24). Auf diese Weise kann die Länge des Oberkieferfrontzahnbogens in Abhängigkeit des Overbites

variiert werden. Der Overbite darf jedoch nicht so weit vergrößert werden, dass es zu einem traumatischen Gingivaeinbiss kommt (siehe 6.2.1).

Tab. 24 **Differenz zwischen den unterschiedlichen Messhöhen**

Differenz (OK – UK)	Overbite
0 mm	1 mm
+ 1,44 mm	2 mm
+ 3,88 mm	3 mm
+ 4,32 mm	4 mm
+ 5,76 mm	5 mm

Bei allen 45 Klasse-I-Patienten war das Ergebnis der Differenz zwischen der maximalen Frontzahnbogenlänge im Oberkiefer und der Frontzahnbogenlänge im Unterkiefer positiv. Das bedeutet, dass in jedem der Fälle der Oberkieferfrontzahnbogen länger war als der Unterkieferfrontzahnbogen und damit keine Zahngrößendiskrepanz vorlag. Das entsprach dem klinischen Erscheinungsbild der Klasse-I-Verzahnung im Eckzahnbereich bei harmonischer Frontzahnokklusion.

Die Messungen mit dem 3D-Digitizer an den 45 Klasse-I-Modellen wurden als Goldstandard definiert. Die Definition wurde gerechtfertigt, weil zum Einen die Vermessung genau an den miteinander artikulierenden Flächen stattfand und zum Anderen die Messmethode als genau angesehen werden kann. Der Goldstandard ermöglichte die Überprüfung der Validität des Bolton-Index und der palatinalen Schieblehrenmessung (siehe 6.2.4 und 6.2.5).

Bei den Klasse-II-Patienten hatten 35 Patienten eine Differenz größer als - 0,2 mm und neun Patienten eine Differenz kleiner als - 0,2 mm. Die zu letzt genannten neun Patienten wiesen eine Zahngrößendiskrepanz auf.

6.2.4 Validität des Bolton-Index

Bis heute ist der Bolton-Index in der Literatur der gängigste Index um Zahngrößendiskrepanzen zu diagnostizieren (Akyalcin et al. 2006; Al-Khateeb und Abu Alhaja 2006; Al-Tamimi und Hashim 2005; Alkofide und Hashim 2002; Araujo und Souki 2003; Bailey 1998; Basaran et al. 2006; Baydas et al. 2005; Bernabe et al. 2004 a;

Bernabe et al. 2004 b; Crosby und Alexander 1989; Endo et al. 2007; Ernst 1981; Fattahi et al. 2006; Freeman et al. 1996; Gaidyte et al. 2003; Heusdens et al. 2000; Kreis 1990; Nie und Lin 1999; Nourallah et al. 2005; Othman und Harradine 2006; Othman und Harradine 2007 a; Othman und Harradine 2007 b; Paredes et al. 2006 a; Paredes et al. 2006 b; Richardson ER und Malhotra 1975; Rudolph et al. 1998; Saatci und Yukay 1997; Santoro et al. 2000; Shellhart et al. 1995; Smith et al. 2000; Sperry et al. 1977; Stifter 1958; Ta et al. 2001; Tadesse et al. 2008; Uysal und Sari 2005; Uysal et al. 2005). Auch Tonn (1937) und Neff (1949) publizierten Indizes, die dem von Bolton (1958) ähnelten. Die Grenze zwischen normal und anormal war jedoch komplex (Neff 1949), so dass die Standardabweichung kein gutes Kriterium zu sein schien, um eine Entscheidung zu treffen, ob eine Zahngrößendiskrepanz klinisch von Bedeutung war oder nicht (Othman und Harradine 2006). Ausdruck dessen war die in der Literatur herrschende Uneinigkeit darüber ab welchem Grenzwert eine Zahngrößendiskrepanz vorlag. Bolton (1958) sprach bei Werten, die mehr als eine Standardabweichung vom Mittelwert differierten von einer Zahngrößendiskrepanz. Auch andere Autoren arbeiteten mit dieser Spanne (Akyalcin et al. 2006; Baidas und Hashim 2005). Zahlreiche andere Autoren hielten dagegen die Eingrenzung innerhalb von einer Standardabweichung für zu gering und noch nicht klinisch relevant. Deshalb forderten sie erst von einer Zahngrößendiskrepanz zu sprechen, wenn der Bolton-Index den idealen Mittelwert um zwei Standardabweichungen überschritten hatte. Erst dann lag eine klinisch signifikante Zahngrößendiskrepanz von 2 – 3 mm vor, die die Einstellung einer idealen Okklusion beeinträchtigen könnte (Araujo und Souki 2003; Bernabe et al. 2004 a; Crosby und Alexander 1989; Endo et al. 2007; Freeman et al. 1996; Gaidyte et al. 2003; Othman und Harradine 2007 a; Paredes et al. 2006 b; Redahan und Lagerström 2003; Santoro et al. 2000; Uysal und Sari 2005; Uysal et al. 2005).

Bereits Bolton (1962) fand heraus, dass es einen Zusammenhang zwischen Overbite und Zahngrößendiskrepanzen gab. Das macht es umso bemerkenswerter, dass sich trotzdem der von ihm vorgestellte Index in den letzten 50 Jahren durchgesetzt hat. Immer wieder wurde in der Literatur berichtet, dass Zahngrößendiskrepanzen durch den Overbite ausgeglichen (Halazonetis 1996; Lundström 1954) und eine gute Okklusion erzielt werden konnte (Neff 1949). Die Notwendigkeit der approximalen Schmelzreduktion würde damit entfallen (Miethke 1972). Dennoch wurde beschrieben,

