Aus der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Ein Vergleich der Zahnbogenformen im bleibenden Gebiss junger Berliner mit den Formen konfektionierter Bögen nach McLaughlin, Bennett und Trevisi

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Nadia Kawasmi
aus München

Gutachter: 1. Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann

2. Prof. Dr. J. Lisson

3. Prof. Dr. R.-R. Miethke

Datum der Promotion: 30.11.2012

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **i**

Vorwort ..... **iv**

1 Einleitung **1**

2 Literaturübersicht **4**

2.1 Zahnbogenformen 4

2.2 Interkanine Distanz 11

2.3 Studien zu Stabilität und Rezidiv 12

2.4 Studien zu standardisierten Bogenformen 15

3 Fragestellung **17**

4 Materialien und Methoden **18**

4.1 Auswahlkriterien der Unterkiefermodelle 18

4.2 Anzahl und Herkunft der Unterkiefermodelle 18

4.3 Verwendetes Bogensystem 19

4.3.1 OrthoForm LA 21

4.3.2 OrthoForm I spitz 21

4.3.3 OrthoForm II eckig 22

4.3.4 OrthoForm III oval 23

4.4 Computergestützte Schablonen-basierte Ermittlung der Bogenform 24

4.4.1 Fotografieren der Modelle 24

4.4.2 Messpunkte und -strecken 26

4.4.3 Digitalisieren der „OrthoForm“-Schablonen 29

4.4.4 Bestimmung der Bogenform der Unterkiefermodelle 30

4.5 Manuelle Schablonen-basierte Ermittlung der Bogenform 33

4.6 Messfehlerbestimmung 34

4.7 Statistische Auswertung 35

4.7.1 Berechnung von Kappa 35
4.8 Grafische Darstellung 36

5 Ergebnisse 37
5.1 Verteilung der Bogenformen 37
5.2 Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse 38
5.3 Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit vom Geschlecht 39
5.4 Ergebnisse der Messfehlerbestimmung 40
5.5 Ergebnis der Kappa-Berechnung 44
5.6 Vergleich der Ergebnisse beider Methoden 46

6 Diskussion 50
6.1 Diskussion der Fragestellung 50
6.2 Auswahl der Modelle 50
6.3 Auswahl der 3M Unitek Bogenformen und Brackets 52
6.4 Datenerhebung und -auswertung 53
6.5 Vergleich der beiden untersuchten Methoden zum Bestimmen der am besten passenden Bogenform 58
6.6 Modellvermessungen 59
6.7 Diskussion der Ergebnisse 61
6.8 Empfehlungen zur Bogenwahl 63
6.9 Evaluierung der Entscheidung von Kliniker bei der Auswahl der Bögen 66
6.10 Schlussfolgerungen 68

7 Zusammenfassungen 70
7.1 Zusammenfassung 70
7.2 Summary 72

8 Abbildungsverzeichnis 74

9 Tabellenverzeichnis 76

10 Literaturverzeichnis 77

11 Materialliste 86
11.1 Überblick aller Modellnummern 86

11.2 Bogenformschablonen der Firma 3M Unitek 86
11.3 Weitere Materialien 87

12 Danksagung 88

13 Lebenslauf 89

14 Erklärung 90

Vorwort

Auf ©, ®, ™ wird wegen der besseren Lesbarkeit verzichtet. Aus dem Fehlen dieser Zeichen kann nicht geschlossen werden, dass Namen, Begriffe und Produkte nicht geschützt sind.

1 Einleitung

Während einer kieferorthopädischen Therapie werden die Zähne in ihrer idealen Position im Alveolarfortsatz ausgerichtet. Bei der Korrektur der Zahnfehlstellung, besonders bei der Beseitigung eines Platzmangels durch Zahnbogenexpansion kann es zu einer Änderung der Zahnbogenform kommen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Zahnbogenform und deren Bedeutung für eine erfolgreiche kieferorthopädische Therapie. Sie untersucht zum einen die prozentuale Verteilung unterschiedlicher Bogenformen in einer kaukasischen Patientengruppe. Zum anderen wird nach Zusammenhängen zwischen Bogenform, Geschlecht und Angle-Klassifikation gesucht. Weiterhin wird mittels einer computergestützten Messung geprüft, wie genau und aussagekräftig die manuelle Bestimmung der Bogenform mittels der kommerziell angebotenen OrthoForm-Schablonen ist.

Zum Schluss wird anhand der Verteilungsergebnisse eine Empfehlung für den Praktiker zur Bevorratung der Bögen in der Praxis gegeben.

Schon im Jahr 1934 erkannte Chuck [30]:

„With edgewise arch appliance, arch form becomes the basis of our treatment planning, because in the use of the appliance we predetermine the arch form and create an ideal archwire to which we move the teeth“.

Dies gilt auch für die im Jahr 1970 von Andrews [11] eingeführte Straight-Wire-Apparatur für die auch weitere vorgeformte Bögen zur Verfügung gestellt wurden.

Eine kieferorthopädische Behandlung ist nur erfolgreich, sofern sie ein langfristig stabiles Behandlungsergebnis erreicht [54]. Das Identifizieren einer passenden Bogenform ist bei der Behandlung jeder Zahnfehlstellung ein wichtiger Aspekt, um eine stabile, funktionelle und ästhetische Zahnbogenform zu erreichen. Fehler bei der Anpassung der Bogenform erhöhen die Wahrscheinlichkeit eines Rezidivs und können zu einem unästhetischen Lächeln führen [37, 43, 120]. Das Verwenden der gleichen idealen Bogenform bei jedem Individuum trotz individueller Variationen kann die posttherapeutische Okklusionsstabilität beeinträchtigen [23, 37, 43, 61, 120]. Deshalb ist es unerlässlich, bei der Behandlung eine Bogenform auszusuchen, die sehr gut der prätherapeutischen Bogenform entspricht [37, 104]. Dies bedeutet, dass in einer kieferorthopädischen Praxis statt eines vorgeformten Bogens mehrere unterschiedlich vorgeformte Bögen zur Verfügung stehen sollten [69, 91].

Dies haben viele Studien bestätigt. So untersuchten Nojima et al. [91], den morphologischen Unterschied in der mandibulären Zahnbogenform bei Patienten mit Angle-Klasse I, II und III zwischen Kaukasiern und Japanern. Die Ergebnisse zeigten, dass es keine einzige Bogenform gibt, die spezifisch für eine Angle-Klasse bzw. für eine ethnische Gruppe ist. Vielmehr variiert die Verteilung der Bogenformen zwischen den Angle-Klassen und den ethnischen Gruppen. Die Autoren empfehlen, die Bogenform über das prätherapeutische Unterkiefermodell zu bestimmen. Nojima und Mitarbeiter [91] untersuchten weiterhin, wie häufig die Bogenformen der Firma 3M Unitek (OrthoForm I spitz, OrthoForm II eckig und OrthoForm III oval) bei Kaukasiern und Japanern auftreten. Sie fanden, dass die drei Bogenformen sich bei Kaukasiern verteilen auf 43,8 % spitz zulaufend, 38,1 % ovoid (oval) und 18,1 % quadratisch (eckig). Im Gegensatz dazu war bei den Japanern die quadratische Bogenform (45,6 %) am häufigsten gefolgt von der ovoiden (42,5 %) und schließlich der spitz zulaufende Bogenform (11,9 %). Das heißt, die spitz zulaufende Bogenform ist bei einer Praxis mit japanischer Klientel selten notwendig und die quadratische Bogenform häufiger als in einer Praxis mit kaukasischer Klientel.
Kook et al. [69] haben morphologische Unterschiede in der mandibulären Zahnbogenform bei Angle-Klasse I, II und III zwischen weißen Nordamerikanern und Koreanern verglichen. Sie kamen zu ähnlichen Ergebnissen wie Nojima et al. [91]. Die Verteilung bei den weißen Nordamerikanern war identisch mit der der Kaukasier in der Studie von Nojima, nämlich 43,8 % spitz zulaufend, 38,1 % ovoid und 18,1 % quadratisch. Ein möglicher Grund für die gleichen Ergebnisse in der Studie von Nojima 2001 (kaukasische Gruppe) und der von Kook 2004 (weiße nordamerikanische Gruppe) könnte daran liegen, dass es sich bei beiden Studien unter Umständen um dieselbe Patientengruppe handelt, da bei beiden Studien die Autoren Nojima, McLaughlin und Sinclair [69, 91] beteiligt waren. Bei den Koreanern war die quadratische Bogenform am häufigsten (46,7 %), gefolgt von der ovoiden (34,5 %) und der spitz zulaufenden Bogenform (18,8 %). Es wurde festgestellt, dass in der nordamerikanischen Gruppe die spitz zulaufende Bogenform dominierte während bei der koreanerischen Gruppe die quadratische Bogenform überwog (46,7 %). Daher ist die spitz zulaufende Bogenform bei einer Praxis mit koreanischen Klientel selten notwendig und die quadratische Bogenform kommt häufiger zum Einsatz als in einer Praxis mit nordamerikanischer Klientel.
Zum besseren Verständnis sei hier kurz klargestellt, wie in dieser Arbeit die Bezeichnungen „Bogenform“ und „Zahnbogenform“ verwendet werden. Die beiden Begriffe bezeichnen den Verlauf des Drahtbogens bei der Multibrackettechnik. Während der Begriff Bogenform sich auf die OrthoForm-Schablone (3M Unitek, Monrovia, Calif) bezieht, meint der Begriff Zahnbogen-

form eine für das Modell durch den Rechner ermittelte Form, so wie sie in Kapitel 4.4.4 erklärt wird.

2 Literaturübersicht

2.1 Zahnbogenformen

Schon seit langem wird in der Kieferorthopädie nach einer idealen Bogenform gesucht [24, 25, 60, 78].
So übernahm Hawley 1905 [60] das von Bonwill 1885 [24] beschriebene geometrische Modell für die Entwicklung einer idealen Zahnbogenform, die so genannte „Bonwill-Hawley-Bogenform“. Dabei sollten die sechs Frontzähne auf einem Kreisbogen stehen, dessen Radius die Breitensumme dieser Zähne ist. Von diesem Kreis geht ein gleichseitiges Dreieck aus, dessen Basis dem Interkondylenabstand entspricht. Die Seitenlänge dieses Dreiecks erstreckt sich von dem Kontaktpunkt MP der mittleren Schneidezähne oder der Mittellinie des zahnlosen Alveolarfortsatzes zu den Mittelpunkten der beiden Kiefergelenkköpfe KGR und KGL. Die Seitenzähne befinden sich dann auf der Verlängerung der Seitengeraden (Abbildung 1).

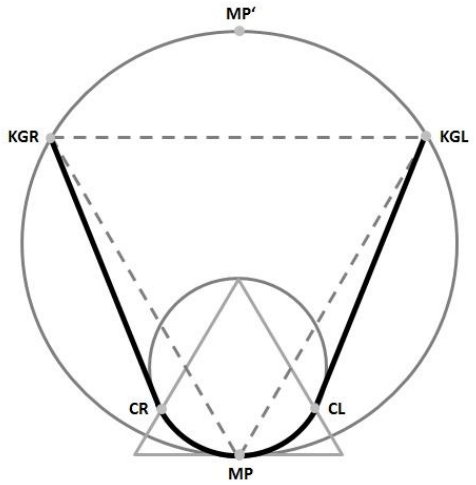

Abbildung 1: Bonwill-Hawley-Bogenformkonstruktion (modifiziert nach Hawley [60]). MP: Kontaktpunkt der mittleren Schneidezähne, CR/CL: Schnittpunkte eines am MP gesetzten Zirkels mit dem Radius des kleinen Kreises. Dieser Radius gleicht der Breitensumme der sechs unteren Frontzähne, die auf diesem Kreisbogen stehen. MP‘: Punkt auf der Durchmesserlinie des großen Kreises ausgehend von MP. KGR/KGL: Schnittpunkte eines in MP‘ angesetzten Zirkels mit dem Radius des großen Kreises. Dieser Radius gleicht der Seitenlänge des kleinen Dreiecks. KGR und KGL entsprechen den Mittelpunkten des rechten/linken Kiefergelenkkopfes.

MacConaill postulierte 1949, dass der Verlauf einer an zwei Enden aufgehängten Kette, dem Verlauf der idealen Kurve für normale Okklusionen entspricht [78]. Die so genannte „Kettenkurve“ wird gebildet, wenn eine Kette - typischerweise 200 mm lang - an einen horizontalen Balken zwischen zwei Punkten variablen Abstands gehängt wird (Abbildung 2).
Für den Oberkiefer liegt der Scheitelpunkt der Kettenkurve auf der lingualen Seite über der Zahnfleischpapille der mittleren oberen Schneidezähne. Die Kettenschenkel liegen über der zentralen Fissur der ersten oberen Molaren. Für den Unterkiefer liegt der Scheitelpunkt der Kettenkurve über dem Kontaktpunkt der Schneidekanten der mittleren unteren Schneidezähne. Die Kettenschenkel liegen über den bukkalen Höckern der ersten unteren Molaren.

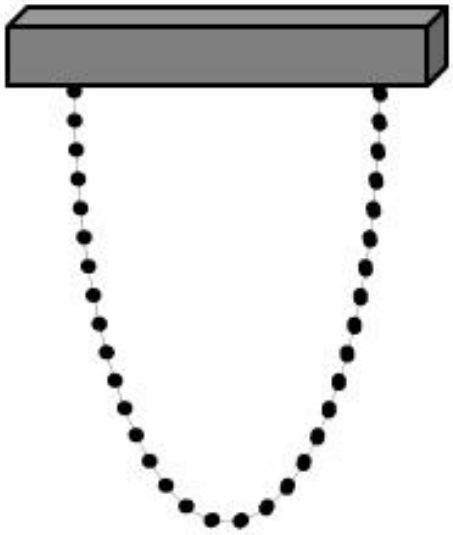

Abbildung 2: Kettenkurve nach MacConaill [78].

Brader [25] richtete sein Interesse bei der Beschreibung der idealen Bogenform auf den Einfluss der Kräfte durch Lippen, Wangen und Zunge auf die Zähne und die sich daraus ergebende Form der Zahnbögen. Laut Brader [25] sowie weiteren Autoren [102, 133, 136] befinden sich die Zähne in der Zone, wo die extra- und intraoralen Weichteilkräfte im Gleichgewicht sind. Er beschrieb die Zahnbogenform mittels Ellipsen, die durch den Einfluss der intraoralen Kräfte bestimmt werden, die so genannten Brader-Bogenformen (Abbildung 3).

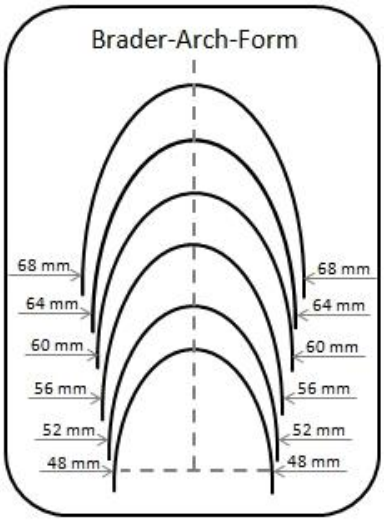

Abbildung 3: Brader-Arch-Form (modifiziert nach Brader [25]). Die Brader Bogenformschablone enthält sechs Bögen, die die gleiche Form aufweisen. Sie unterscheiden sich in ihrer transversalen Breite auf Höhe der zweiten Molaren: 48 mm bis 68 mm. Es besteht keine Differenzierung zwischen Ober- und Unterkieferbogen. Die Form für die Maxilla wird um eine Stufe größer als die der Mandibula gewählt.

Ricketts [109, 110] und viele andere Autoren [29, 43, 69, 91, 106, 127] bestätigen, dass es keine einzige Bogenform gibt, die zu allen Patienten passt. Er stellt die Frage, warum man dramatische Änderungen in der Retention riskieren sollte, wenn man diese Änderungen bzw. das Rezidivrisiko gleich am Anfang der Behandlung mit der Auswahl der passenden Bogenform reduzieren könnte [23, 45, 61]. Ferner erklärt Ricketts das Prinzip der idealen Bogenform, das seiner Meinung nach oft fehlinterpretiert wird. Eine ideale Bogenform heißt demnach nicht, dass sie ideal zu jedem Patienten passt und führt nicht automatisch zu einem idealen Zahnbogen [77]. Zurückzuführen ist dies auf patientenbedingte Faktoren. Um eine Bogenform als ideal bezeichnen zu können, muss sie individuell für jeden Patienten angepasst werden. Dabei empfiehlt Ricketts, die Zähne in einem Zahnbogen sowie die Zahnbogenform des Gegenkiefers, die Kieferbasen, die Muskulatur, den Schädel, die Wirbelsäule, die Persönlichkeit des Patienten und die Zeit zu berücksichtigen (Abbildung 4).

Das Passen der Zähne in einem idealen Bogen bedeutet nicht gleich, dass dieser für den Gegenkiefer passen wird oder dass dieser die erwünschte Stellung der gesamten Dentition bewirkt. Jedes System erfordert vielmehr Anpassungen an die individuellen Notwendigkeiten.

Ricketts hält eine „Übertherapie“ für erforderlich [109]. Deshalb sollen Kliniker über die Idealbogenform bzw. über plane konfektionierte Bögen hinausdenken und für die perfekte Okklusion eine Liste von 10 Faktoren berücksichtigen (Abbildung 4).

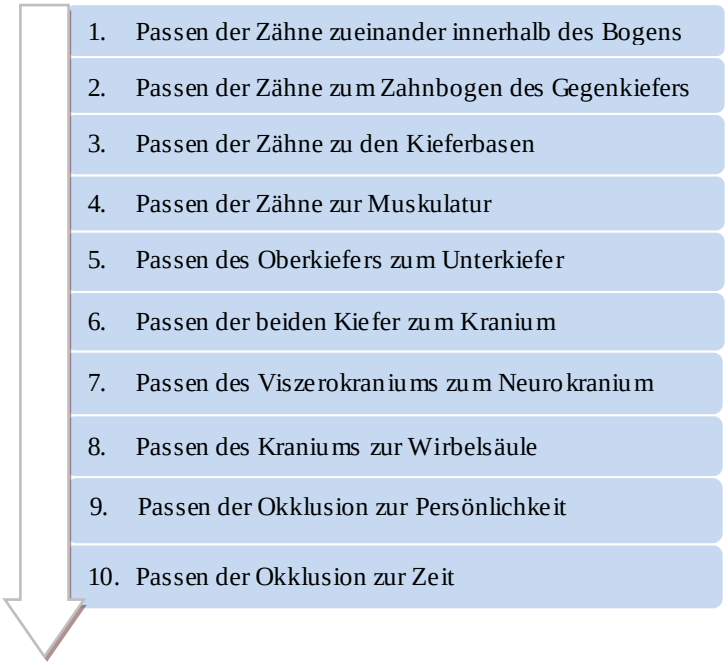

Abbildung 4: Die zehn Faktoren in der Kongruenz-Kette nach Ricketts [109]. Die Faktoren sind hierarchisch aufgelistet. Dabei sind die Zähne in einem Zahnbogen, die Zahnbogenform des Gegenkiefers, die Kieferbasen, die Muskulatur, der Schädel, die Wirbelsäule, die Persönlichkeit des Patienten und die Zeit berücksichtigt. Diese Faktoren sollen einzeln sowie untereinander passen.

Die Arbeit von Hirtz [62] präsentiert eine Übersicht über die verschiedenen in der Literatur beschriebenen Bogenformen sowie das auf dem Markt erhältliche, konfektionierte Bogenmaterial unterschiedlicher Formen. Dabei unterscheidet Hirtz zwischen den in der Literatur vorgestellten „akademischen“ Bogenformen (Tabelle 1), die auf Publikationen in wissenschaftlichen Journalen zurückgehen, und den im Handel erhältlichen „konfektionierten" Bögen unterschiedlicher Hersteller (Tabelle 2). Bei konfektionierten Bögen, die auf akademischen Formen basieren, wird dies laut Hirtz entsprechend auf den Packungen deklariert. Ansonsten werden die Angaben des Herstellers zum Hintergrund des Bogenformdesigns im Produktkatalog wiedergegeben.

Akademische Bogensysteme	**Autor/Hersteller**
Bonwill-Hawley-Bogenform [60]	Hawley
Brader-Bögen [25]	Brader
Ricketts „Penta-Morphic Arch System“ [110]	Ricketts et al.
McLaughlin/Bennett-Bögen [80, 81]	McLaughlin, Bennett

Tabelle 1: Übersicht akademischer Bogensysteme nach Hirtz [62].

Konfektionierte Bogensysteme	Hersteller	Autor
Alexander Vari-Simplex [5-9]	Ormco	Alexander
Damon Arch [33, 34]	Ormco	Damon
Orthos [95]	Ormco	
Broad Arch [98]	Ormco	
Tru-Arch [97]	Ormco	
StandardArch [96]	Ormco	Bonwill, Hawley
OrthoForm [2]	3M Unitek	McLaughlin, Bennett
Standard [1]	3M Unitek	Bonwill, Hawley
Ricketts Penta [110]	Dentaurum	Ricketts et al.
Idealbogen / American Style [39]	Dentaurum	
Penta-Morphic Arches [110, 113]	RMO	Ricketts et al.
Natural Arches [113]	RMO	
Ideal Arches [113]	RMO	
Anterior Contour Arches [112]	RMO	Bonwill, Hawley
Straight-Arch-Form [47]	Forestadent	
Euro-Smile-Form [47]	Forestadent	
Bonwill-Hawley-Form [48]	Forestadent	Bonwill, Hawley
Ideal [51]	GAC	
Standard [52]	GAC	
Ovation [52]	GAC	
Standard (Bonwill-Hawley) [52]	GAC	Bonwill, Hawley
Natural Arch [10]	American Orthodontics	
Brader Arch [10]	American Orthodontics	Brader
Bonwill-Hawley Arch [10]	American Orthodontics	Bonwill, Hawley
Rick-Form [123]	Smile Dental	Ricketts et al.
Europa II [123]	Smile Dental	
Standard Form [123]	Smile Dental	Bonwill, Hawley
Trueform [123]	Smile Dental	
Symmetry [101]	Phoenix Orthodontics	
Standard [100]	Phoenix Orthodontics	Bonwill, Hawley

Tabelle 2: Übersicht konfektionierter Bogensysteme nach Hirtz [62].

In vielen Praxen kommen die Bogenformen der Firma 3M Unitek zum Einsatz und deshalb beschäftigt sich diese Studie mit diesen Bogenformen. Die Firma 3M Unitek bietet momentan zwei Bogensysteme an, diese tragen die Bezeichnungen OrthoForm und Standard (Abbildung 5). Die OrthoForm-Bögen (Abbildung 6) entsprechen dem Bogensystem von McLaughlin und Bennett [80, 81]. Es werden acht Bögen, je vier Ober- und vier Unterkieferbögen unterschiedlicher Form, angeboten. OrthoForm LA (früher OrthoForm I genannt) sowie OrthoForm I spitz (früher OrthoForm I modified genannt) entsprechen der spitzen, OrthoForm II eckig der eckigen und OrthoForm III oval der ovalen Bogenform nach McLaughlin und Bennett. Die Ober- und Unterkieferbögen der einzelnen Formen unterscheiden sich jeweils nur in ihrer Größe bei sonst gleicher Form, wobei die jeweils oberen Bögen um 2 mm im gesamten Verlauf größer sind als die unteren.

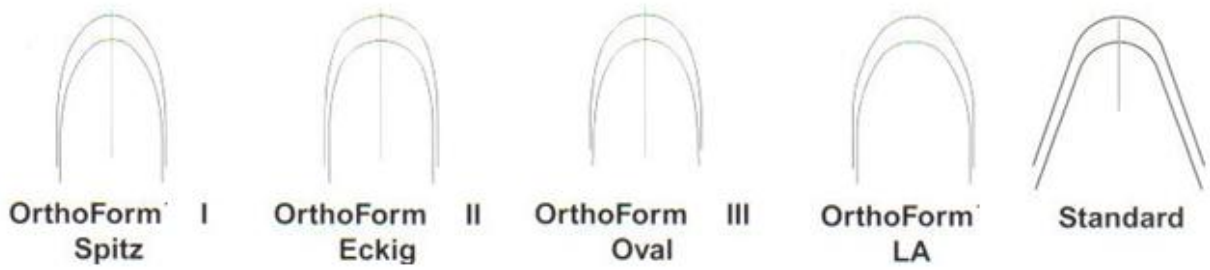

Abbildung 5: Die zwei Bogensysteme der Firma 3M Unitek: OrthoForm und Standard. Zum OrthoForm-System gehören OrthoForm I spitz, OrthoForm II eckig, OrthoForm III oval und OrthoForm LA. OrthoForm LA ist spitz zulaufend, sie unterscheidet sich nur in der Größe von der OrthoForm I spitz, hat aber sonst die gleiche Form. Dieses System besteht aus acht Bögen je vier Ober- und vier Unterkieferbögen. Das Standardsystem hat eine Form und besteht aus zwei Bögen, einem für den Oberkiefer und einem für den Unterkiefer. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

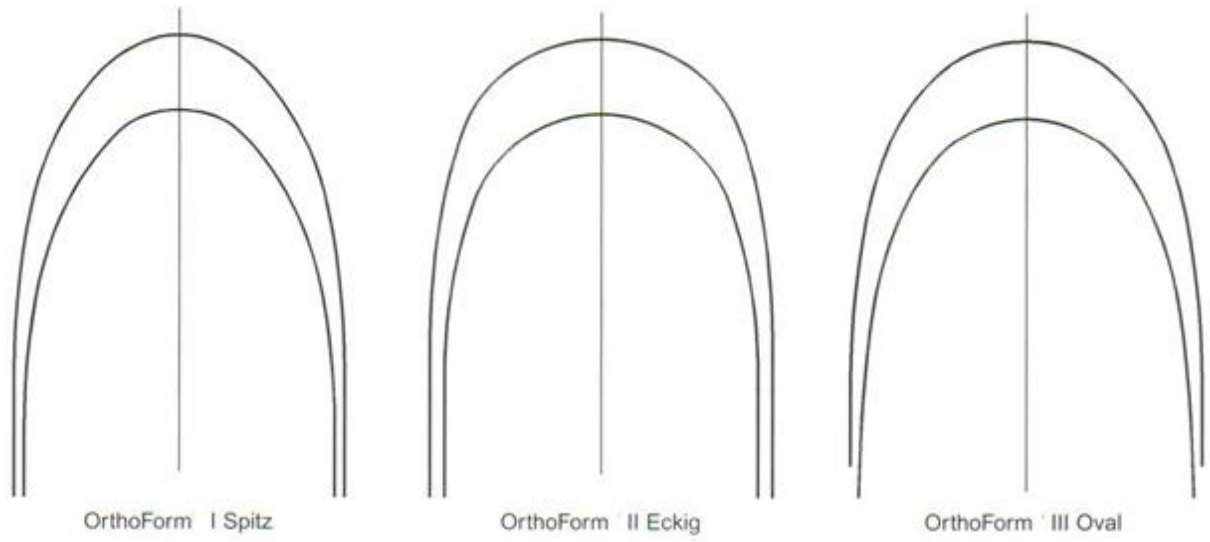

Abbildung 6: 3M Unitek OrthoForm Bogenform. Es werden acht Bögen je vier Ober- und vier Unterkieferbögen unterschiedlicher Form, angeboten. OrthoForm I ist spitz zulaufend, OrthoForm II ist eckig und OrthoForm III ist oval. Der obere Bogen ist für den Oberkiefer und der untere für den Unterkiefer. Die Mittellinie entspricht dabei der Kiefermitte. OrthoForm LA ist auf dieser Abbildung nicht mit abgebildet. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

Das Standard-Bogensystem (Abbildung 7) basiert auf der Bonwill-Hawley-Bogenform [60]. 3M Unitek bietet in diesem System zwei Bögen an (einen Ober- und einen Unterkieferbogen). Der Unterkieferbogen ist um 10 % kleiner als der Oberkieferbogen und kann folglich nach Vergrößerung um 10 % mit diesem zur Deckung gebracht werden.

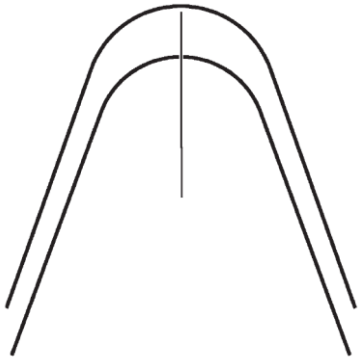

Abbildung 7: 3M Unitek Standard-Bogenform nach Bonwill-Hawley. Der obere größere Bogen ist für den Oberkiefer und der untere kleinere für den Unterkiefer, die Mittellinie entspricht dabei der Kiefermitte. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

2.2 Interkanine Distanz

In einer Meta-Analyse von 26 Studien zur Stabilität der mandibulären interkaninen Distanz nach der Retentionsphase wurde festgestellt, dass unabhängig davon, welche Angle-Klasse vor der Behandlung bestand und unabhängig davon, welche Therapie durchgeführt wurde (Extraktions- oder Non-Extraktionstherapie), die interkanine Distanz während der kieferorthopädischen Behandlung um 0,8 bis 2,0 mm zunahm und nach der Retentionsphase um 1,2 bis 1,9 mm abnahm. Daraus ergibt sich eine Nettodifferenz bei der Änderung der interkaninen Distanz von etwa null Millimeter. Diese Meta-Analyse bestätigt die Meinung vieler Kieferorthopäden, dass die ursprüngliche interkanine Distanz beibehalten werden müsse [21, 27, 37, 54, 120].
Sillman [121] untersuchte die Veränderung der interkaninen Distanz bei einer Gruppe im Alter von 3 Jahren bis zum Alter von 25 Jahren. Er stellte fest, dass von Geburt bis zum Alter von 2 Jahren die interkanine Distanz im Oberkiefer bis zu 5 mm und im Unterkiefer bis zu 3,5 mm zunahm. Nach dem Alter von 2 Jahren nahm die interkanine Distanz im Oberkiefer bis zum Alter von 13 Jahren und im Unterkiefer bis zum Alter von 12 Jahren jeweils weiter zu. Danach blieb die interkanine Distanz bis zum 25. Lebensjahr stabil. Nach Moorrees und Mitarbeitern [88, 89] nimmt die interkanine Distanz während des Frontzahnwechsels im Ober- und Unterkiefer um 3 mm zu, danach kommt es zu einer Abnahme der interkaninen Distanz.
Auch Bishara et al. [22] zeigten in einer Langzeitstudie über Veränderungen der Zahnbogenweite bei Patienten im Alter von 6 Wochen bis 45 Jahren, dass sich die definitive interkanine Distanz bereits mit zirka 8 Jahren (nach dem Durchbruch der bleibenden Schneidezähne) entwickelt. Nach Zachrisson [136] und verschiedenen anderen Autoren [23, 76, 118] beträgt die Eckzahndis-

tanz im Unterkiefer vor einer kieferorthopädischen Behandlung in der Regel 25 bis 26 mm. Diese sollte durch die Behandlung praktisch nicht verändert werden.
In einer Longitudinalstudie bei 30 Probanden mit neutraler Okklusion zwischen 13 und 31 Jahren von Henrikson et al. [61] wurde festgestellt, dass es zum einen große individuelle Unterschiede in der Zahnbogenform gibt und zum anderen, dass die Zahnbogenform sich im Laufe der Jahre verändert. Insbesondere wird der Unterkieferbogen runder. Somit nimmt mit zunehmendem Alter die Zahnbogentiefe ab. Dadurch verringert sich die interkanine Distanz und der Engstand bei den unteren Schneidezähnen nimmt zu. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen veränderter Zahnbogenform und Engstand. Dies bestätigten Tsiopas et al. [128] in einer Untersuchung der okklusalen und dentoalveolären Veränderungen bei 18 Erwachsenen im Alter von 20 bis 60 Jahren. Die Ergebnisse zeigen, dass dentoalveoläre Veränderungen mit dem Alter kontinuierlich stattfinden. Es kommt zur Abnahme der Zahnbogenlänge und -tiefe, zu einer Abnahme der interkaninen Distanz und zu einer Zunahme des frontalen Engstandes. Dabei ist die Zahnbogenlänge definiert als der Abstand von mesial des mittleren Schneidezahnes zu mesial des Eckzahnes zu mesial der ersten Molaren und die Zahnbogentiefe als der Abstand vom Kontaktpunkt der mittleren Schneidezähne senkrecht zu einer Verbindungslinie distal der ersten Molaren.
Little und Sinclair [73, 122] berichteten, dass die Zahnbogenform bei unbehandelten und bei behandelten Patienten sich ähnlich verändert und mit zunehmendem Alter die Bogenlänge und die interkanine Distanz abnehmen. Dies sei als physiologischer Prozess anzusehen. Ab dem 30. Lebensjahr werden die Änderungen pro Jahr geringer.

2.3 Studien zu Stabilität und Rezidiv

Unter Stabilität versteht man in der Kieferorthopädie die Unveränderlichkeit eines okklusalen Befundes [66]. Sie ist weder bei Unbehandelten noch bei Behandelten möglich, nur relative Stabilität ist erreichbar [68]. Denn alles, was lebt, verändert sich.
Die relative Stabilität beginnt mit der Definition eines realistischen Behandlungszieles innerhalb der kieferorthopädischen Grenzen und kann insbesondere unter Berücksichtigung der inzwischen zum Basiswissen eines Kieferorthopäden gehörenden Leitlinien erreicht werden [66]. Zu den Leitlinien gehören der Ausprägungsgrad der Anomalie vor Behandlung, der Therapiemodus sowie -umfang und das Behandlungsergebnis. Diese erwiesen sich in einer Langzeitnachuntersuchung von Kahl-Nieke et al. [68] als wesentliche Kofaktoren im Hinblick auf die postretentive Entwicklung. Da sehr ausgeprägte Dysgnathien umfangreiche therapeutische Maßnahmen erfor-

dern und diese im Vergleich zum Anfangsbefund zu extremen Veränderungen der Kieferform, Zahnstellung und Relation der Kiefer zu einander und zum Gesamtschädel führen, ist die Rezidivanfälligkeit deutlich erhöht.

Die Funktion der Weichteile sowie die Balance zwischen der perioralen Muskulatur und der Zunge sollen bei der Stabilität von Behandlungsergebnissen eine wichtige Rolle spielen [27, 114]. Bei der Herstellung von totalem Zahnersatz ist eine Grundregel, die Ersatzzähne entlang des Alveolarkammes und in der neutralen Zone aufzustellen. Die neutrale Zone in der Prothetik ist der Bereich in dem die umgebende Muskulatur im Gleichgewicht steht. Hier werden die Kräfte der Zunge durch die Kräfte der Lippen und Wangen neutralisiert und somit wird das Abheben der Totalprothese verhindert.