dass Zahngrößendiskrepanzen sehr häufig und bei allen Formen von Malokklusionen zu finden waren (Akyalcin et al. 2006; Crosby und Alexander 1989). Publikationen, dass akzeptable Okklusionen trotz Zahngrößendiskrepanz nach Bolton (1958) gefunden wurden (Bailey 1998; Heusdens et al. 2000), sowie der umgekehrte Fall, dass trotz eines idealen Bolton-Index keine optimale Frontzahnokklusion einzustellen war, beeinträchtigten die Popularität des Bolton-Index nicht.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Bolton-Index aller 89 Modelle errechnet. Der Unterschied des Bolton-Index zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten war statistisch hoch signifikant ($p < 0,001$). Die Klasse-I-Patienten wiesen einen mittleren Bolton-Index von 75,83 % auf, wohingegen Klasse-II-Patienten einen mittleren Bolton-Index von 78,46 % hatten. Der Bolton-Index vermochte somit zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Modellen zu differenzieren. Interessant war die Feststellung, dass beide Werte innerhalb von einer Standardabweichung des von Bolton (1958) angegebenen Idealwertes von 77,2 % lagen. Die Klasse-I-Patienten lagen jedoch nahe der unteren Grenze von 75,55 % und die Klasse-II-Patienten nahe der oberen Grenze von 78,85 %. Der von Bolton (1958) angegebene Mittelwert wurde an ideal verzahnten Modellen ermittelt. Er müsste theoretisch mit dem Mittelwert der Klasse-I-Modelle dieser Arbeit übereinstimmen. Bei der Durchsicht der Originalarbeit fällt jedoch auf, dass die dargestellten Patientenfälle keine reine Klasse-I-Verzahnung im Eckzahnbereich aufweisen (Bolton 1958). Vermutlich lässt sich hieraus erklären, warum der Mittelwert von Bolton (1958) zwischen den Mittelwerten der Klasse-I- und -II-Patienten lag.

Die Wertigkeit des Bolton-Index wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Der Bolton-Index vergleicht keinerlei funktionelle Flächen, sondern rein anatomische Einheiten. Außerdem berücksichtigt er weder Größe der sagittalen und vertikalen Frontzahnstufe, noch Torque, Angulation oder Dicke der Zähne. Beispielsweise besteht bei überdurchschnittlich dicken Oberkieferfrontzähnen eine größere Diskrepanz zwischen vestibulärer und palatinaler Frontzahnbogenlänge. Der Bolton-Index würde in diesem Fall ein Breitenmissverhältnis anzeigen, obwohl die okkludierenden Frontzahnflächen übereinstimmen. Mit den Variationsmöglichkeiten der verschiedenen Parameter der Frontzahnokklusion gibt es etliche Behandlungsstrategien, die eine Zahngrößendiskrepanz ausgleichen können. Auch Sangcharearn und Ho (2007 a) betonten, dass es viele Variablen in der Frontzahnokklusion gibt, die die Verzahnung

des bukkalen Segmentes und damit die Verzahnung des Eckzahnes beeinflussen. Nur eine der Variablen ist die Zahngrößendiskrepanz. Auch stellten sie fest, dass der Bolton-Index nur seine Gültigkeit erhielt, wenn alle skelettalen und dentalen Werte innerhalb der Norm lagen (Sangcharearn und Ho 2007 b).

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin die Validität des Bolton-Index zu evaluieren. Zu diesem Zweck wurden die Sensitivität und die Spezifität des Bolton-Index anhand des Goldstandards überprüft.

Bei der Bestimmung der Spezifität und Sensitivität wurde die Berechnung sowohl für eine als auch für zwei Standardabweichungen durchgeführt. Ein klinischer Test für die Diagnose von Zahngrößendiskrepanzen sollte eine möglichst hohe Sensitivität und Spezifität aufweisen. Diese Forderung konnte der Bolton-Index nicht erfüllen. Wurde die einfache Standardabweichung zu Grunde gelegt, so war zwar die Sensitivität mit 1 ausgezeichnet, die Spezifität mit 0,63 jedoch relativ niedrig. Somit wurden 37 % der Modelle mit harmonischer Frontzahnrelation als solche mit Zahngrößendiskrepanz eingestuft. Wenn die zweifache Standardabweichung zu Grunde gelegt wurde, stieg die Spezifität auf 0,91. Die Sensitivität sank jedoch auf 0,44. Auf diese Weise konnten weniger als die Hälfte der Modelle mit Zahngrößendiskrepanzen als solche diagnostiziert werden.

Die Überprüfung der Validität des Bolton-Index zeigte damit, dass keine zuverlässige Aussage über eine Zahngrößendiskrepanz möglich war. Die Vermessung der mesio-distalen Zahnbreiten von vestibulär in beiden Kiefern war als kritisch zu beurteilen. Diese Breiten hatten keinen funktionellen Zusammenhang. Deshalb sollte eine palatinale Messung im Oberkiefer bevorzugt werden. Ein weiterer Nachteil lag in der Bildung eines Quotienten. Die daraus resultierende Prozentzahl ist schwer zu handhaben und bedarf einer weiteren Umrechnung in Millimeter um letztendlich das Ausmaß der Zahngrößendiskrepanz zu erfassen.

6.2.5 Validität der palatinalen Schieblehrenmessung (eigene Methode)

In der vorliegenden Arbeit stellte die Messung mit dem 3D-Digitizer den Goldstandard dar. Dem praktizierenden Kieferorthopäden steht in der Regel jedoch lediglich eine Schieblehre zur Verfügung. Zur Überprüfung der Validität der Schieblehrenmessung wurden die Ergebnisse mit den Messungen des 3D-Digitizers (Goldstandard) verglichen: Die Messung mit dem 3D-Digitizer 1 mm unterhalb der Inzisalkante

stimmte am besten mit der palatinalen Schieblehrenmessung auf der Höhe der Kontaktpunkte überein. Der Korrelationskoeffizient war mit 0,955 sehr hoch. Anhand des sehr schmalen 95 % - Konfidenzbandes war zu erkennen, dass bei gegebenem Wert für die Schieblehre mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf den Wert des 3D-Digitizers geschlossen werden konnte.