Nach Brader [25] befinden sich die Zähne dort, wo die extra- und intraoralen Weichteilkräfte im Gleichgewicht sind. Ferner erklärt Proffit [102] in seiner Gleichgewichtstheorie, dass es gute Gründe dafür gibt, warum Zähne exakt jene Position im Mund einnehmen, in der sie stehen. Die von außen und von innen auf die Zahnreihen einwirkenden Kräfte befinden sich dort im Gleichgewicht. Die vier primären Faktoren, die nach Proffit Einfluss auf das dentoalveoläre Gleichgewicht haben, sind die Kaukräfte, der Druck der Lippe, der Wangen und der Zunge, die äußeren Kräfte (Habits und kieferorthopädische Apparaturen) sowie die Kräfte, die im Parodont entstehen. Dabei ist die Wirkdauer dieser Kräfte entscheidend dafür, ob es zu einer Zahnstellungsänderung kommt.

Wenn ein Kieferorthopäde beabsichtigt, die Zahnstellung signifikant zu verändern, ergibt sich klinisch das Problem, genau das richtige Maß an Veränderungen vorzunehmen, damit das Ergebnis über lange Zeit stabil bleibt [136].

Nance postulierte, dass das Beibehalten der interkaninen Distanz von zentraler Bedeutung für ein stabiles Behandlungsresultat sei [90]. Ferner soll noch die prätherapeutische Zahnbogenform im Unterkiefer möglichst erhalten bleiben und die Achsenstellung der unteren Schneidezähne nach Tweed 90° zur Unterkieferebene bilden [129].

Dazu schrieb Zachrisson [136] 2006, dass stärkere Dehnungen und Frontzahnprotrusionen im Unterkiefer als Teil einer kieferorthopädischen Therapie höchstwahrscheinlich zu instabilen Behandlungsergebnissen führen. Wie oben erwähnt sollten demzufolge die Eckzahndistanz, die vor einer kieferorthopädischen Behandlung in der Regel 25 mm bis 26 mm beträgt, und die vorgegebene Zahnbogenform bei der Behandlung, nicht verändert werden.

Nach Blake und Bibby [23] ist die Ausgangsposition der Unterkieferfront der beste Indikator für deren stabile Position. Gilmore und Little [55] glauben allerdings, dass die Form des unteren

Zahnbogens eine wichtigere Rolle für die Stabilität spielt als die Inklination der Inzisivi auf der apikalen Basis.
Eine Untersuchung zur Stabilität einer transversalen Erweiterung des Zahnbogens im Unterkiefer nach Abschluss der Retentionszeit ergab, dass die Expansion im Molarenbereich weitgehend stabil ist, die Stabilität nach mesial bis zu den Eckzähnen aber mehr und mehr abnimmt [54]. Weitere Studien von Jering und Miethke [65], Graf und Ehmer [56], Kahl-Nieke et al. [67] sowie Housley et al. [64] bestätigen, dass Expansionen besonders im Unterkieferfrontzahnbereich am instabilsten sind. Deshalb darf der untere Eckzahnbereich nicht therapeutisch expandiert werden, auch wenn dies heutzutage von den Protagonisten insbesondere der selbstligierenden Damon-Brackets behauptet wird [46, 130].
Nicht nur die Stabilität bei der Änderung der Zahnbogenform und bei Überdehnung ist beeinträchtigt, sondern auch die Ästhetik des Lächelns ist zu bedenken. Bedeutsam ist hierbei die Sichtbarkeit bukkaler Korridore, die auch durch die Stellung (Torque) der Seitenzähne beeinflusst wird. So empfiehlt Zachrisson [134] bei Patienten mit schmaler und spitz zulaufenden Zahnbogenformen die Eckzähne und Prämolaren in beiden Kiefern, durch zusätzlichen bukkalen Kronentorque aufzurichten. Die dadurch bewirkte Zahnbogenverbreitung soll laut Zachrisson nicht nur ein breites volles Lächeln bewirken, sondern im Vergleich zu konventioneller (Über-)Expansion der Zahnbögen zu weniger parodontalen Problemen und größerer Stabilität führen [82, 135]. Auch McLaughlin, Bennett und Trevisi [82] streben einen bukkalen Kronentorque der Seitenzähne an und haben in die von ihnen angegebene Bracket-programmierung einen progressiven bukkalen Kronentorque eingebaut. Dadurch richten sich die Zähne auf, wenn ein slotfüllender Vierkantdraht in die Brackets eingesetzt wird, und es bildet sich eine relativ flache Wilson-Kurve aus. Tendenziell kommt es zu einer leichten Aufweitung des unteren Zahnbogens, die jedoch gering ausfällt, wenn eine der Unterkieferbasis entsprechende Bogenform beibehalten wird. Hingegen empfehlen sie keinen bukkalen Kronentorque an den oberen Molaren, um keine okklusalen Interferenzen durch hängende palatinale Höcker hervorzurufen. Sie bevorzugen einen Torque für die oberen Molaren von -14°. Dieser Wert soll nur bei ausreichend breiten Oberkiefern eingestellt werden, die keine dünnen bukkalen Knochenlamellen aufweisen; sonst stoßen die Wurzeln an die Kortikalis und der erwünschte Torque ist nicht mehr einstellbar [83, 85]. Andererseits dürfte der Effekt auf den bukkalen Korridor durch den zusätzlichen bukkalen Kronentorque bescheiden sein. Mehrere Studien zeigen beim Vergleich zwischen konventionellen und selbstligierenden Apparaturen, dass es zu einer Erweiterung der Zahnbögen im Molarenbereich besonders durch die selbstligierende Apparaturen kommt, diese hat auch einen positiven Einfluss auf den bukkalen Korridor [46, 99, 125].

Der Erhalt der interkaninen Distanz während der kieferorthopädischen Therapie garantiert nach Little et al. postretentive Stabilität nicht [75, 76]. In einer Studie von Taner et al. [124] wurden anhand von 21 Ober- und Unterkiefermodellen die Änderungen der Zahnbogenform und -breite nach einer kieferorthopädischen Behandlung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Zahnbogenform bei 14 von 21 Unterkiefermodellen während der kieferorthopädischen Behandlung nicht verändert hat. Trotzdem haben 5 von diesen 14 Unterkiefermodellen eine Änderung der Zahnbogenform im Unterkiefer in der Postretentionsphase aufgewiesen. Diese Änderungen der Zahnbogenform könnten nach Taner et al. auf das Wachstum zurückzuführen sein. Little [73] postuliert daher, dass nach einer Erweiterung des Zahnbogens eine lebenslange Retention notwendig ist, um ein Rezidiv zu verhindern [74].
Rezidiv bedeutet die Entwicklung in Richtung der ursprünglichen Dysgnathie. Somit ist tertiärer Engstand nicht als Rezidiv, sondern als neue entstehende Zahnfehlstellung zu werten [59].
Nach Abschluss einer kieferorthopädischen Therapie haben die Zähne, auch wenn sie innerhalb der neutralen Zone der Weichteile bewegt wurden, die Tendenz in Richtung ihrer ursprünglichen prätherapeutischen Stellung zu rezidivieren. Zu den Ursachen des Rezidivs zählen die gingivalen und parodontalen Fasern. Diese Fasern brauchen Zeit für eine Neuorientierung bzw. für einen Umbau nach einer Therapie. Die aus Kollagen bestehenden parodontalen Fasern brauchen 4 bis 6 Monate, um sich neu zu orientieren, während der elastische suprakrestale Faserapparat in der Gingiva 7 bis 8 Monate für eine Neuorientierung braucht [4, 23, 41, 50, 108].
Ein weiterer Grund für ein Rezidiv ist das fortbestehende Wachstum des Ober- und Unterkiefers nach Wachstumsende [19, 23]. Dadurch besteht bei korrekter Frontzahnabstützung die Möglichkeit einer Verlagerung des Unterkiefers nach posterior mit Einfluss auf das Kiefergelenk sowie eine Diskusverlagerung. Weiterhin kann es zu einem Ausweichen der Oberkieferinzisivi nach anterior kommen, was zur Lückenbildung im Oberkiefer führt, aber auch zu einem Ausweichen der Unterkieferinzisivi nach posterior, was einen frontalen Engstand im Unterkiefer verursacht. Der Engstand im Unterkiefer ist das häufigste dieser Ereignisse [105].

2.4 Studien zu standardisierten Bogenformen

Eine Studie von Bechtold et al. 2010 [17] untersuchte anhand von 99 kieferorthopädisch behandelten Patienten den Einfluss standardisierter Bogenformen auf die transversale Zahnbogendimension bei der Korrektur frontaler Engstände. Die Ergebnisse zeigen, dass die größte Zahnbogenerweiterung durch die verwendete vorprogrammierte Multibracketapparatur (Roth 18/TP Orthodontics, Roth18/Pyramid Orthodontics, Damon 2/Ormco sds) und konfektionierte Bögen

(Trueform I/G&H Wire Company, Rainbow Arch/Pyramid Orthodontics, Natural Form/Adenta) im Bereich der 1. Prämolaren zu finden war. An der Unterkiefer-Eckzahnspitze waren keine statistisch signifikanten Veränderungen feststellbar.

In einer Studie von Braun et al. 1999 [26] wurden mehrere vorgeformte elastische Nickel-Titan-Bögen verschiedener Hersteller („A“ Company, Ormco, Unitek) miteinander verglichen. Die Autoren stellten fest, dass die vorgefertigten Nickel-Titan-Bögen breiter sind als natürliche menschliche Zahnbögen. Dies hat zum einen zur Folge, dass die Stabilität nach Behandlungsende beeinträchtigt werden kann [43, 76]. Zum anderen führt eine Zunahme in der Zahnbogenbreite zu einer Abnahme der Bogentiefe, was zum Abflachen des Lippenprofils führen kann. Dadurch können das Lippenprofil und die Gesichtsästhetik negativ beeinflusst werden [103]. Bei Missachtung der individuellen Zahnbogenform und Einligieren zu breiter standardisierter elastischer Bögen kommt es zunächst zu einer ungewollten Zahnbogenexpansion [26]. Wenn später die individuelle Zahnbogenform durch Anpassen von Stahlbögen korrigiert wird, kann es zu Gewebeschäden durch „round tripping“ kommen [132]. Sofern die durch den zu breiten vorgeformten elastischen Bogen erzeugte Zahnbogenform beibehalten wird, birgt sie jedoch die Gefahr der Instabilität [43, 76]. Deshalb empfehlen Braun et al. die vorhandenen Bogenformen zu überprüfen und in Richtung der menschlichen Zahnbogenform anzupassen.

Felton et al. [43] publizierten 1987 eine Studie, in der sie einerseits konfektionierte Bögen (Brader arch form, Pentamorphic arch form, Par arch form, Bonwill-Hawley arch form, Vari-Simplex arch form, Tru-Arch arch form) mit den Zahnbogenformen ihrer Patienten verglichen und andererseits die Zahnbogenform vor und nach kieferorthopädischer Behandlung mit einem Polynom vierten Grades annäherten und anschließend verglichen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass bei ungefähr 50 % der Patienten ein konfektionierter Bogen (Par arch form und Vari-Simplex arch form) eine sehr gute Annäherung an die Bogenform darstellte. Bei den übrigen Patienten existierte eine sehr große Variabilität der Zahnbogenformen. Daher fordern die Autoren zum Vermeiden von Rezidiven die individuelle Zahnbogenform zu bestimmen.

De La Cruz et al. [37] fanden zehn Jahre nach Behandlungsabschluss bei 87 kieferorthopädisch behandelten Patienten eine Rückstelltendenz zur ursprünglichen Zahnbogenform. Ihre Schlussfolgerung war, dass die prätherapeutische Bogenform die beste Leitlinie für langfristige Stabilität ist. Dennoch ist die Minimierung von therapeutischen Veränderungen der Zahnbogenbreite keine Garantie für postretentive Stabilität [23, 61, 76].

3 Fragestellung

In den 80er Jahren wurde von den Bogenformen der Firma 3M Unitek die ovale Form von McLaughlin, Bennett und Trevisi bevorzugt verwendet [20]. Obwohl diese Form bei den meisten Patienten passte, gab es dennoch bei einem Teil der Patienten eine Überexpansion der Zahnbogen oder eine zusätzliche Expansion wäre notwendig gewesen. Hingegen beurteilte diese Arbeitsgruppe in den 90er Jahren die Verwendung spitz zulaufender Bogenformen bei vielen Patienten als günstig, bei einigen mehr die eckige Variante [69, 91]. In dieser Studie sollte daher die prozentuale Verteilung der Bogenformen der Firma 3M Unitek (OrthoForm I spitz, OrthoForm II eckig, OrthoForm III oval und OrthoForm LA) bei Kaukasiern in einer kieferorthopädischen Praxis in Berlin ermittelt werden.

Es sollte zum anderen überprüft werden, ob es Zusammenhänge zwischen der Zahnbogenform, der Angle-Klasse und dem Geschlecht gibt.

Die Übereinstimmung von Zahnbogenform und Bogenform sollte sowohl durch die OrthoForm-Schablonen per Augenmaß als auch computergestützt ermittelt werden. Die computergestützten Ergebnisse sollten mit den per Augenmaß ermittelten Ergebnissen verglichen werden, um zu prüfen, ob die per Augenmaß ausgewählte Bogenform hinreichend exakt ist, oder ob eine computergestützte Messung für den kieferorthopädischen Alltag notwendig wäre.

Zum Schluss sollte abgeleitet werden, in welchem Verhältnis die untersuchten Bögen im Untersuchungsgut passen und wie sie demzufolge in einer kieferorthopädischen Praxis bevorratet werden sollten.

4 Materialien und Methoden

Im Rahmen dieser Studie wurde die Bogenform an 190 Unterkiefermodellen einmal computerunterstützt und einmal manuell bestimmt.

4.1 Auswahlkriterien der Unterkiefermodelle

Die Unterkiefermodelle bzw. die Patienten, von denen die Modelle stammten, mussten folgende Einschlusskriterien erfüllen:

1. Die Patienten mussten kaukasischer Abstammung sein.
2. Es musste ein vollständiges, kieferorthopädisch unbehandeltes bleibendes Gebiss vorliegen.
3. Die Unterkieferzahnbögen durften keinen wesentlichen Eng- bzw. Weitstand aufweisen, wobei eine Zahnbogenlängendiskrepanz bis zu 3 mm akzeptabel war.
4. Es durften keine offensichtlichen Größen- und Formanomalien der Zähne vorliegen.
5. Die Zähne durften keine zahnärztliche Versorgung der Schneidekanten, der Eckzahnspitzen sowie der Höckerspitzen der Seitenzähne und der Approximalflächen aufweisen.

4.2 Anzahl und Herkunft der Unterkiefermodelle

Um eine möglichst repräsentative Stichprobe zu gewinnen, wurden in dieser Studie alle Patientenmodelle aus einer Fachzahnarztpraxis für Kieferorthopädie in Berlin berücksichtigt, die die oben genannten Auswahlkriterien erfüllten. Dafür wurden alle vorhandenen Patientenmodelle ab dem Jahr 1993 bis 2010 in der Praxis überprüft. Davon haben insgesamt 190 Patientenmodelle die Auswahlkriterien erfüllt.
Die Modelle wurden ursprünglich als diagnostische Unterlagen gebraucht. Daher wurden sie mit Hartgips Typ 3 (Kanistone KFO Spezial, Herford, Deutschland) hergestellt. Für die Abformung der Ober- und Unterkiefer wurde Alginat verwendet.
Die Modelle stammten von 106 weiblichen und 84 männlichen Probanden, das Alter der Probanden lag zwischen 10 und 48 Jahren, das Durchschnittsalter betrug 15 Jahre. Die Verteilung nach der Angle-Klassifikation ist in Tabelle 3 zusammengefasst. Die Sortierung nach der Angle-Klassifikation entspricht der Definition von Angle [35], d. h. es wurde nach der sagittalen Relation der oberen zu den unteren ersten Molaren beurteilt. Bei einseitigen Distal- bzw.

Mesialbissen wurden diese - unter Nicht-Beachtung der neutral verzahnten Seite - unter Distal- bzw. Mesialbiss aufgeteilt. Patienten mit gleichzeitig einseitigem Distal- und Mesialbiss kamen bei den untersuchten Patientenmodellen nicht vor.

	Anzahl	Summe
Geschlecht		
Männlich	84	190
Weiblich	106	
Angle-Klasse		
Angle-Klasse I	54	190
Angle-Klasse II	120	
Angle-Klasse III	16	

Tabelle 3: Verteilung der Patientenmodelle nach Geschlecht und Angle-Klasse.

4.3 Verwendetes Bogensystem

Chuck hat 1932 [30] als erster die Bogenformen in spitz, eckig und oval unterteilt. Diese drei Grundformen wurden von vielen Autoren beschrieben [29, 43, 69, 91, 106, 109, 127] und von McLaughlin et al. für ihr Bogensystem verwendet [84].
Aufgrund dieser Erkenntnisse bietet 3M Unitek drei eigenständige Bogenformen auf dem Markt an, die sich vor allem in der Frontzahnkurvatur und im Eckzahnabstand sowie der Kurvatur vom Eckzahn zum zweiten Molaren unterscheiden. Diese Bogenformen werden unter der Bezeichnung OrthoForm vermarktet. Das System besteht aus vier Bogenformen und jede Form hat jeweils zwei Bögen, einmal für den Oberkiefer (größere Bögen) und einmal für den Unterkiefer (kleinere Bögen). Diese gibt es als vorgeformte Drahtbögen und als Biegevorlage.
Werden diese Formen übereinander gelegt, so variieren sie in erster Linie im Eckzahnabstand innerhalb eines Bereiches von etwa 5 mm (Abbildung 8) [84]. Die Molarenabstände sind ziemlich ähnlich und die posterioren Abschnitte der Drahtbögen können nach Bedarf weiter oder enger gestaltet werden.