Das praktische Vorgehen sah wie folgt aus: Im Oberkiefer wurden von palatinal die Zahnbreiten auf Höhe der Kontaktpunkte mit der Schieblehre vermessen, wobei die Eckzähne jeweils nur zur Hälfte gemessen wurden. Anschließend wurde die Summe der Teilstrecken gebildet. Die Zahnbreiten im Unterkiefer wurden wie von Bolton (1958) vorgeschlagen mit der Schieblehre von vestibulär bestimmt. Dann wurde die Differenz zwischen Ober- und Unterkieferfrontzahnbogen ermittelt. War diese Differenz kleiner als 0,24 mm so lag eine Zahngrößendiskrepanz vor. Die Grenze von 0,24 mm begründetes sich durch Berechnungen der Sensitivität und Spezifität für verschiedene Grenzen mit Hilfe der ROC-Kurve. Bei 0,24 mm konnte die geringste Differenz zwischen Sensitivität und Spezifität erzielt werden.

Die Validität dieser Methode wurde anhand der Spezifität und Sensitivität bestimmt. Die Spezifität betrug für die Messung mit der Schieblehre von palatinal 0,95 und die Sensitivität 1. Sowohl Spezifität als auch Sensitivität sind damit sehr gut. Die AUC, also die Fläche unter der ROC-Kurve war mit 0,98 sehr groß, so dass die neue Methode als valide betrachtet werden konnte.

Neben dem Vergleich funktionell miteinander artikulierender Flächen ist ein weiterer Vorteil in der Bildung einer Differenz zu sehen. Es resultiert daraus eine Millimeterangabe, die einfach zu handhaben ist. Deshalb eignet sich die hier vorgestellte eigene Methode besonders gut um Zahngrößendiskrepanzen zu diagnostizieren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die neue Messmethode von Vorteil ist. Die Zahndicke kann vernachlässigt werden, da miteinander artikulierende Flächen vermessen wurden. Die Vermessung der Oberkiefereckzähne bis zur Mitte beinhaltet nur den an der Okklusion beteiligten Teil der Zähne. Bei besonders breiten Eckzähnen wurde dadurch der Fehler minimiert.

6.3 Kritik

Trotz der eindeutigen Ergebnisse, die diese Arbeit hervorbringt, konnten nicht alle Fragen abschließend geklärt werden. Die Messungen dieser Arbeit wurden an ideal geformten Zahnbogen ohne Lücken und Rotationen durchgeführt. Diese Situation findet sich nur selten bei Anfangsmodellen einer kieferorthopädischen Behandlung. Shellhart et al. (1995) untersuchte bereits die Reliabilität der Messung mit einer Schieblehre an Modellen, die mindestens 3 mm an Engstand aufwiesen. Er kam zu dem Ergebnis, dass es zu klinisch signifikanten Messfehlern kommen konnte. Auch Redahan und Lagerström (2003) bestätigten, dass Messungen der intermaxillären Beziehungen vor der Behandlung nicht auf die intermaxillären Beziehungen nach der Behandlung schließen ließen. Deshalb ist die Messung an Anfangsmodellen mit entsprechender Fehlstellung schwieriger. Es empfiehlt sich die Messung an Zwischenmodellen, wenn also der Zahnbogen weitestgehend ausgeformt ist, zu überprüfen. In weiterführenden Studien sollte die genaue Validität bei der Messung an Anfangsmodellen bestimmt und gegebenenfalls ein geeignetes Verfahren vorgestellt werden.

Bei der palatinalen Schieblehrenmessung zeigte sich, dass bei vier Modellen fälschlicherweise eine Zahngrößendiskrepanz festgestellt wurde. Betrachtete man die vier falsch diagnostizierten Modelle näher, so fiel auf, dass der Kontaktpunkt zwischen den mittleren und seitlichen Schneidezähnen im Oberkiefer durch die Form oder die Angulation der Zähne sehr weit nach zervikal verschoben war (s. Abb. 41).



Abb. 41 Das Modell einer Patientin als Beispiel für die Divergenz der mittleren und seitlichen Schneidezähne

Hierdurch wurde mit der Schieblehre eine kleinere Strecke für die Frontzahnbogenlänge gemessen als mit dem 3D-Digitizer. Folglich wurde die Differenz zwischen Oberkiefer- und Unterkieferfrontzahnbogenlänge negativ. Es wurde eine Zahngrößendiskrepanz diagnostiziert, obwohl tatsächlich keine Abweichung der Frontzahnbogenlänge vorlag. Es wäre wünschenswert, wenn auch diese konischen Zahnformen sowie sehr aufrecht stehende Zähne bei der Vermessung der Modelle mit der Schieblehre Berücksichtigung fänden. Diese Forderung in die Realität umzusetzen, gestaltete sich jedoch als schwierig. Deshalb sollte der Untersucher bereits bei kleinen Anomalitäten stets achtsam sein, um keine voreiligen therapeutischen Konsequenzen zu ziehen.

In dieser Arbeit wurde hauptsächlich die Möglichkeit eine Zahngrößendiskrepanz durch eine Änderung der vertikalen Frontzahnstufe auszugleichen, erörtert. Dabei wurde die Zahndicke durch die Messung von palatinal berücksichtigt. Auch die Angulation und der Torque der Frontzähne wurden bei der Messung der Länge des Frontzahnbogens berücksichtigt.

In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass alle Parameter der Frontzahnokklusion, vor allem jedoch der Overbite, in einem beliebigen Maße verändert werden können. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Overbite ebenfalls von der Schädelkonfiguration abhängt. Bei einer ungünstigen

Wachstumsrichtung kann es bei der Einstellung des theoretisch ermittelten individuell idealen Overbites zu Problemen kommen.

Dennoch bringen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit einen entschiedenen Beitrag über das Verständnis der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern der Frontzahnokklusion, insbesondere des Overbites. Dabei werden funktionell miteinander artikulierende Flächen verglichen und ein geeignetes Verfahren vorgestellt, um ein Breitenmissverhältnis der Frontzähne aufzudecken.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Eine eugnathe Verzahnung im Frontzahnbereich ist beim Abschluss einer kieferorthopädischen Behandlung sowohl aus funktioneller als auch aus ästhetischer Sicht von größter Bedeutung. Seit über 50 Jahren wird der Bolton-Index zur Diagnose einer Zahngrößendiskrepanz im Frontzahnbereich verwendet.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Validität des Bolton-Index zu überprüfen und eine neue Methode anzugeben, die eine zuverlässigere Diagnose einer Zahngrößendiskrepanz ermöglicht.