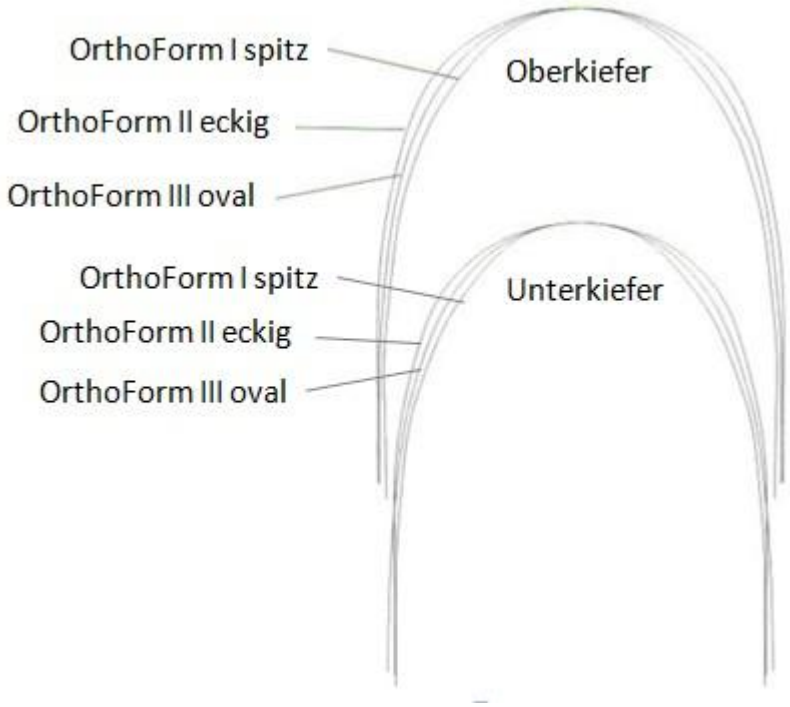

Abbildung 8: Unterschiedliche Bogenformen der Firma 3M Unitek, jeweils drei für Ober- und Unterkiefer mit den Formen spitz, eckig (auch quadratisch genannt) und oval (auch als ovoid bezeichnet). Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

Die Firma 3M Unitek bietet zusätzlich eine größere spitz zulaufende Bogenform an, nämlich die OrthoForm LA, die weitgehend der Form der OrthoForm I spitz entspricht, sich jedoch in der Gesamtgröße von etwa 5 mm im Eckzahnbereich und etwa 7 mm im Molarenbereich unterscheidet und größer ist (vgl. Abbildung 5).
Anhand der Zahnbogenformen wurde die Häufigkeit der OrthoFormen ermittelt. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass 3M Unitek 2003 die Bezeichnungen der OrthoFormen geändert hat. Folgende Tabelle gibt einen Überblick der Synonyme:

Alte Bezeichnung	**Neue Bezeichnung**
OrthoForm I	OrthoForm LA
OrthoForm I modified	OrthoForm I spitz

Tabelle 4: Alte und neue OrthoForm Bezeichnungen.

4.3.1 OrthoForm LA

Die OrthoForm LA ist die größte der vier Bogenformen, trotz ihrer spitz zulaufenden Form. Da sie für viele Patienten zu groß ist, wurde sie durch die kleinere Bogenform OrthoForm I spitz ergänzt. Sie wird aber weiterhin im Katalog unter dem Begriff OrthoForm LA angeboten (Abbildung 9).

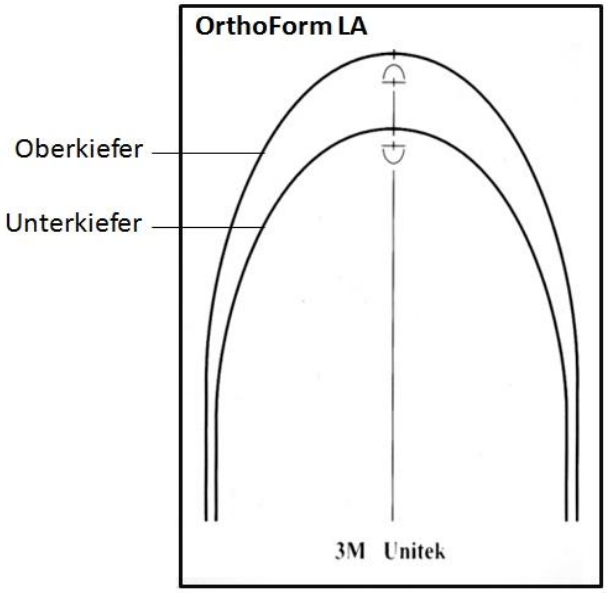

Abbildung 9: OrthoForm LA Schablone. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

4.3.2 OrthoForm I spitz

Die OrthoForm-I-spitz-Bögen sind im Bereich der Eckzähne am schmalsten. Die Autoren McLaughlin, Bennett und Trevisi [84] empfehlen die Anwendung dieser Form bei Patienten, die schmale spitze Zahnbögen haben. Es soll besonders wichtig sein, diese Bogenform bei Patienten zu wählen, die einen engen Zahnbogen mit gleichzeitiger gingivaler Rezession im Eckzahnbereich aufweisen [84]. Dieser Fall tritt vorwiegend bei der Behandlung erwachsener Patienten auf.

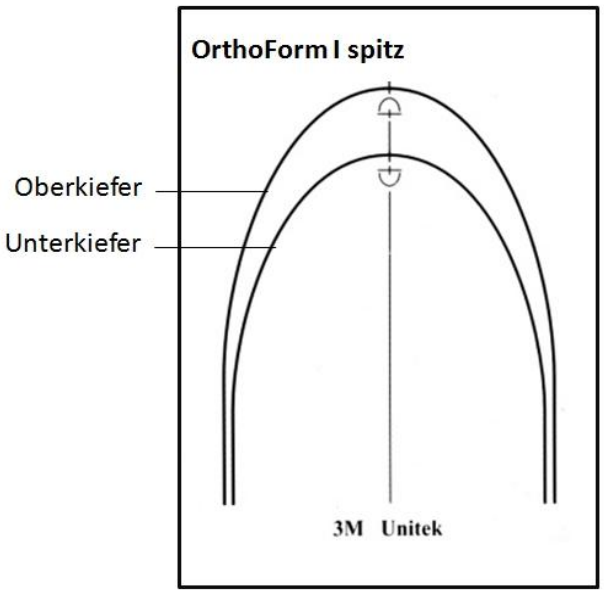

Abbildung 10: OrthoForm I spitz Schablone. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

4.3.3 OrthoForm II eckig

Die OrthoForm II eckig weist die größte interkanine Distanz der vier Bogenformen auf (vgl. Abbildung 8). Nach den Autoren McLaughlin, Bennett und Trevisi [84] eignet sich diese Form für breite Zahnbögen. Sie wird empfohlen zur bukkalen Aufrichtung des posterioren Segmentes im Unterkiefer und zum Aufrechterhalten einer Dehnung des oberen Bogens nach Gaumennahterweiterung.

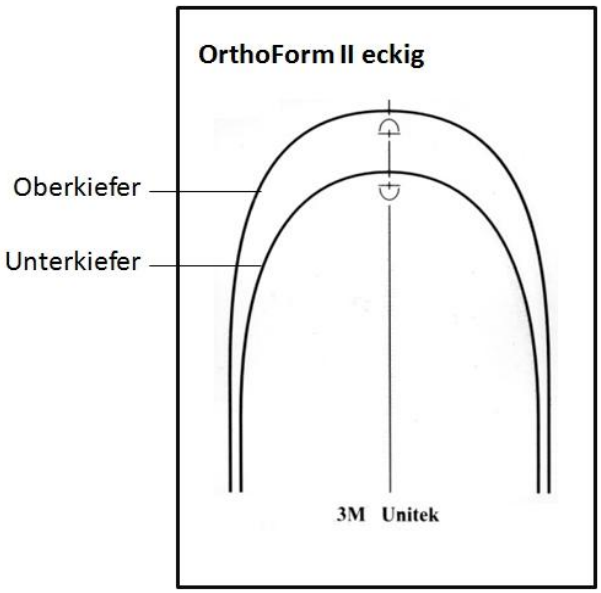

Abbildung 11: OrthoForm II eckig Schablone. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

4.3.4 OrthoForm III oval

Die OrthoForm III oval ist etwas breiter als OrthoForm I spitz und etwas schmaler als Ortho-Form II eckig. Dies ist besonders im Eckzahnbereich deutlich zu erkennen.

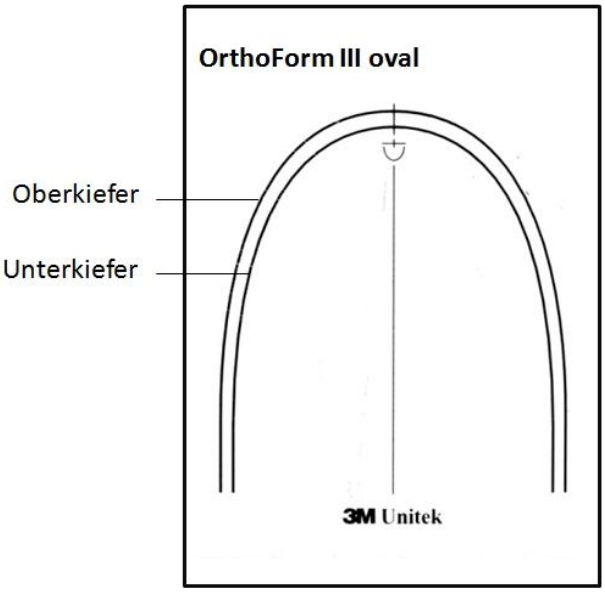

Abbildung 12: OrthoForm III oval Schablone. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Firma 3M Unitek.

4.4 Computergestützte Schablonen-basierte Ermittlung der Bogenform

Mit Hilfe von speziell entwickelten Auswertungsfunktionen in Microsoft Excel (Dr. Ch. Kossack, Charité - Universitätsmedizin Berlin) wurde für jedes Unterkiefermodell aus den vier Unterkieferbogenformen die am besten passende Bogenform ermittelt. Im Prinzip prüfte das Programm für jedes Unterkiefermodell, welche Bogenform die geringsten Abweichungen von der Zahnbogenform aufwies. Die Passgenauigkeit ist dabei umso besser, je weiter sich die Summe der Abweichungen gegen Null annähern.

4.4.1 Fotografieren der Modelle

Die Unterkiefermodelle wurden mit einem digitalen Fotoapparat (OLYMPUS 948, E-420, Olympus, Tokio, Japan) fotografiert. Dabei wurde das Objektiv Zuiko Digital 14-45 mm 1:3.5-5.6 Digital SLR, Olympus, Japan, verwendet. Der Fotoapparat wurde an einem Stativ (2503, Cullmann, Langenzenn, Deutschland) montiert, über einem stabilen Tisch aufgestellt und fest fixiert. Auf dem Tisch und im Aufnahmefeld wurde als Hintergrund ein schwarzer Kasten befestigt, um die Kontrastverhältnisse beim Fotografieren zu verbessern. Der Abstand vom Objektiv des Fotoapparates zur Tischfläche war konstant und betrug 45 cm (Abbildung 13).

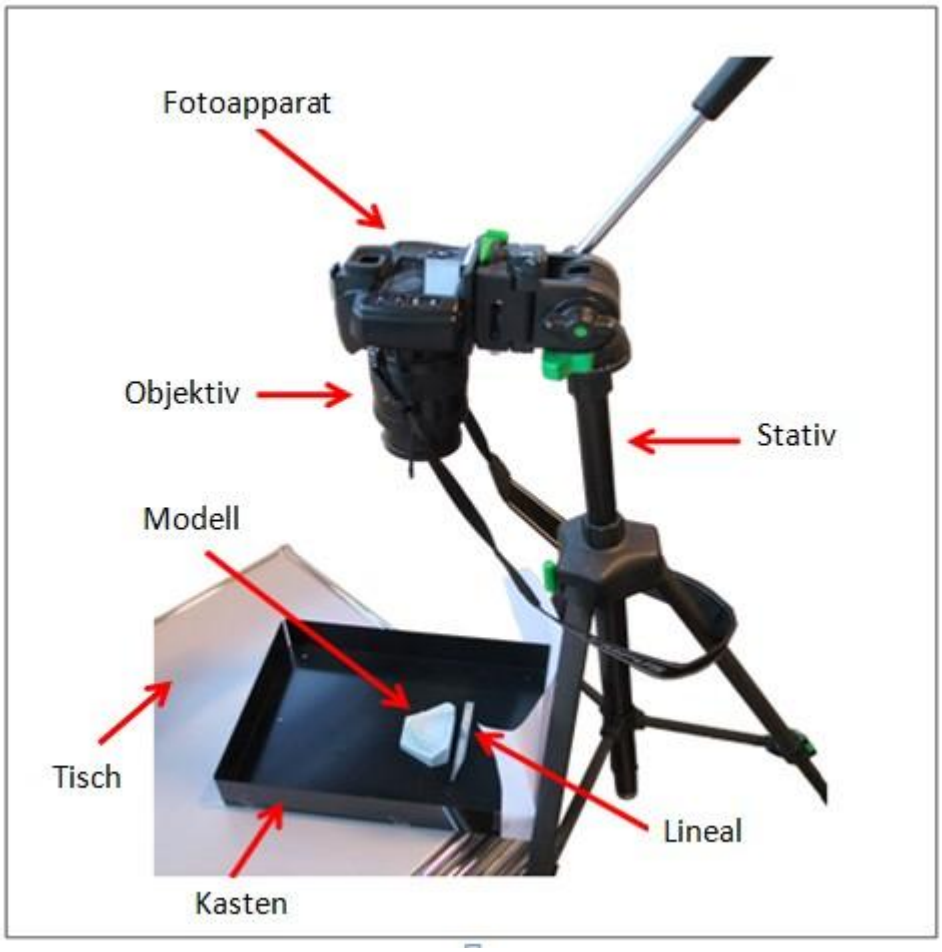

Abbildung 13: Aufbau zum Fotografieren der Unterkiefermodelle: digitaler Fotoapparat (OLYMPUS 948, E-420, Olympus, Japan) mit Objektiv (Zuiko Digital 14-45 mm 1:3.5-5.6 Digital SLR, Olympus, Japan) und Stativ (2503, Cullmann, Langenzenn, Deutschland), sowie Tisch mit fixiertem schwarzem Kasten, um die Kontrastverhältnisse beim Fotografieren zu verbessern. Der Abstand vom Objektiv zur Tischfläche war konstant und betrug 45 cm. Im schwarzen Kasten wurden die zu fotografierenden Modelle platziert. Neben dem Modell lag stets ein Stahllineal (Bernklau Messstab, Dentaurum, Ispringen, Deutschland) mit Millimeterskala.

Alle Modelle waren parallel zur Okklusionsebene getrimmt. Das Modell wurde in dem schwarzen Kasten in einem markierten Feld unter dem Fotoapparat platziert. Jedes Modell wurde ventral an einer Bleistiftlinie am Kastenboden ausgerichtet. Dorsal der Modelle wurde jeweils im Abstand von 15 mm ein Stahllineal (Bernklau Messstab, Dentaurum, Ispringen, Deutschland) platziert und mitfotografiert. Dieses diente als Abbildungsmaßstab.
Alle 190 Unterkiefermodelle wurden unter gleichen Bedingungen bei Tageslicht ohne Blitz fotografiert (Abbildung 14). Um Verwacklungen durch Betätigung des Auslöseknopfes zu vermei-

den, wurde der Auslösemechanismus des Fotoapparats auf eine Verzögerung von 2 Sekunden eingestellt.

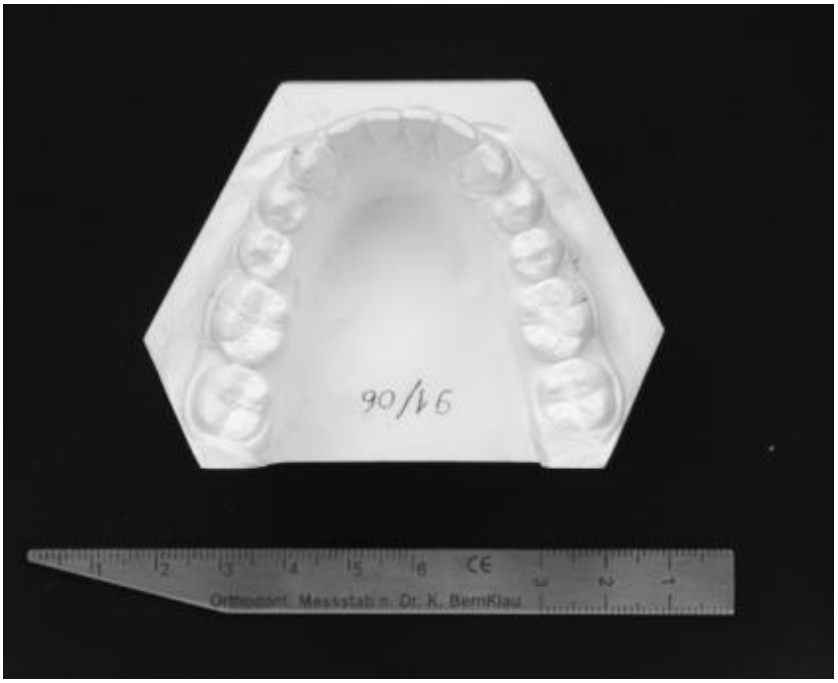

Abbildung 14: Foto eines Unterkiefermodells mit dem Stahllineal (Dateiformat: JPG, Auflösung: 314 dpi, Farbdarstellung: sRGB, Farbtiefe: 24 Bit).