Zu diesem Zweck wurden 89 Modelle von Patienten nach kieferorthopädischer Behandlung ausgewählt. Die ausgewählten Modelle zeigten ausgeformte Zahnbögen und die Unterkieferfrontzähne standen mit den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne in Kontakt. Fünfundvierzig Patienten wiesen im Eckzahnbereich eine Klasse-I-Verzahnung auf und 44 Patienten hatten eine Klasse-II-Verzahnung. An allen Modellen wurden die Frontzahnbogenlängen im Oberkiefer palatinal auf unterschiedlichen vertikalen Messhöhen mit Hilfe eines 3D-Digitizers bestimmt. Im Unterkiefer erfolgte die Vermessung entlang der Inzisalkante. Die Messung mit dem 3D-Digitizer diente als Goldstandard für die Überprüfung der Validität des Bolton-Index und der neu vorgestellten Methode. Zur Bestimmung des Bolton-Index wurden die mesio-distalen Zahnbreiten mit einer digitalen Schieblehre von vestibulär gemessen. Im Gegensatz zum Bolton-Index wurde bei dem neuen Verfahren die maximale Frontzahnbogenlänge im Oberkiefer palatinal von jeweils Mitte der beiden Eckzähne im Bereich der funktionell miteinander artikulierenden Flächen bestimmt. Im Unterkiefer wurde die Zahnbogenlänge vestibulär von jeweils distal der beiden Eckzähne gemessen. Eine Zahngrößendiskrepanz lag vor, wenn die Bogenlänge im Unterkiefer größer als die im Oberkiefer war. Zusätzlich wurden Torque, Overbite und Overjet bestimmt.

Mit Hilfe des Mann-Whitney-U Tests wurden statistisch hoch signifikante Unterschiede für die Oberkieferfrontzahnbogenlänge ($p \leq 0,003$) und den Bolton-Index ($p < 0,001$) zwischen Klasse-I- und Klasse-II-Patienten gefunden. Es konnte kein signifikanter Unterschied für die Unterkieferfrontzahnbogenlänge ($p = 0,673$), den Overbite ($p = 0,110$) und Overjet ($p = 0,927$) gefunden werden. Der Unterschied im Torque war schwach signifikant ($p = 0,048$). Mit Hilfe der Regressionsanalyse wurde ein linearer

Zusammenhang für die Abnahme der Oberkieferfrontzahnbogenlänge in Abhängigkeit der vertikalen Messhöhe festgestellt. Anhand dieses Modells konnte ausgehend von der Unterkieferfrontzahnbogenlänge die Frontzahnbogenlänge im Oberkiefer mit größter Übereinstimmung bei entsprechendem Overbite prognostiziert werden.

Die Überprüfung der Validität des Bolton-Index ergab, dass die Spezifität und Sensitivität nicht ausreichend waren. Unter der Berücksichtigung der einfachen Standardabweichung betrug die Spezifität 0,63 und die Sensitivität 1. Bei zweifacher Standardabweichung lagen die Spezifität bei 0,91 und die Sensitivität bei 0,44.

Das neue Verfahren zeigte eine Spezifität von 0,95 und eine Sensitivität von 1 bei dem optimalen Schwellenwert von 0,24 mm. Demnach lag eine Zahngrößendiskrepanz vor, wenn die Differenz zwischen der maximalen Frontzahnbogenlänge im Oberkiefer und der Unterkieferfrontzahnbogenlänge kleiner als 0,24 mm war. Die Fläche unter der ROC-Kurve war mit 0,98 sehr groß, so dass die Methode als valide betrachtet werden konnte. Deshalb sollte zur Diagnose von Zahngrößendiskrepanzen im Frontzahnbereich dem in dieser Arbeit vorgestellten Verfahren eindeutig der Vorzug gegeben werden.

8 ANHANG: Tab. 25

Tab. 25 Koordinaten der ROC-Kurve mit optimalem Cut-Off-Wert (in Rot)

Cut-Off	Sensitivität	Spezifität	Sens+Spez
	1	0	1
5.17	1	0.0125	1.0125
5.06	1	0.025	1.025
4.35	1	0.0375	1.0375
3.75	1	0.0625	1.0625
3.75	1	0.0625	1.0625
3.5	1	0.0875	1.0875
3.5	1	0.0875	1.0875
3.44	1	0.1	1.1
3.43	1	0.125	1.125
3.43	1	0.125	1.125
3.4	1	0.1375	1.1375
3.37	1	0.15	1.15
3.35	1	0.1625	1.1625
3.34	1	0.175	1.175
3.32	1	0.1875	1.1875
3.26	1	0.2	1.2
3.25	1	0.2125	1.2125
3.24	1	0.225	1.225
3.22	1	0.2375	1.2375
3.18	1	0.25	1.25
3.05	1	0.2625	1.2625
2.9	1	0.275	1.275
2.86	1	0.2875	1.2875
2.79	1	0.3	1.3
2.72	1	0.3125	1.3125
2.67	1	0.325	1.325
2.62	1	0.3375	1.3375
2.48	1	0.3625	1.3625
2.48	1	0.3625	1.3625
2.45	1	0.375	1.375
2.42	1	0.3875	1.3875
2.35	1	0.4	1.4
2.31	1	0.4125	1.4125
2.27	1	0.425	1.425
2.24	1	0.4375	1.4375
2.23	1	0.45	1.45

Cut-Off	Sensitivität	Spezifität	Sens+Spez
2.17	1	0.4625	1.4625
2.11	1	0.475	1.475
2.09	1	0.4875	1.4875
2.07	1	0.5	1.5
1.86	1	0.5125	1.5125
1.81	1	0.525	1.525
1.72	1	0.5375	1.5375
1.69	1	0.55	1.55
1.68	1	0.5625	1.5625
1.65	1	0.575	1.575
1.62	1	0.5875	1.5875
1.61	1	0.6	1.6
1.5	1	0.6125	1.6125
1.45	1	0.625	1.625
1.43	1	0.6375	1.6375
1.39	1	0.65	1.65
1.35	1	0.6625	1.6625
1.33	1	0.675	1.675
1.28	1	0.6875	1.6875
1.23	1	0.7	1.7
1.22	1	0.7125	1.7125
1.17	1	0.7375	1.7375
1.17	1	0.7375	1.7375
1.14	1	0.75	1.75
1.13	1	0.7625	1.7625
1.12	1	0.775	1.775
1.06	1	0.7875	1.7875
1.03	1	0.8	1.8
0.97	1	0.8125	1.8125
0.91	1	0.825	1.825
0.81	1	0.8375	1.8375
0.76	1	0.85	1.85
0.67	1	0.8625	1.8625
0.6	1	0.875	1.875
0.58	1	0.8875	1.8875
0.45	1	0.9	1.9
0.44	1	0.9125	1.9125
0.35	1	0.925	1.925
0.26	1	0.9375	1.9375
0.24	1	0.95	1.95
0.17	0.8888889	0.95	1.8388889
0.02	0.7777778	0.95	1.7277778

Cut-Off	Sensitivität	Spezifität	Sens+Spez
0.06	0.7777778	0.9625	1.7402778
0.08	0.6666667	0.9625	1.6291667
0.28	0.6666667	0.975	1.6416667
0.42	0.5555556	0.975	1.5305556
0.44	0.5555556	0.9875	1.5430556
0.5	0.4444444	0.9875	1.4319444
0.79	0.3333333	0.9875	1.3208333
0.8	0.2222222	0.9875	1.2097222
0.91	0.2222222	1	1.2222222
1.08	0.1111111	1	1.1111111
1.88	0	1	1
	0	1	1

9 LITERATURVERZEICHNIS

- Akyalcin S, Dogan S, Dincer B, Erdinc AM, Oncag G (2006): Bolton Tooth Size Discrepancies in Skeletal Class I Individuals Presenting with Different Dental Angle Classifications. *Angle Orthod* 76, (4) 637-643
- Al-Khateeb SN, Abu Alhaija ESJ (2006): Tooth Size Discrepancies and Arch Parameters among Different Malocclusions in a Jordanian Sample. *Angle Orthod* 76, (3) 459-465
- Alkofide E, Hashim H (2002): Intermaxillary tooth size discrepancies among different malocclusion classes: a comparative study. *J Clin Pediatr Dent* 26, (4) 383-387
- Al-Tamimi T, Hashim HA (2005): Bolton tooth-size ratio revisited. *World J Orthod* 6, (3) 289-295
- Andrews LF (1972): The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod* 62, (3) 296-309
- Angle EH: Die Okklusionsanomalien der Zähne. Meusser, Berlin 1913
- Araujo E, Souki M (2003): Bolton Anterior Tooth Size Discrepancies Among Different Malocclusion Groups. *Angle Orthod* 73, (3) 307-313
- Baidas L, Hashim H (2005): An Anterior Tooth Size Comparison in Unilateral and Bilateral Congenitally Absent Maxillary Lateral Incisors. *J Contemp Dent Pract* 6, (1) 56-63
- Bailey LA: The Bolton Analysis Revisited. Med. Diss. Edmonton 1998
- Bailit HL (1975): Dental Variation Among Populations. *Dent Clin North Am* 19, (1) 125-139

- Ballard ML (1956): A fifth column within normal dental occlusions. *Am J Orthod* 42, (2) 116-124
- Basaran G, Selek M, Hamamci O, Akkus Z (2006): Intermaxillary Bolton Tooth Size Discrepancies Among Different Malocclusion Groups. *Angle Orthod* 76, (1) 26-30
- Baydas B, Oktay H, Dagsuyu IM (2005): The effect of heritability on Bolton tooth-size discrepancy. *Eur J Orthod* 27, (1) 98-102
- Benz C, Caesar HH, Fischbach H, Maschinski G, Meiners H, Morgenroth K, Müller J, Otten JE, Selke-Lodhia R, Selle G et al.: *Lexikon Zahnmedizin, Zahntechnik*. Urban und Fischer Verlag, München, Jena 2000
- Bernabe E, Major PW, Flores-Mir C (2004 a): Tooth-width ratio discrepancies in a sample of Peruvian adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125, (3) 361-365
- Bernabe E, Villanueva KM, Flores-Mir C (2004 b): Tooth Width Ratios in Crowded and Noncrowded Dentitions. *Angle Orthod* 74, (6) 765-768
- Bolton WA (1958): Disharmony In Tooth Size And Its Relation To The Analysis And Treatment Of Malocclusion. *Angle Orthod* 28, (3) 113-130
- Bolton WA (1962): The clinical application of a tooth-size analysis. *Am J Orthod* 48, (7) 504-529
- Bortz J: *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 6. Auflage; Springer Medizin Verlag, Heidelberg 2005

- Bosch K: Lexikon der Statistik. 2. Auflage; R. Oldenbourg Verlag, München Wien
1997
- Bredy E, Huschke B, Winiker M (1967): Die Bedeutung der
Schneidezahngrößenrelationen für Prognose und Therapie in der
Kieferorthopädie. Schweiz Monatsschr Zahnmed 77, (2) 95-107
- Brosky ME, Major RJ, DeLong R, Hodges JS (2003): Evaluation of dental arch
reproduction using three-dimensional optical digitization. J Prosthet Dent 90, (5)
434-440
- Champagne M (1992): Reliability of Measurements from Photocopies of Study Models.
J Clin Orthod 26, (10) 648-650
- Cordato MA (1995): A simple mathematical study of anterior dental relations: Part I.
Aust Orthod J 13, (4) 249-252
- Cordato MA (1998): A simple mathematical study of anterior dental relations. Part III:
incisor and canine overbite. Aust Orthod J 15, (2) 75-84
- Crosby DR, Alexander CG (1989): The occurrence of tooth size discrepancies among
different malocclusion groups. Am J Orthod Dentofacial Orthop 95, (6) 457-461
- Dahlberg G: Statistical methods for medical and biological students. George Allen &
Unwin Ltd., London 1940
- Diedrich P: Praxis der Zahnheilkunde: Kieferorthopädie I - Orofaziale Entwicklung und
Diagnostik Bd. 11/1. Urban und Fischer Verlag, München, Jena 2000 a
- Diedrich P: Praxis der Zahnheilkunde: Kieferorthopädie II - Therapie Bd. 11/2. Urban
und Fischer Verlag, München, Jena 2000 b