4.4.2 Messpunkte und -strecken

Die 190 digitalen Bilder (Dateiformat: JPG, Auflösung: 314 dpi, Farbdarstellung: sRGB, Farbtiefe: 24 Bit) wurden vom Fotoapparat auf den Computer übertragen und bearbeitet. Die interapproximalen Kontakte der Zähne wurden von distal des Zahnes 36 bis distal des Zahnes 46 mit Hilfe des Programmes ImageJ (Hersteller: Wayne Rasband, Herausgeber: NIH, Version: ImageJ 1.39u, Bethesda, Maryland/U.S.A.) angepunktet. Dafür kam ein Notebook der Marke Medion - Typ MD9783 - zum Einsatz, Bildschirmauflösung 1024x768 Pixel, Farbtiefe 32 Bit. Beim Anpunkten wurde keine Zoomfunktion genutzt. Somit entstanden 13 Interdentalpunkte pro Unterkiefermodell (Abbildung 15). Die Interdentalpunkte wurden dann als X-/Y-Koordinaten in Excel gespeichert, dadurch erhielt jeder der 13 Interdentalpunkte zwei Koordinatenzahlen für die spätere Berechnung und die graphische Darstellung in Microsoft Excel. Die weitere Berechnung wurde durch Microsoft Excel (Microsoft Office Excel 97-2003) durchgeführt.

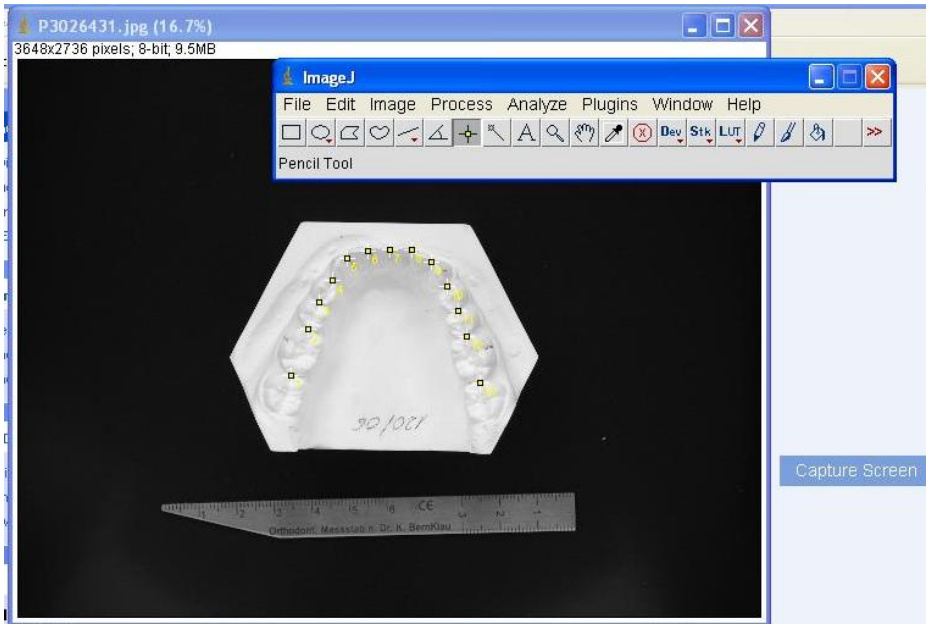

Abbildung 15: Anpunkten der approximalen Kontaktpunkte mittels ImageJ Programm (Hersteller: Wayne Rasband, Herausgeber: NIH, Version: ImageJ 1.39u, Bethesda, Maryland/U.S.A.). Zum Anpunkten wurde das Werkzeug Pencil Tool verwendet. Die 13 Interdentalpunkte wurden als X-/Y-Koordinaten in Excel gespeichert.

Zwischen dem mesialen und distalen Interdentalpunkt jedes Zahnes wurde eine Strecke gebildet und der Mittelpunkt in Microsoft Excel berechnet. Diese Punkte werden im Weiteren als Kronenmittelpunkte bezeichnet, von denen es pro Modell zwölf gibt.
Im Kronenmittelpunkt wurde senkrecht zur Verbindungslinie des mesialen und distalen Kontaktpunktes nach vestibulär die durchschnittliche Kronenprominenz der Zähne nach Andrews addiert [11]. Die so entstandenen Punkte auf den Kronen werden in dieser Studie Bracketbasispunkte genannt.
Andrews hat 120 Gebisse mit Idealokklusion im Jahre 1970 vermessen und es gelang ihm die zuvor in den orthodontischen Bogen einzubringenden Biegungen (Standard-Edgewise-Technik) als Mittelwerte in die Befestigungselemente zu verlagern (Straight-wire-System). Bei der Modellvermessung hat er unter anderem die Kronenprominenz anhand der okklusal getrimmten Modelle gemessen. Die durchschnittlich gemessenen Werte der Kronenprominenz nutzte Andrews bei der Konstruktion der Bracketprominenz (Abbildung 16).

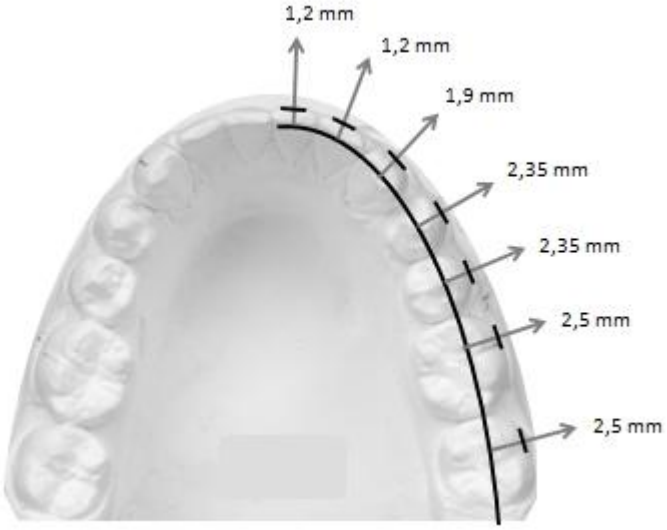

Abbildung 16: Durchschnittliche Kronenprominenz im Unterkiefer nach Andrews [11].

In einem weiteren Schritt wurde für jeden Zahn die entsprechende Bracketbasisdicke des zugehörigen Smartclip-Brackets dazu addiert. Dies ist der Abstand von der Bracketbasis zum Bracketschlitzboden, gemessen entlang der Linie, die in orovestibulärer Richtung mesiodistal zentriert, den Bracketschlitz halbiert und mittig zwischen okklusaler und zervikaler Fläche des Bracketschlitzes verläuft. Dadurch konnte man die Bracketschlitzpunkte berechnen. Der Bracketschlitzpunkt ist hier definiert als der Mittelpunkt am Schlitzboden eines Brackets. Hierfür wurden die Maße der Smartclip-Brackets und -Tubes der Firma 3M Unitek verwendet (Abbildung 17).
Die geradlinige Verbindung der so entstandenen 12 Bracketschlitzpunkte von Zahn 36 bis Zahn 46 ergab die Zahnbogenform des jeweiligen Modells.

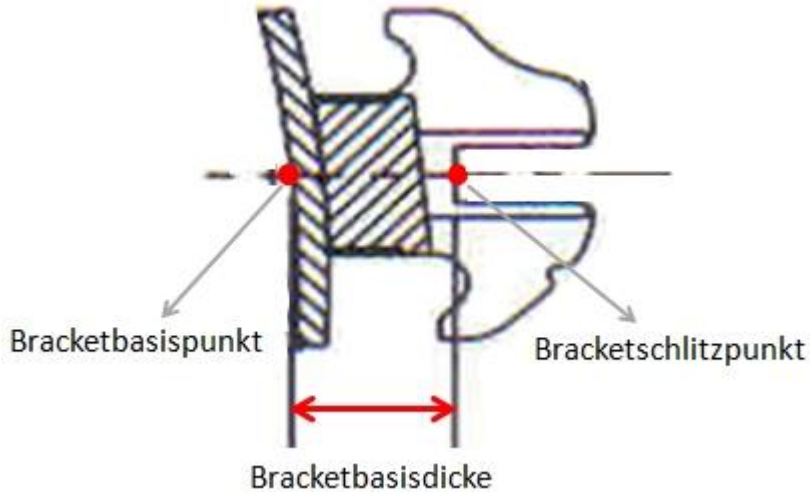

Abbildung 17: Smartclip-Bracket der Firma 3M Unitek. Darstellung des Bracketbasis- und des Bracketschlitzpunktes sowie die Bracketbasisdicke am Beispiel eines Smartclip-Brackets für Zahn 31.

4.4.3 Digitalisieren der „OrthoForm“-Schablonen

Die vier „OrthoForm“-Schablonen wurden unter den gleichen Bedingungen wie die einzelnen Modelle fotografiert (Abbildung 18). Da die Schablonen dünner als die Modelle sind, war der Abstand zum Objektiv etwas größerer (ca. 2,5 cm) als bei den Modellen. Sie wurden wie unter 4.4.2 beschrieben von dem Fotoapparat in den Computer transferiert und ebenfalls mit dem Programm ImageJ angepunktet. Anders als beim Anpunkten der Modelle wurde hier die Bogenform entlang des gesamten Verlaufs mit 60 Punkten angepunktet, um eine möglichst genaue digitale Nachzeichnung der vier Bogenformen zu erzielen. Diese wurden dann für die spätere Berechnung und graphische Darstellung in Microsoft Excel als X-/Y-Koordinaten für Excel gespeichert.

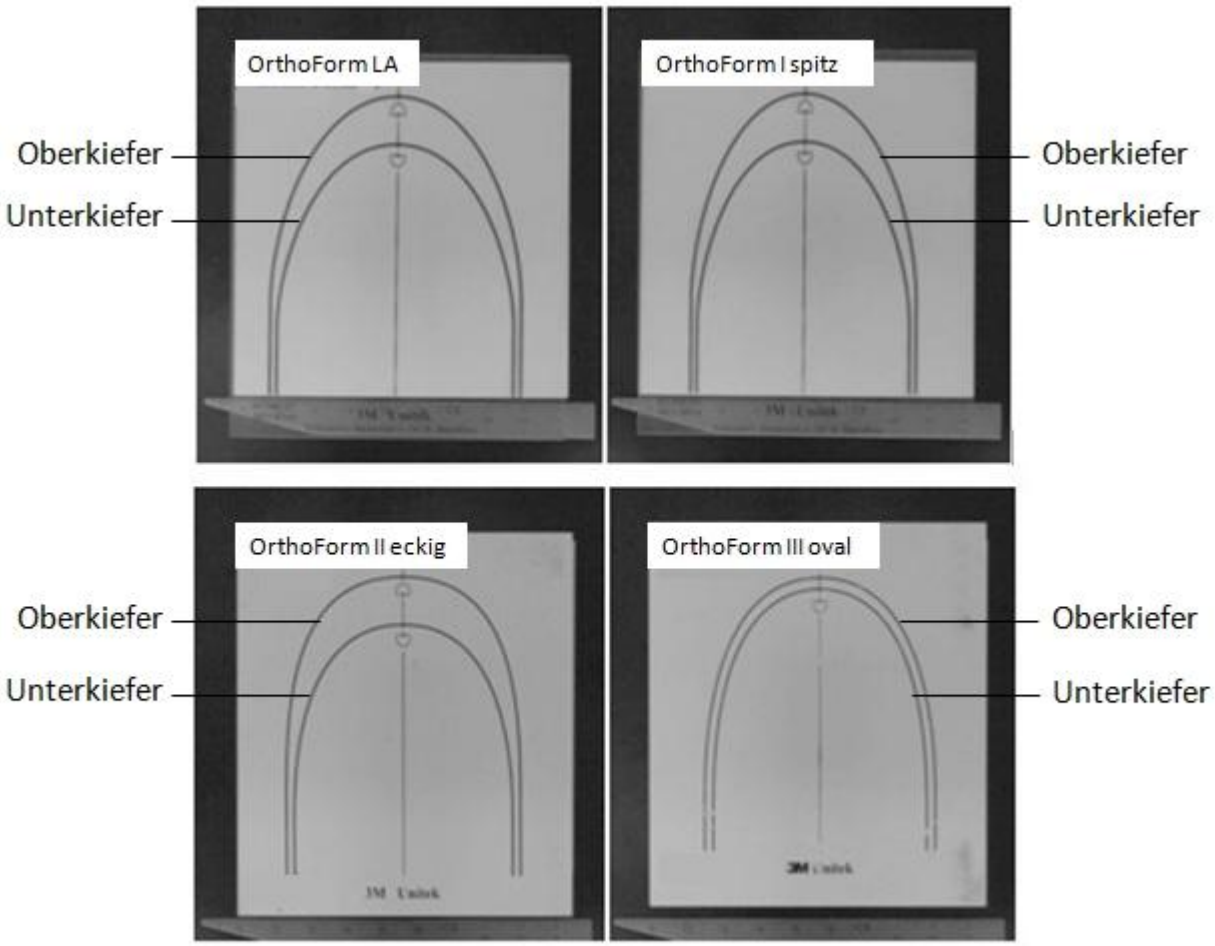

Abbildung 18: Fotos der OrthoForm-Schablonen.

4.4.4 Bestimmung der Bogenform der Unterkiefermodelle

Die in Microsoft Excel pro Unterkiefermodell ermittelten 12 Bracketschlitzpunkte (vgl. 4.4.2) von Zahn 36 bis Zahn 46 wurden jeweils in einem Koordinatensystem graphisch als Pixel dargestellt. Durch das geradlinige Verbinden der 12 berechneten Bracketschlitzpunkte ausgehend von Zahn 36 bis Zahn 46 wurde für jedes Modell eine individuelle Zahnbogenform definiert. Der Mittelpunkt der jeweiligen Zahnbogenform - der sich vestibulär über dem Approximalkontakt zwischen Zahn 31 und Zahn 41 befindet - wurde als Ursprung der X- und Y-Koordinaten definiert. Somit erhielt dieser am Koordinatensystem den Wert 0 Pixel für die X-Koordinate und den Wert 0 Pixel für die Y-Koordinate. Analog erhielten die Mittelpunkte der Bogenformschablonen den Wert 0 Pixel für die X-Koordinate und den Wert 0 Pixel für die Y-Koordinate. Diese waren zur Koordinierung der Mitten bei der Überlagerung der Zahnbogenform und der Bogenformen wichtig.

Als Weiteres sollte festgestellt werden, welche der vier untersuchten Bogenformen, OrthoForm LA, OrthoForm I spitz, OrthoForm II eckig oder OrthoForm III oval, am besten der individuellen Zahnbogenform jedes Modells entspricht.
Das in Microsoft Excel 2003 entwickelte Berechnungssystem überlagerte dabei über jede ermittelte Zahnbogenform die vier Bogenformen und rechnete dabei für die jeweilige Zahnbogenform den Abstand am Koordinatensystem zu jeder der vier Bogenformen aus.
Dann wurden die einzelnen Differenzen zwischen Zahnbogenformpunkte und den jeweiligen Bogenformpunkten addiert und ergaben somit die Abweichungssumme jedes Modells für jede Bogenform. Die Bogenform mit der geringsten Abweichungssumme wurde als die am besten passende Form gewertet. Je größer die Abweichungssumme umso schlechter passt die Bogenform zum Zahnbogen.
Die Abbildungen 19 bis 22 zeigen anhand einer Zahnbogenform jeweils die Überlagerung der vier Bogenformen. Durch den Rechner ermittelt sowie mit dem Auge klar zu erkennen kommt in diesem Beispiel die OrthoForm I spitz der Zahnbogenform am nächsten.

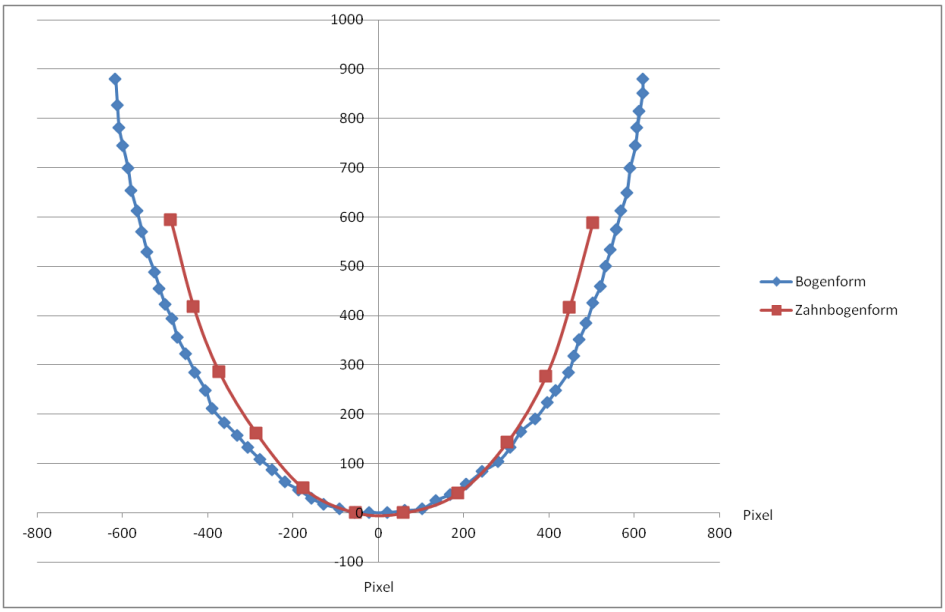

Abbildung 19: Überlagerung der OrthoForm LA mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507.