- Eismann D (1976): Zur Bedeutung der individuellen mesio-distalen Kronendiameter für die Okklusion. Zahn-, Mund- und Kieferheilkd 64, (5) 518-528
- Eismann D (1983): Zahngrößendiskrepanzen als additive Faktoren bei der Ätiologie von Gebißenanomalien. J Orofac Orthop 44, (3) 248-255
- Eismann D, Bergmann S (1988): Zur Präzisierung odontometrischer Messungen. Zahn-, Mund- und Kieferheilkd 76, (1) 26-28
- Endo T, Shundo I, Abe R, Ishida K, Yoshino S, Shimooka S (2007): Applicability of Bolton's tooth size ratios to a Japanese orthodontic population. Odontology 95, (1) 57-60
- Ernst W: Zahngrößenrelationen von oberen und unteren Zähnen und ihre Bestimmung nach der Methode "BOLTON". Untersuchungen über die Zuverlässigkeit dieser Methode. Med. Diss. Mainz 1981
- Fattahi HR, Pakshir HR, Hedayati Z (2006): Comparison of tooth size discrepancies among different malocclusion groups. Eur J Orthod 28, (5) 491-495
- Fields HW, Jr. (1981): Orthodontic-restorative treatment for relative mandibular anterior excess tooth-size problems. Am J Orthod 79, (2) 176-183
- Fleischer-Peters A, Stürmer W (1972): Zur Frage der Schneidezahnbreitenrelation bei Progenie. J Orofac Orthop 33, (2) 169-176
- Freeman JE, Maskeroni AJ, Lorton L (1996): Frequency of Bolton tooth-size discrepancies among orthodontic patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop 110, (1) 24-27

- Gaidyte A, Latkauskiene D, Baubiniene D, Leslauskas V (2003): Analysis of Tooth Size Discrepancy (Bolton Index) among Patients of Orthodontic Clinic at Kaunas Medical University. *Stomatologia* 5, (1) 27-30
- Ghahferokhi AE, Elias L, Jonsson S, Rolfe B, Richmond S (2002): Critical assessment of a device to measure incisor crown inclination. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121, (2) 185-191
- Glantz SA: Biostatistik. McGraw-Hill, Frankfurt am Main 1998
- Halazonetis DJ (1996): The Bolton ratio studied with the use of spreadsheets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109, (2) 215-219
- Hashim HA, Al-Ghamdi S (2005): Tooth Width and Arch Dimensions in Normal and Malocclusion Samples: An Odontometric Study. *J Contemp Dent Pract* 6, (2) 36-51
- Hayasaki H, Martins RP, Gandini LG, Saitoh I, Nonaka K (2005): A new way of analyzing occlusion 3 dimensionally. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128, (1) 128-132
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. 3. Auflage; Urban & Fischer, München, Jena 2003
- Herren P (1974): Die summierten mesio-distalen Kronenbreiten des anterioren Zahnbogens und ihre Differenz zwischen Ober- und Unterkiefer. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 84, (8) 853-872
- Heusdens M, Dermaut L, Verbeeck R (2000): The effect of tooth size discrepancy on occlusion: An experimental study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 117, (2) 184-191

- Ho CTC, Freer TJ (1999): A Computerized Tooth-Width Analysis. *J Clin Orthod* 33, (9) 498-503
- Huang M (2003): A study of Bolton tooth-size discrepancies of malocclusion patients. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 21, (3) 221-212, 216
- Hunter WS, Priest WR (1960): Errors and Discrepancies in Measurement of Tooth Size. *J Dent Res* 39, (2) 405-414
- Jonas I, Ritter S (1977): Die Auswertung des Zahnmaterials für die Befunderhebung. *J Orofac Orthop* 38, 272-283
- Kahl-Nieke B: Einführung in die Kieferorthopädie. 2. Auflage; Urban & Fischer Verlag, München 2001
- Kaufmann J, Werner C, Brunner E (2005): Nonparametric methods for analysing the accuracy of diagnostic tests with multiple readers. *Stat Methods Med Res* 14, (2) 129-146
- Kieser JA, Groneveld HT, McKee J, Cameron N (1990): Measurement error in human dental mensuration. *Ann Hum Biol* 17, (6) 523-528
- Kirschen RH, O'Higgins EA, Lee RT (2000): The Royal London Space Planning: An integration of space analysis and treatment planning. Part I: Assessing the space required to meet treatment objectives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 118, (4) 448-455
- Knak S: Praxisleitfaden Kieferorthopädie. 1. Auflage; Urban & Fischer Verlag, München 2004