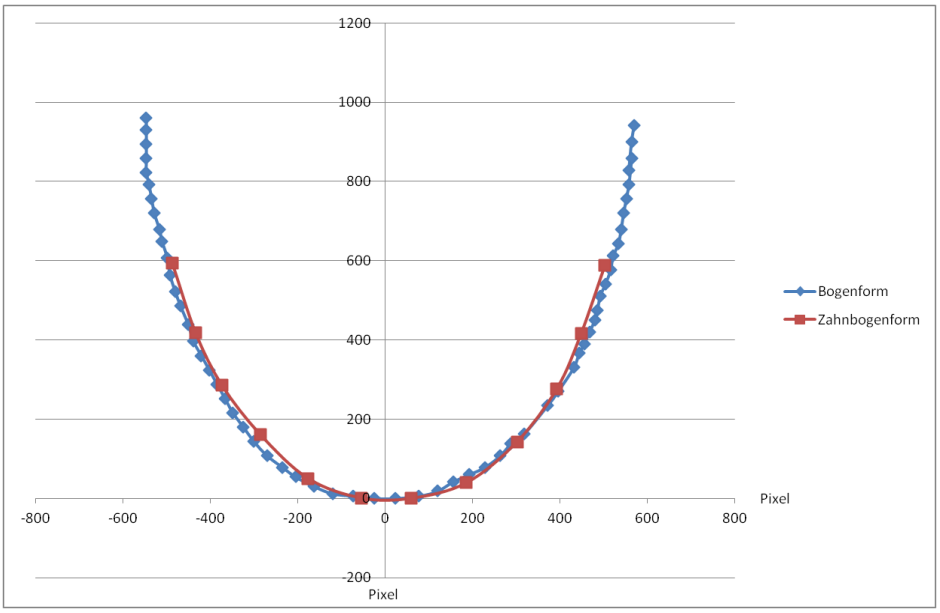

Abbildung 20: Überlagerung der OrthoForm I spitz mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507.

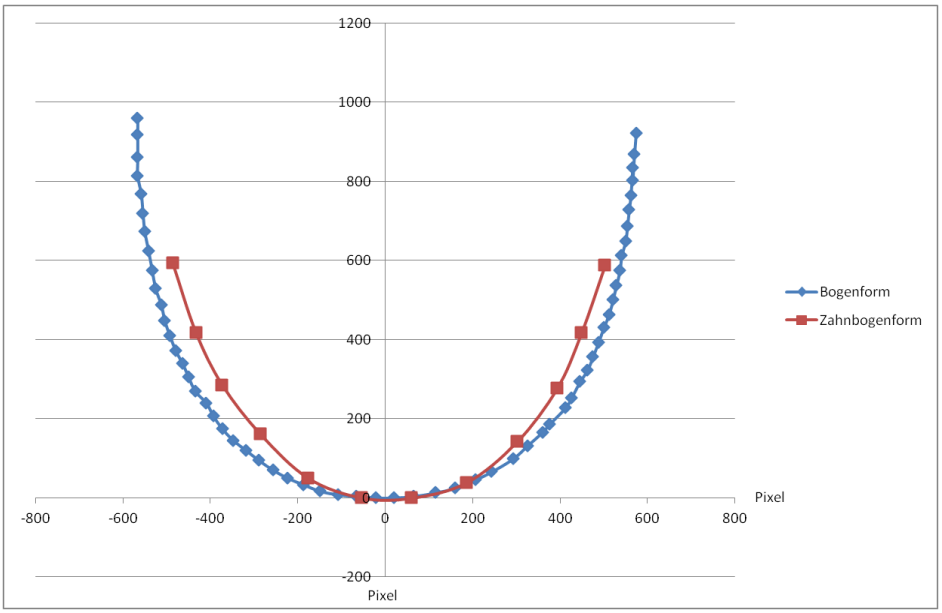

Abbildung 21: Überlagerung der OrthoForm II eckig mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507.

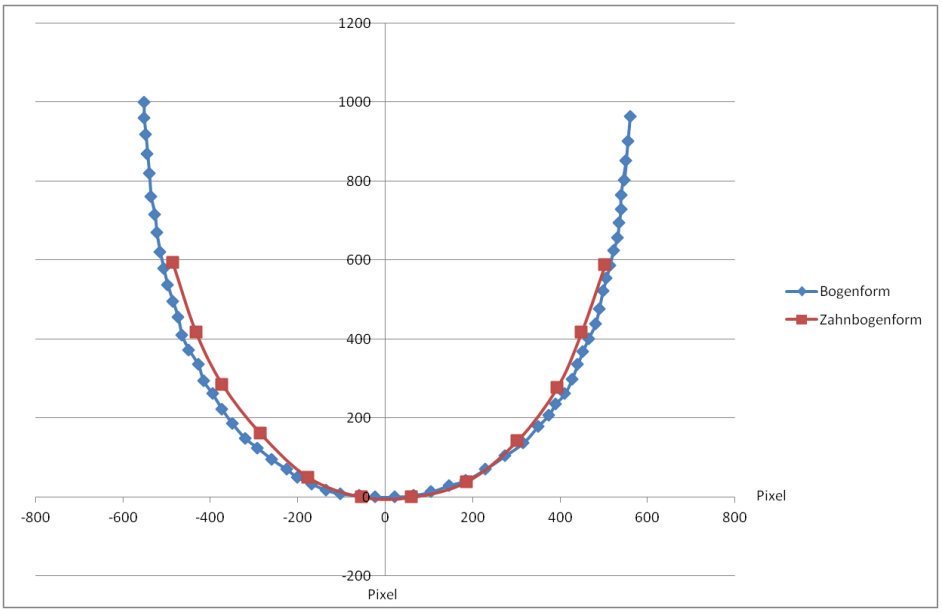

Abbildung 22: Überlagerung der OrthoForm III oval mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507.

Die Ergebnisse der Überlagerung der vier Bogenformen mit den 190 Zahnbogenformen wurden in einer Excel-Tabelle eingetragen und jedem der 190 Unterkiefermodelle wurde die ihr am besten passende Bogenform zugeordnet. Dann wurde die prozentuale Verteilung, mit der die vier untersuchten Bogenformen bei den 190 Unterkiefermodellen am besten passten, sowie die Verteilung der Bogenformen nach Geschlecht und Angle-Klassifikation bestimmt.

4.5 Manuelle Schablonen-basierte Ermittlung der Bogenform

Die zweite Methode zur Ermittlung der am besten passenden Bogenform wurde mit Hilfe von OrthoForm-Schablonen direkt an den Gipsmodellen durchgeführt. Der Hersteller bietet die Schablonen in transparent und nicht transparent an. Bei dieser Ermittlung wurden die transparenten OrthoForm-Schablonen verwendet. Auf jeder Schablone sind zwei Bögen angezeichnet, dabei ist die obere Bogenform für den Oberkiefer und die untere Bogenform für den Unterkiefer bestimmt. Die Ober- und Unterkieferbögen der einzelnen Schablonen haben die gleiche Form und unterscheiden sich lediglich in ihrer Skalierung. Auf jeder Schablone ist eine Mittellinie markiert, die als Hilfe bei der Ausrichtung der Schablone am Modell für die Orientierung der Kiefermitte dient. Die Mittellinie der Schablone soll in der Kiefermitte liegen und durch den Kontaktpunkt zwischen den mittleren Schneidezähnen laufen.

Die vier Schablonen wurden auf jedes Modell gelegt und die am besten passende Bogenform wurde per Augenmaß gemäß Hersteller [3] sowie McLaughlin, Bennett und Trevisi [3, 84] ermittelt. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Passung im anterioren Bereich von Zahn 34 und 44 gelegt.
Die Betrachtung und Beurteilung der Bogenform über dem Modell erfolgte bei senkrechter Betrachtung des waagerecht ausgerichteten Modells. Alle Ermittlungen der Bogenform wurden von derselben Person (N. K.) und unter den gleichen Bedingungen durchgeführt. Nach der „Best-fit"-Methode wurde eine Bogenform pro Unterkiefer ausgewählt. Die Mittellinie der Schablone wurde mittig auf das Modell zwischen die zentralen Unterkieferinsizivi positioniert. Dabei wurde die Bogenform mit Abstand zur bukkalen/labialen Zahnfläche platziert, so dass ihre Position dem tatsächlichen Verlauf des Drahtbogens entsprach, wenn man sich die Smartclip-Brackets dazu vorstellt.
Welche Bogenform für jeden Zahnbogen am besten passte, wurde ebenfalls in die Excel-Tabelle (vgl. 4.4.4) eingetragen, um schließlich die Ergebnisse beider Methoden miteinander zu vergleichen.

4.6 Messfehlerbestimmung

Zur Bestimmung der Fehlergröße beim Anpunkten der approximalen Kontakte wurde ein digitalisiertes Unterkiefermodellfoto erneut achtmal mittels ImageJ angepunktet und die Bogenform vom Rechner ausgerechnet. Als Modell wurde ein Unterkiefermodell zufällig ausgewählt, bei dem die Ergebnisse beider Methoden bei der ersten Auswertung nicht übereingestimmt hatten. Dies war das Modell mit der Nummer 4208. Für dieses Modell ergab die erste Auswertung nach der manuellen Methode die OrthoForm I spitz, hingegen ermittelte die computergestützte Methode die OrthoFom III oval. Tabelle 8 (Kapitel 5.4) zeigt die Ergebnisse der Abweichungssummen bei 9-facher Bestimmung am selben Modell.
Ferner wurden zur Bestimmung des Messfehlers bei der computergestützten Ermittlung neunzehn zufällig ausgewählte Unterkiefermodellfotos im Abstand von sechs Monaten ein zweites Mal angepunktet und vermessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 (Kapitel 5.4) dargestellt.

4.7 Statistische Auswertung

4.7.1 Berechnung von Kappa

Die ermittelten Ergebnisse der computergestützten sowie der manuellen Methode wurden durch die Promovendin auf Übereinstimmung geprüft. Anschließend wurde die Korrelation zwischen den beiden Ergebnissen durch die so genannte Kappa-Berechnung ermittelt.
Cohens Kappa ist ein statistisches Maß für die Interrater-Reliabilität von Einschätzungen zweier Beurteiler (Ratern), das auf Jacob Cohen 1960 [31] zurückführt.
Die Werte, deren Korrelation bestimmt werden soll, werden zunächst in eine Kontingenztafel eingetragen. Die Gleichung für Cohens Kappa lautet:

$$\kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

P_0: tatsächliche Übereinstimmung der beiden Schätzer
P_c: erwartete zufällige Übereinstimmung
Wenn die Rater in allen ihren Urteilen übereinstimmen, ist $\kappa = 1$ [31].

In einer Kontingenztafel (vgl. Kapitel 5.5, Tabelle 10) wurde die Häufigkeit dargestellt, mit der die einzelnen Bogenformen computergestützt bzw. manuell als am besten passend erkannt wurden. Die Übereinstimmungszahlen der Ergebnisse beider Methoden wurden in der Tabelle 10 grün hinterlegt. Dann wurde die Summe der tatsächlichen Übereinstimmungen (Ist-Wert) berechnet.
Im zweiten Schritt wurden für die einzelnen Bogenformen die erwarteten Übereinstimmungen nach folgender Formel berechnet:

$$\frac{\text{Summe CB} \times \text{Summe MB}}{\text{Gesamtsumme}}$$

Summe CB: Summe der computergestützten Berechnung
Summe MB: Summe der manuellen Ermittlung

Es wurden alle Werte nach dieser Formel berechnet und in Tabelle 11 (vgl. Kapitel 5.5) eingetragen. Im nächsten Schritt wurde die Summe der erwarteten Übereinstimmung (Erwarteter Wert) durch Addieren der Zahlen in den grünen Feldern aus der Tabelle 11 berechnet. Anschließend wurde Kappa berechnet, das Ergebnis ist im Kapitel 5.5 dargestellt.

4.8 Grafische Darstellung

Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden die Verteilungsergebnisse der OrthoForm-Typen nach computergestützter und manueller Methode, nach Geschlecht sowie nach Angle-Klassen mit Hilfe von Säulendiagrammen dargestellt. Die Abbildungen 23 bis 25 (Kapitel 5.1, 5.2 und 5.3) zeigen die ermittelten Ergebnisse im Vergleich.

5 Ergebnisse

5.1 Verteilung der Bogenformen

Sowohl bei der computergestützten als auch bei der manuellen Bestimmung der am besten passenden Bogenform erwies sich mit über 60 % die OrthoForm I spitz als Bogenform mit der geringsten Abweichung gegenüber der Zahnbogenform. Es folgen die OrthoForm III oval (31 % bzw. 37 %), die OrthoForm II eckig (1 %) und die OrthoForm LA (1 %) (Abbildung 23 und Tabelle 5).

	QT_c	$QT_{c\%}$	QT_m	$QT_{m\%}$
OrthoForm LA	2	1%	2	1%
OrthoForm I spitz	128	67%	115	61%
OrthoForm II eckig	2	1%	2	1%
OrthoForm III oval	58	31%	71	37%

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Bogenformen beider Methoden (QTc für computergestützt und QTm für manuell) absolut (QTc und QTm) und in Prozent (QTc% und QTm%).

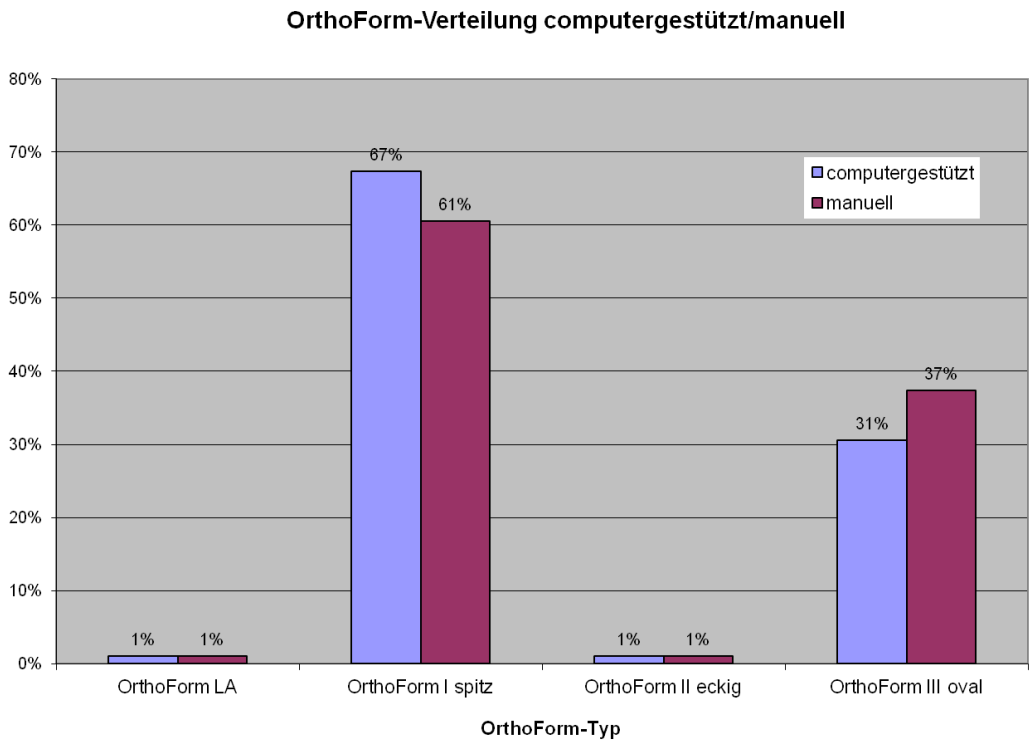

Abbildung 23: Verteilungsergebnisse der OrthoForm-Typen in Prozent nach computergestützter und manueller Methode.

5.2 Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse

Abbildung 24 und Tabelle 6 zeigen, dass kein deutlicher Zusammenhang zwischen Bogenform und Angle-Klassen besteht. Die OrthoForm I spitz passt bei 67 % bzw. 69 % am häufigsten bei den Angle Klassen I und II, gefolgt von der OrthoForm III oval mit 28 % bzw. 31 %.
Die OrthoForm II eckig und die OrthoForm LA passen bei allen Angle-Klassen sehr selten bis gar nicht 0 % bis 2 %. Bei der Angle-Klasse III kommen die OrthoForm I spitz und die Ortho-Form III oval fast gleich häufig vor. Für keinen der Angle-Klasse-III-Patienten passte eine OrthoForm II eckig bzw. eine OrthoForm LA.

	Angle-Klasse I	%	Angle-Klasse II	%	Angle-Klasse III	%
OrthoForm LA	0	*0*	2	*2*	0	*0*
OrthoForm I spitz	36	*67*	83	*69*	9	*56*
OrthoForm II eckig	1	*2*	1	*1*	0	*0*
OrthoForm III oval	17	*31*	34	*28*	7	*44*
Summe	**54**	***28,4***	**120**	***63,2***	**16**	***8,4***

Tabelle 6: Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse absolut und in Prozent.

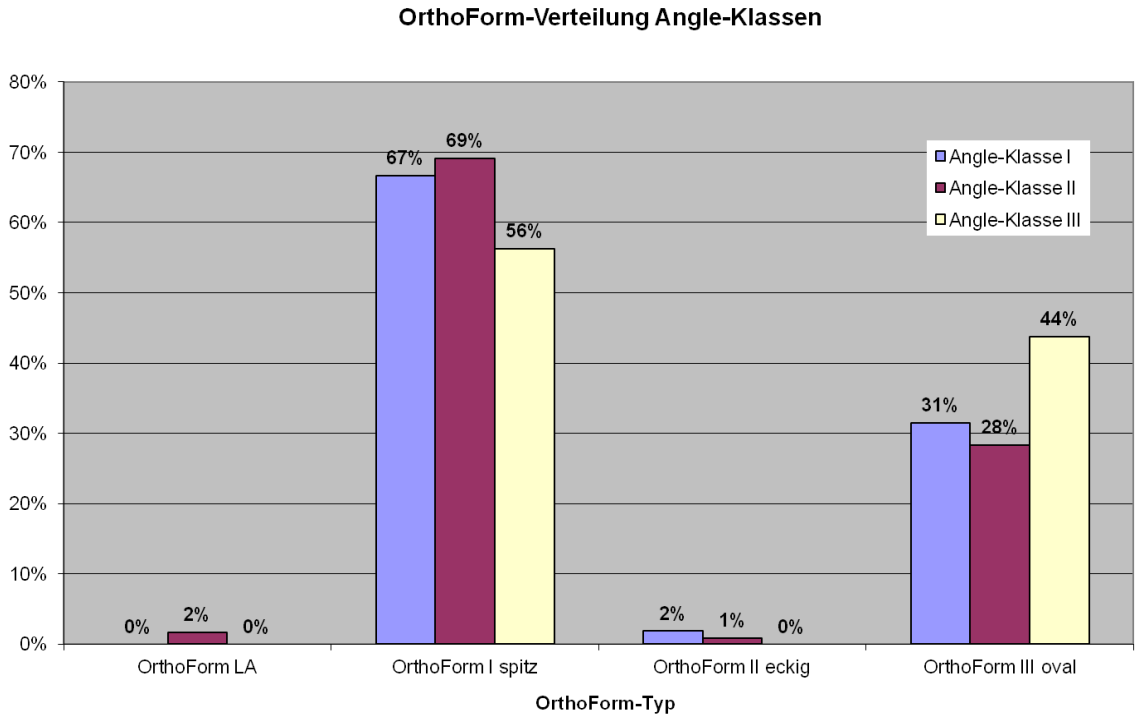

Abbildung 24: Verteilung der OrthoForm-Typen nach Angle-Klassen in Prozent.

5.3 Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit vom Geschlecht

Abbildung 25 und Tabelle 7 zeigen, dass eine starke Abhängigkeit der Verteilung der Bogenformen vom Geschlecht nicht festzustellen ist. Zwar passt OrthoForm I spitz beim weiblichen Geschlecht um 14 % häufiger als bei männliche Patienten und OrthoForm III oval passt um 12 % häufiger bei männlichen Patienten aber dennoch lässt sich aus dem Geschlecht nicht ableiten, welche Bogenform die geringsten Abweichungen von der individuellen Zahnbogenform aufweist.

	männlich	%	weiblich	%
OrthoForm LA	2	*2*	0	*0*
OrthoForm I spitz	50	*60*	78	*74*
OrthoForm II eckig	1	*1*	1	*1*
OrthoForm III oval	31	*37*	27	*25*
Summe	**84**	***44,2***	**106**	***55,8***

Tabelle 7: Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit vom Geschlecht absolut und in Prozent.

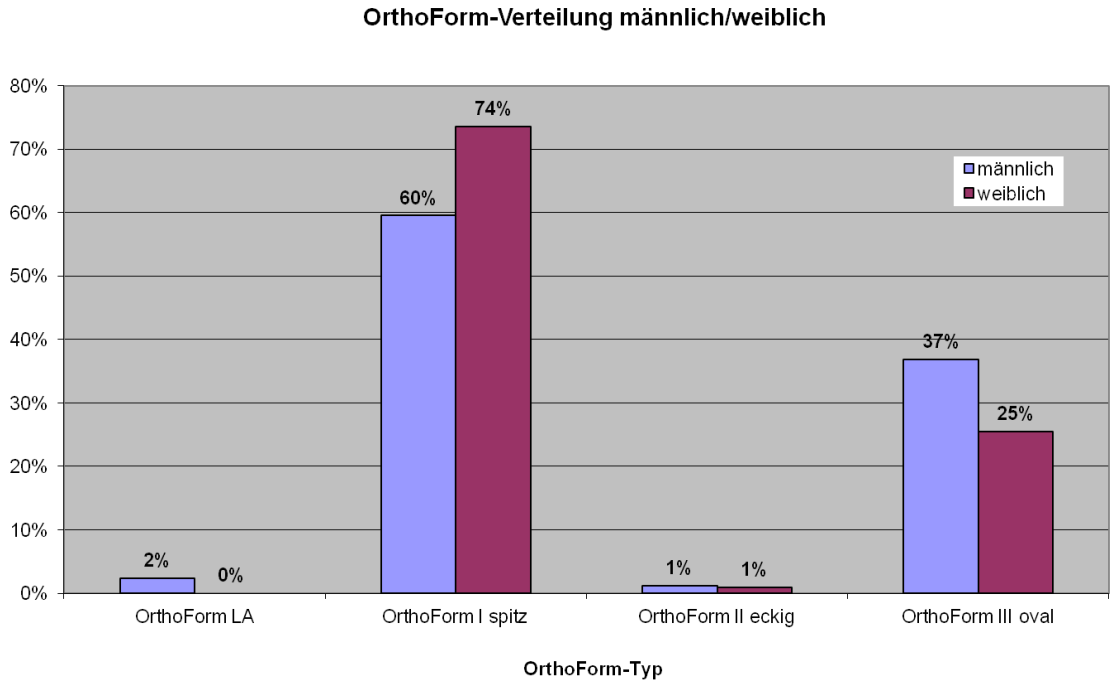

Abbildung 25: Verteilung der OrthoForm-Typen nach Geschlecht in Prozent.

5.4 Ergebnisse der Messfehlerbestimmung

Wie bereits in Kapitel 4.6 erwähnt, ergab für das Modell mit der Nummer 4208 die erste Auswertung nach der manuellen Methode die OrthoForm I spitz, hingegen ermittelte die computergestützte Methode die OrthoFom III oval. Das Unterkiefermodellfoto wurde erneut achtmal mittels ImageJ angepunktet. Als am besten passende Bogenform wurde jedes Mal OrthoForm III oval ermittelt. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Abweichungssummen bei 9-facher Bestimmung am selben Modell.

	Modellnummer	4208	4208	4208	4208	4208	4208	4208	4208	4208
	Wiederholungen	4208_0	4208_1	4208_2	4208_3	4208_4	4208_5	4208_6	4208_7	4208_8
A	OrthoForm LA	310	299	326	291	321	332	345	320	339
B	OrthoForm I spitz	234	205	223	205	233	218	236	220	198
C	OrthoForm II eckig	296	281	293	277	293	312	326	297	314
D	OrthoForm III oval	160	173	189	148	184	178	210	178	179
	Ermittelte Bogenform	D	D	D	D	D	D	D	D	D

Tabelle 8: Ergebnisse des wiederholten Anpunktens des Unterkiefermodellfotos mit der Nummer 4208. Die Spalte 4208_0 listet die Werte beim ersten Anpunkten auf. In den Spalten 4208_1 bis 4208_8 sind die Werte der jeweiligen Wiederholungen dargestellt. Die ermittelte Bogenform war stets OrthoForm III oval (D).

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der Abweichungssummen bei erneuten Anpunkten der neunzehn zufällig ausgewählten Unterkiefermodellfotos. Dabei zeigte keines der neunzehn geprüften Modelle eine perfekte Übereinstimmung mit der ursprünglichen Vermessung. Aber nur bei einem Modell führte dies zu einer Veränderung der als am besten passend erkannten Bogenform.

	A	B	C	D		A	B	C	D	
Modell-nummer	OrthoForm LA	OrthoForm I spitz	OrthoForm II eckig	OrthoForm III oval	1.ermittelte Bogenform	OrthoForm LA	OrthoForm I spitz	OrthoForm II eckig	OrthoForm III oval	2.ermittelte Bogenform
910	630	419	637	480	**B**	526	381	543	414	**B**
993	343	286	378	268	**D**	336	266	346	198	**D**
5507	415	185	405	243	**B**	277	192	271	203	**B**
6110	505	287	536	338	**B**	496	332	500	346	**B**
11405	356	206	366	197	**D**	464	298	472	313	**B**
12007	420	251	451	287	**B**	367	149	367	206	**B**
15706	216	260	223	142	**D**	296	221	303	181	**D**
16898	693	451	719	508	**B**	422	204	435	269	**B**
18203	532	294	529	347	**B**	361	260	335	239	**B**
18399	470	241	499	312	**B**	475	270	424	295	**B**
19205	483	321	518	351	**B**	356	182	398	218	**B**
20403	526	246	524	351	**B**	510	322	492	368	**B**
32007	366	291	334	244	**D**	295	212	308	142	**D**
43109	323	217	347	181	**D**	223	247	220	167	**D**
45009	448	211	469	271	**B**	478	257	477	295	**B**
47109	375	182	357	218	**B**	435	237	426	270	**B**
49408	349	234	362	204	**D**	263	229	217	145	**D**
55109	492	286	528	326	**B**	527	324	570	371	**B**
56009	432	399	439	426	**B**	498	300	546	366	**B**

Tabelle 9: Abweichungssummen von neunzehn zufällig ausgewählten Unterkiefermodellfotos zu den einzelnen Bogenformen. In der linken Tabellenhälfte befinden sich die Abweichungswerte des ersten Anpunktens, in der rechten die Abweichungswerte des zweiten Anpunktens. Bei Modellnummer 11405 (rot markiert) wurde beim ersten Durchgang OrthoForm III oval als die am besten passende Bogenform identifiziert, beim zweiten Vermessen war es OrthoForm I spitz.

Die Abbildungen 26 bis 29 zeigen die Überlagerungen der einzelnen Bogenformen und die Zahnbogenform der Modellnummer 11405 beim ersten und zweiten Anpunkten im Vergleich. Beim ersten Anpunkten wurde die OrthoForm III oval mittels der computergestützten Methode als am besten passend ermittelt. Beim zweiten Anpunkten wurde die OrthoForm I spitz mittels der computergestützten Methode ermittelt. Im Gegensatz dazu kam es beim zweiten Anpunkten der restlichen achtzehn Unterkiefermodelle trotz Abweichungen zu einer Überstimmung der ermittelten Bogenformen.

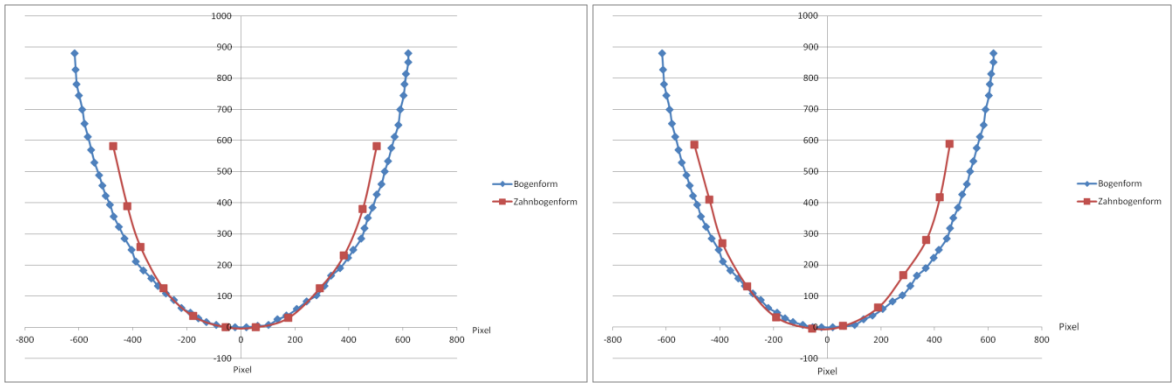

Abbildung 26: Überlagerung der OrthoForm LA und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405; links beim ersten Anpunkten und rechts beim zweiten Anpunkten.

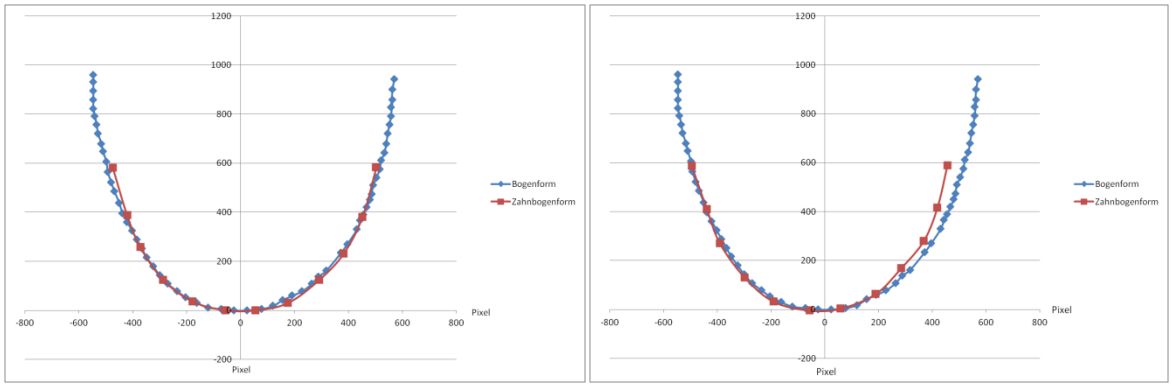

Abbildung 27: Überlagerung der OrthoForm I spitz und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405; links beim ersten Anpunkten und rechts beim zweiten Anpunkten.

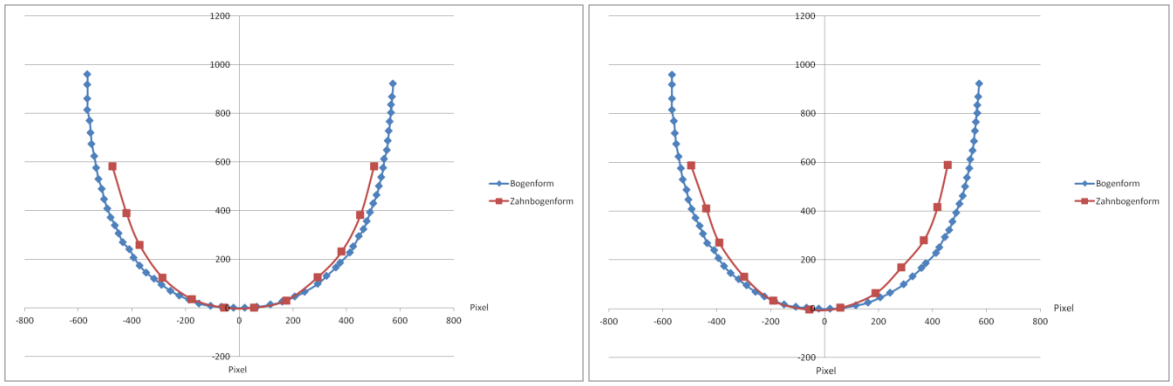

Abbildung 28: Überlagerung der OrthoForm II eckig und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405; links beim ersten Anpunkten und rechts beim zweiten Anpunkten.

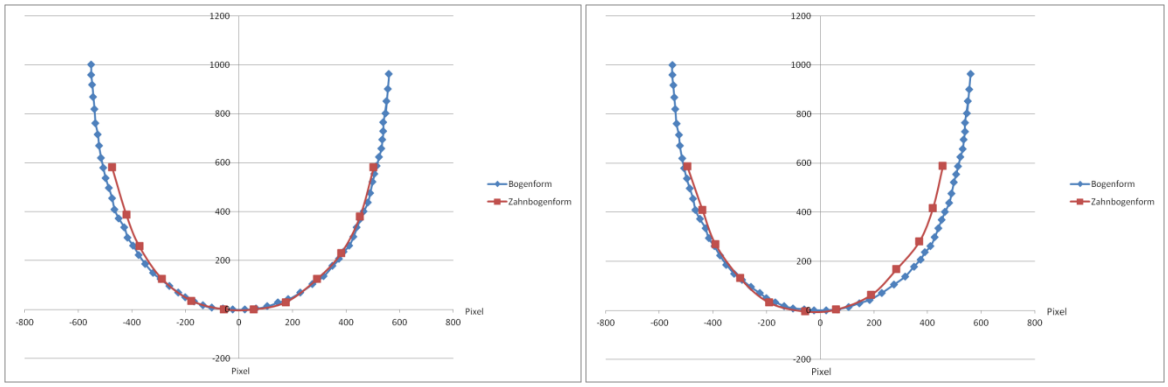

Abbildung 29: Überlagerung der OrthoForm III oval und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405; links beim ersten Anpunkten und rechts beim zweiten Anpunkten.

5.5 Ergebnis der Kappa-Berechnung

Tabelle 10 stellt die Ergebnisse der bei jedem Unterkiefermodell am besten passenden Bogenform in einer Kontingenztafel dar. Die Übereinstimmungszahlen sind in der Tabelle grün hinterlegt.

		Computergestützte Berechnung				**Summe ME**
		LA	**I spitz**	**II eckig**	**III oval**	
Manuelle Ermittlung	**LA**	2	0	0	0	**2**
	I spitz	0	112	0	3	**115**
	II eckig	0	1	1	0	**2**
	III oval	0	15	1	55	**71**
Summe CB		**2**	**128**	**2**	**58**	**190**

Tabelle 10: Kontingenztafel für Kappa-Berechnung. In dieser Tabelle wird die Häufigkeit dargestellt, mit der die einzelnen Bogenformen computergestützt bzw. manuell als am besten passend erkannt wurden. Die Übereinstimmungszahlen der Ergebnisse beider Methoden sind grün markiert. Die übrigen Zahlen geben an, wie häufig die Formen nicht übereinstimmten. In der letzten Zeile Summe CB steht die Häufigkeit einer Bogenform gemäß computergestützter Berechnung. In der letzten Spalte Summe ME steht die Häufigkeit einer Bogenform gemäß manueller Ermittlung.