- Knösel M, Attin R, Kubein-Meesenburg D, Sadat-Khonsari R (2007 a): Die kephalometrische Bestimmung der axialen Inklination oberer und unterer Schneidezähne in Relation zum Winkel 3. Ordnung. J Orofac Orthop 68, (3) 199-209
- Knösel M, Kubein-Meesenburg D, Sadat-Khonsari R (2007 b): The Third-Order Angle and the Maxillary Incisor's Inclination to the NA Line. Angle Orthod 77, (1) 82-87
- Kreis T: Die Bolton-Indizes bei kieferorthopädisch behandelten Individuen mit eugnathen Gebissen. Med. Diss. Berlin 1990
- Krüger W, Kubein D (1978): Funktionelle Aspekte der Zahnoberflächen unter besonderer Berücksichtigung der okklusalfunktionellen Gestaltung der Frontzähne. Zahnärztl Welt 87, (8) 378-381
- Kubein-Meesenburg D: Die kraniale Grenzfunktion des stomatognathen Systems des Menschen. Hanser, München 1985
- Kubein D, Krüger W (1978 a): Probleme der Frontzahnführung - Bewegungs- und Kraftmodelle an den palatinalen Konkavitäten der oberen Frontzähne. Zahnärztl Welt 87, (8) 382-389
- Kubein D, Krüger W (1978 b): Funktionelle Betrachtung von Ober- und Unterkieferfrontzahnbreiten, sagittaler Stufe und Überbiß. Zahnärztl Welt 87, (8) 396-400
- Kubein D, Wenzel B (1982 a): Untersuchung zur neutralen Frontverzahnung. Dtsch Zahnärztl Z 37, (6) 479-481

- Kubein D, Wenzel B (1982 b): Sagittale und vertikale Abweichungen von der idealen Frontzahnzuordnung (Eine Untersuchung an kieferorthopädischen Fällen vor und nach der Behandlung). *Dtsch Zahnärztl Z* 37, (8) 663-668
- Laino A, Quaremba G, Paduano S, Stanzione S (2003): Prevalence of tooth-size discrepancy among different malocclusion groups. *Prog Orthod* 4, 37-44
- Lavelle CLB (1972): Maxillary and mandibular tooth size in different racial groups and in different occlusal categories. *Am J Orthod* 61, (1) 29-37
- Lundström A (1954): Intermaxillary tooth width ratio and tooth alignment and occlusion. *Acta Odontol Scand* 12, (3 & 4) 265-292
- Lundström A (1955): Variation of tooth size in the etiology of malocclusion. *Am J Orthod* 41, (11) 872-876
- Manke M, Miethke RR (1983): Die Größe des anterioren Bolton-Index und die Häufigkeit von Bolton-Diskrepanzen im Frontzahnsegment bei unbehandelten kieferorthopädischen Patienten. *J Orofac Orthop* 44, (1) 59-65
- McCann J, Burden DJ (1996): An investigation of tooth size in Northern Irish people with bimaxillary dental protrusion. *Eur J Orthod* 18, (6) 617-621
- McHorris WH (1980): Okklusion unter besonderer Berücksichtigung von Funktion und Parafunktion der Frontzähne. *Inf Orthod Kieferorthop* 12, (1) 7-44
- Miethke RR: Zahnbreiten und Zahnbreitenkorrelationen. Med. Diss. Berlin 1972
- Moorrees CFA, Reed RB (1964): Correlations among crown diameters of human teeth. *Arch Oral Biol* 9, 685-697

- Moorrees CFA, Thomson SO, Jensen E, Yen PKJ (1957): Mesiodistal crown diameters of the deciduous and permanent teeth in individuals. *J Dent Res* 36, (1) 39-47
- Neff CW (1949): Tailored occlusion with the anterior coefficient. *Am J Orthod* 35, (4) 309-313
- Neff CW (1957): The Size Relationship Between the Maxillary and Mandibular Anterior Segments of the Dental Arch. *Angle Orthod* 27, (3) 138-147
- Nie Q, Lin J (1999): Comparison of intermaxillary tooth size discrepancies among different malocclusion groups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116, (5) 539-544
- Nourallah AW, Splieth CH, Schwahn C, Khurdaji M (2005): Standardizing Interarch Tooth-Size Harmony in a Syrian Population. *Angle Orthod* 75, (6) 996-999
- Oe SC, Herren P (1971): Die Breitendifferenz zwischen den summierten oberen und unteren Zahnkronen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 81, (2) 113-125
- O'Higgins EA, Kirschen RH, Lee RT (1999): The Influence of Maxillary Incisor Inclination on Arch Length. *Br J Orthod* 26, (2) 97-102
- Othman SA, Harradine NWT (2006): Tooth-size Discrepancy and Bolton's Ratios: a literature review. *J Orthod* 33, (1) 45-51
- Othman SA, Harradine NWT (2007 a): Tooth Size Discrepancies in an Orthodontic Population. *Angle Orthod* 77, (4) 668-674
- Othman SA, Harradine NWT (2007 b): Tooth-size discrepancy and Bolton's ratios: the reproducibility and speed of two methods of measurement. *J Orthod* 34, (4) 234-242

- Paersch C: Über die Bedeutung der Differenz der summierten mesio-distalen Kronendiameter aller bleibenden Zähne von Ober- und Unterkiefer bei eugnathen Gebissen. Med. Diss. Erfurt 1990
- Paredes V, Gandia JL, Cibrian R (2006 a): Determination of Bolton tooth-size ratios by digitization, and comparison with the traditional method. Eur J Orthod 28, (2) 120-125
- Paredes V, Gandia JL, Cibrian R (2006 b): Do Bolton's ratios apply to a Spanish population?. Am J Orthod Dentofacial Orthop 129, (3) 428-430
- Peck S (2003): Crown dimensions and the alignment or crowding of mandibular incisors. Am J Orthod Dentofacial Orthop 124, (4) 20A-21A
- Philippe J (1974): Über die Position der Schneidezähne. Inf Orthod Kieferorthop 6, (1) 65-80
- Pospeschill M: Praktische Statistik. Psychologie Verlags Union, Weinheim 1996
- Proffit W, Fields H, Ackerman J, Sinclair P, Thomas P, Tulloch J: Contemporary Orthodontics. 2. Auflage; Mosby, St. Louis 1993
- Quimby ML, Vig KWL, Rashid RG, Firestone AR (2004): The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models. Angle Orthod 74, (3) 298-303
- Redahan S, Lagerström L (2003): Orthodontic treatment outcome: the relationship between anterior dental relations and anterior inter-arch tooth size discrepancy. J Orthod 30, (3) 237-244

- Richardson ER, Malhotra SK (1975): Mesiodistal crown dimension of the permanent dentition of American Negroes. *Am J Orthod* 68, (2) 157-164
- Richardson ME, Adams CP, McCartney TPG (1963): An analysis of tooth measuring methods on dental casts. *Eur Orthod Soc* 39, 285-301
- Richmond S, Klufas ML, Sywanyk M (1998): Assessing incisor inclination: a non-invasive technique. *Eur J Orthod* 20, (6) 721-726
- Ritter R (1933): Untersuchungen über die mesio-distalen Größenverhältnisse der Zähne des Oberkiefers zu denen des Unterkiefers. *J Orofac Orthop* 3, 261-265
- Rudolph DJ, Dominguez PD, Ahn K, Think T (1998): The use of tooth thickness in predicting intermaxillary tooth-size discrepancies. *Angle Orthod* 68, (2) 133-138; discussion 139-140
- Saatci P, Yukay F (1997): The effect of premolar extractions on tooth-size discrepancy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111, (4) 428-434
- Sangcharearn Y, Ho C (2007 a): Maxillary Incisor Angulation and Its Effect on Molar Relationships. *Angle Orthod* 77, (2) 221-225
- Sangcharearn Y, Ho C (2007 b): Effect of Incisor Angulation on Overjet and Overbite in Class II Camouflage Treatment. *Angle Orthod* 77, (6) 1011-1018
- Sanin C, Savara BS (1971): An analysis of permanent mesiodistal crown size. *Am J Orthod* 59, (5) 488-500
- Santoro M, Ayoub ME, Pardi VA, Cangialosi TJ (2000): Mesiodistal Crown Dimensions and Tooth Size Discrepancy of the Permanent Dentition of Dominican Americans. *Angle Orthod* 70, (4) 303-307

- Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ (2003): Comparison of measurements made on digital and plaster models. Am J Orthod Dentofacial Orthop 124, (1) 101-105
- Schirmer UR, Wiltshire WA (1997): Manual and computer-aided space analysis: A comparative study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 112, (6) 676-680
- Schopf P: Curriculum Kieferorthopädie, Band I. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2000
- Schuster G (1999): Die Schneidezahnbreitenrelation beim Deckbiß. J Orofac Orthop 60, (2) 87-94
- Schwarz A: Untersuchungen der Wiedergabegenauigkeit von Gebissmodellen fuer Zahngroessenmessungen und deren Optimierung. Med. Diss. Erfurt 1984
- Shellhart WC, Lange DW, Kluemper GT, Hicks EP, Kaplan AL (1995): Reliability of the Bolton tooth-size analysis when applied to crowded dentitions. Angle Orthod 65, (5) 327-334
- Smith SS, Buschang PH, Watanabe E (2000): Interarch tooth size relationships of 3 populations: "Does Bolton's analysis apply?". Am J Orthod Dentofacial Orthop 117, (2) 169-174
- Sorg M: Untersuchungen zur Meßgenauigkeit bei den kieferorthopädisch-diagnostischen Meßverfahren nach PONT und KORKHAUS. Med. Diss. Mainz 1977
- Sperry TP, Worms FW, Isaacson RJ, Speidel TM (1977): Tooth-size discrepancy in mandibular prognathism. Am J Orthod 72, (2) 183-190

- Steadman SR (1952): The relation of upper anterior teeth to lower anterior teeth as present on plaster models of a group of acceptable occlusions. *Angle Orthod* 22, (2) 91-97
- Stifter J (1958): A Study Of Pont's, Howes', Rees', Neff's And Bolton's Analyses On Class I Adult Dentitions. *Angle Orthod* 28, (4) 215-225
- Ta TA, Ling JYK, Hagg U (2001): Tooth-size discrepancies among different occlusion groups of southern Chinese children. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120, (5) 556-558
- Tadesse P, Zhang H, Long X, Chen L (2008): A Clinical Analysis of Tooth Size Discrepancy (Bolton Index) among Orthodontic Patients in Wuhan of Central China. *J Huazhong Univ Sci Technol Med Sci* 28, (4) 491-494
- Tonn P: Über die mesio-distalen Zahnbreiten-Relationen der Zähne des Oberkiefers zu den entsprechenden des Unterkiefers bei normaler und anormaler Okklusion. Med. Diss. Berlin 1937
- Tuerson DL (1980 a): Anterior interocclusal relations. Part I. *Am J Orthod* 78, (4) 361-370
- Tuerson DL (1980 b): Anterior interocclusal relations. Part II. *Am J Orthod* 78, (4) 371-393
- Uysal T, Sari Z (2005): Intermaxillary tooth size discrepancy and mesiodistal crown dimensions for a Turkish population. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128, (2) 226-230
- Uysal T, Sari Z, Basciftci FA, Memili B (2005): Intermaxillary Tooth Size Discrepancy and Malocclusion: Is There a Relation? *Angle Orthod* 75, (2) 208-213

Waldman AB (2008): Smile Design for the Adolescent Patient - Interdisciplinary Management of Anterior Tooth Size Discrepancies. J Calif Dent Assoc 36, (5) 365-372

Wenzel B: Der frontale Überbiß unter Berücksichtigung der Frontzahnmorphologie. Med. Diss. Göttingen 1979

DANKSAGUNG

Es ist mir ein besonderes Bedürfnis, an dieser Stelle allen zu danken, die am Zustandekommen dieser Arbeit beteiligt waren.

Besonders bedanke ich mich bei Herrn Prof. Kubein-Meesenburg, Direktor der kieferorthopädischen Abteilung des Zentrums Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Göttingen, der mir die Möglichkeit gab, meine Dissertation in seiner Abteilung zu erstellen.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Sadat-Khonsari danke ich für die Überlassung des Themas und für seine stets vorhandene und großzügige Hilfsbereitschaft beim Erstellen dieser Arbeit, sowie für all seine Geduld.

Für ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse der Arbeit spreche ich Frau Lange und Herrn Dathe meinen Dank aus.

Der Praxis Dr. Jähmig und Schreiber-Jähmig sowie der Praxis Dr. Gripp-Rudolph und Dr. Dr. Matthaei danke ich abschließend für die zur Verfügung gestellten Modelle ihrer Patienten.