Die Summe der tatsächlichen Übereinstimmungen beträgt:

2+112+1+55= 170 (Ist-Wert)

Im zweiten Schritt wurden wie bereits in Kapitel 4.7.1 erwähnt für die einzelnen Bogenformen

die erwarteten Übereinstimmungen nach folgender Formel berechnet und in Tabelle 11 eingetragen:

$$\frac{\text{Summe CB} \times \text{Summe MB}}{\text{Gesamtsumme}}$$

Als Beispiel der Übereinstimmung die Ergebnisse beider Methoden bei der OrthoForm LA:

$$\frac{2 \times 2}{190} = 0{,}021$$

		Computergestützte Berechnung				Summe ME
		LA	**I spitz**	**II eckig**	**III oval**	
Manuelle Ermittlung	**LA**	0,021	1,347	0,021	0,611	**2**
	I spitz	1,211	77,474	1,211	35,105	**115**
	II eckig	0,021	1,347	0,021	0,611	**2**
	III oval	0,747	47,832	0,747	21,674	**71**
Summe CB		**2**	**128**	**2**	**58**	**190**

Tabelle 11: Kappa-Berechnung: Erwartete Übereinstimmung. Die einzelnen Erwarteten Werte wurden nach der oben erwähnten Formel berechnet. Die Übereinstimmungszahlen wurden addiert, um den Erwarteten Wert zu ermitteln um danach den Kappa Wert berechnen zu können. Summe CB ist die Häufigkeit einer Bogenform nach der computergestützten Berechnung. Summe ME ist die Häufigkeit einer Bogenform nach der manuellen Ermittlung.

Im nächsten Schritt wurde die Summe der erwarteten Übereinstimmung durch Addieren der Zahlen in den grünen Feldern aus der Tabelle 11 berechnet:
0,021 + 77,474 + 0,021 + 21,674 = 99,19 (Erwarteter Wert)

Dann wurde Kappa berechnet:

$$\text{Kappa} = \frac{\text{Ist} - \text{Erwartet}}{\text{Gesamtanzahl} - \text{Erwartet}} = \frac{170 - 99{,}19}{190 - 99{,}19} = 0{,}779$$

5.6 Vergleich der Ergebnisse beider Methoden

Die Ergebnisse der computergestützten Schablonen-basierten Messung sowie der manuellen Schablonen-basierten Ermittlung zu der Bogenformverteilungshäufigkeit sind nahezu gleich (Abbildung 23 und Tabelle 5). Der Reliabilitätswert gemäß Kappa-Algorithmus beträgt Kappa = 0,78, was nach Landis und Koch [71] als eine beachtliche Übereinstimmung anzusehen ist. Trotzdem ergab die computergestützte Schablonen-basierte Berechnung bei 20 von 190 Modellen eine andere Zuteilung der Bogenform als die manuelle Schablonen-basierte Zuordnung. Dies macht ca. 11 % der gesamten Ergebnisse aus. Die computergestützten Schablonen-basierten Ergebnisse unterscheiden sich von manuellen Schablonen-basierten Resultaten vorwiegend bei der Entscheidung zwischen OrthoForm I spitz und OrthoForm III oval; dies war bei 18 von 20 Modellen der Fall, bei denen die beiden Methoden zu verschiedenen Bogenformen führten. Bei den restlichen zwei Modellen war die Nicht-Übereinstimmung der beiden Methoden zwischen OrthoForm I spitz und OrthoForm II eckig sowie zwischen OrthoForm II eckig und OrthoForm III oval.

Das Modell mit der Nummer 12589 ist ein Beispiel für ein nicht übereinstimmendes Ergebnis beider Methoden. Nach der computergestützten Schablonen-basierten Ermittlung war die OrthoForm III oval die festgestellte Bogenform für dieses Modell, wie die Abbildungen 30 bis 33 zeigen. Im Gegensatz dazu war nach der manuellen Schablonen-basierten Ermittlung die OrthoForm I spitz die festgestellte Bogenform für dieses Modell. Der Übergang von spitz zulaufender zu ovaler Form in der Zahnbogenform bei den 18 Modellen war sehr fließend bzw. diese Modelle konnten einer neuen Zwischenbogenform zugeordnet werden. Anhand des Beispiels in den Abbildungen 30 bis 33 ist dies deutlich zu sehen. Am Unterkiefermodell mit der Modellnummer 12589 betrug die berechnete Differenz der Abweichungssummen zwischen OrthoForm I spitz und OrthoForm III oval 15 Pixel, dies entspricht bei einer Bildschirmauflösung von 1024x768 Pixel 4,2 mm Summe der Abweichungen einer Bogenform (Abbildungen 31 und 33).

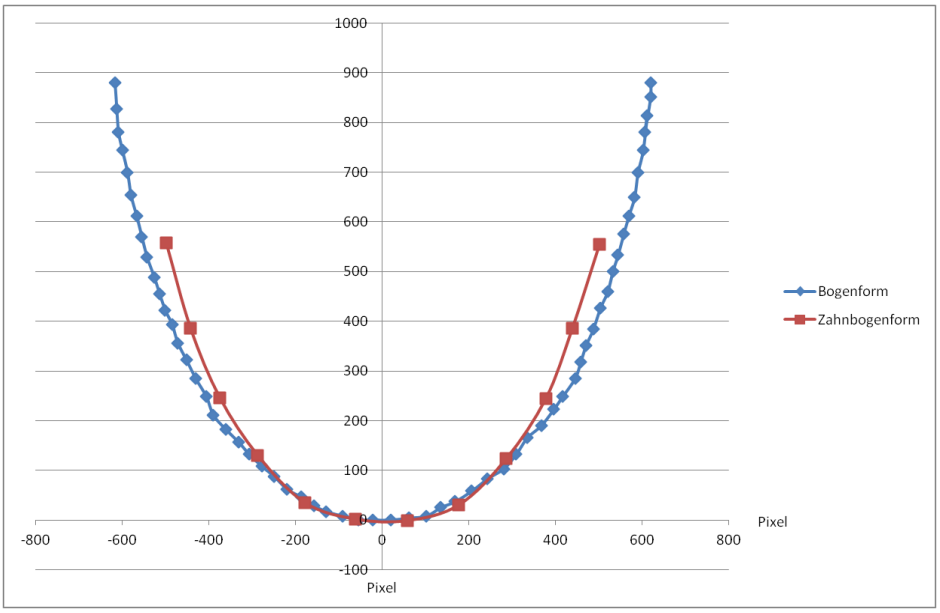

Abbildung 30: Überlagerung der OrthoForm LA und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859; geringe Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 329 Pixel.

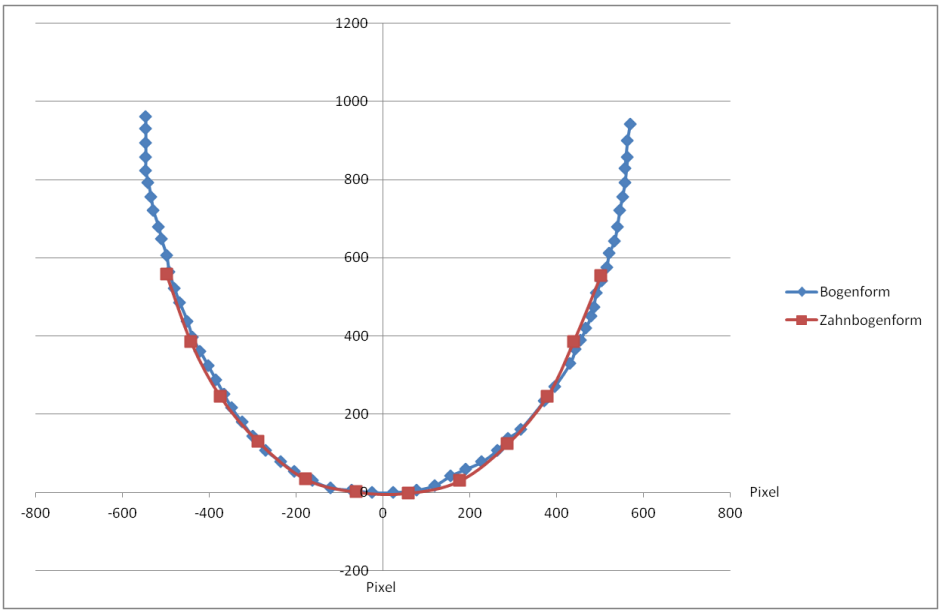

Abbildung 31: Überlagerung der OrthoForm I spitz und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859; hohe Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 182 Pixel.

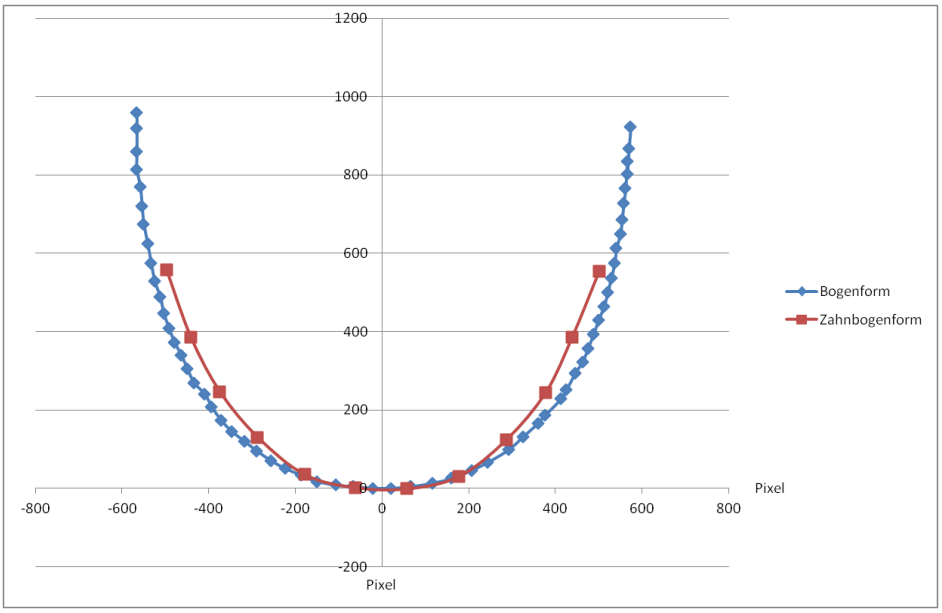

Abbildung 32: Überlagerung der OrthoForm II eckig und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859; geringe Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 331 Pixel.

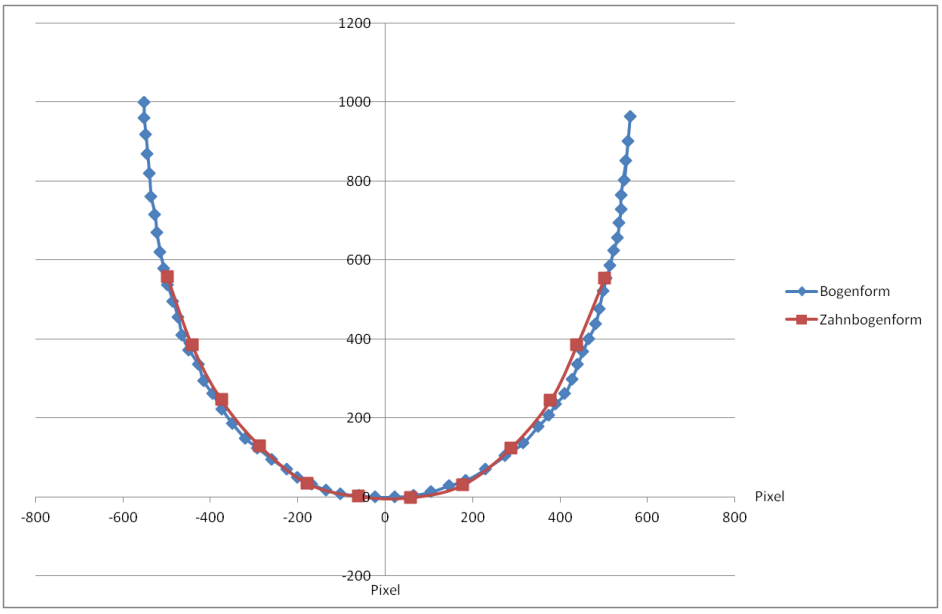

Abbildung 33: Überlagerung der OrthoForm III oval und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859; hohe Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 167 Pixel.

Diese Abweichung der Ergebnisse von 11 % lässt sich so erklären, dass unterschiedliche Varianten der menschlichen Zahnbogenform existieren, die sich nicht immer eindeutig zwischen „spitz zulaufend“, „oval“ und „eckig“ trennen lassen. Es bestehen weitere Formen dazwischen wie es

mehrere Studien beweisen [29, 43, 69, 91, 106, 109, 127]. Dies erklärt auch, warum sich nicht alle Kieferorthopäden bezüglich eines zu verwendenden Systems von Bogenformen einig sind, so dass es zahlreiche Bogenformen auf dem Markt gibt.

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Fragestellung

Durch die große Verbreitung superelastischer Bögen in den letzten Jahren [26] und das damit verbundene Risiko einer ungewollten Veränderung der ursprünglichen Bogenform [26] ist es umso wichtiger geworden, die am besten passende Bogenform entsprechend der prätherapeutischen Zahnbogenform des Patienten auszuwählen [37, 43]. Nur dadurch sind stabile Ergebnisse zu erreichen [43, 76].
Für eine lange Zeit in den 80er Jahren wurde die ovale Bogenform OrthoForm III oval am häufigsten im McLaughlin-Bennett-Trevisi System verwendet [20, 84]. Diese Form passte bei den meisten Patienten, dennoch gab es bei einem Teil der Patienten eine Überexpansion der Zahnbogen oder eine zusätzliche Expansion wäre notwendig gewesen. Nach aktuellen Untersuchungen [16, 53, 69, 91, 94] zur Bestimmung der Häufigkeit des Vorkommens einer Zahnbogenform sollte vermehrt die spitz zulaufende Bogenform OrthoForm I spitz eingesetzt werden. Die Autoren zeigten, dass die OrthoForm I spitz sowie die OrthoForm III oval am häufigsten bei weißen Nordamerikanern, Ägyptern, Israelis und Türken vorkommen (Tabelle 12). Dagegen ist bei den Koreanern und Japaneren die OrthoForm II eckig am häufigsten vorkommend. Die vorliegende Untersuchung sollte zeigen, wie oft die einzelnen OrthoForm-Bögen bei einer Berliner Klientel von Kaukasiern am besten passen.

6.2 Auswahl der Modelle

In dieser Studie wurde die Bogenform des Unterkiefers und nicht die Bogenform des Oberkiefers untersucht, weil der Erhalt der interkaninen Distanz im Unterkiefer ein wesentliches Element ist, um stabile kieferorthopädische Ergebnisse zu erzielen [111]. Daher ist Zielwert für die Sollbreite des Oberkiefers die Ist-Breite des Unterkiefers [14, 54]. Das heißt, wir orientieren uns bei der Behandlung am Unterkiefer, da die therapeutischen Möglichkeiten im Unterkiefer begrenzter sind als im Oberkiefer. Dennoch bestehen natürlich Ausnahmen von dieser Regel. Liegt zum Beispiel die Ursache der Bissfehlstellung im Unterkiefer, dann kann eine chirurgisch unterstützte Erweiterung des Unterkiefers die Therapie der Wahl sein. Dabei ändert sich die interkanine Distanz und ggf. die Bogenform natürlich deutlich, liegt aber aufgrund der chirurgischen Therapie außerhalb der Grenzen der konventionellen Kieferorthopädie [38, 79].

Die vorliegende Studie untersuchte 190 Unterkiefermodelle deutscher Patienten aus einer Berliner Praxis (54 Klasse I, 120 Klasse II, 16 Klasse III). Diese Anzahl ist vergleichbar mit der Anzahl der untersuchten Modelle in ähnlichen Studien, wobei die Verteilung der Angle-Klassen deutlich unterschiedlich ist [16, 53, 69, 91]. In der Studie von Nojima et al. [91] wurden 160 Unterkiefermodelle kaukasischer Patienten (60 Klasse I, 50 Klasse II, 50 Klasse III) mit 160 Unterkiefermodellen japanischer Patienten (60 Klasse I, 50 Klasse II, 50 Klasse III) verglichen. Auch in der Studie von Kook et al. [69] wurden 160 Unterkiefermodelle weißer amerikanischer Patienten (60 Klasse I, 50 Klasse II, 50 Klasse III) mit 368 Unterkiefermodellen koreanischer Patienten (114 Klasse I, 119 Klasse II, 135 Klasse III) verglichen. In einer weiteren Studie von Gafni et al. [53] wurden 160 Unterkiefermodelle weißer amerikanischer Patienten (60 Klasse I, 50 Klasse II, 50 Klasse III) mit 134 Unterkiefermodellen israelischer Patienten (40 Klasse I, 61 Klasse II, 33 Klasse III) verglichen. Weiter haben Bayome et al. [16] in ihrer Studie 92 Unterkiefermodelle weißer Patienten (37 Klasse I, 29 Klasse II, 26 Klasse III) 94 Unterkiefermodellen ägyptischer Patienten (35 Klasse I, 32 Klasse II, 27 Klasse III) gegenüber gestellt.

In dem Zusammenhang tritt aus der Statistik der Begriff Konfidenzintervall (auch Vertrauensbereich genannt) auf. Nach Schmidt-Atzert et al. [119] beschreibt dieser die Präzision der Lageschätzung eines Parameters, zum Beispiel die eines Mittelwertes. Der Vertrauensbereich schließt mit einer zuvor festgelegten Wahrscheinlichkeit (dem Konfidenzniveau), der einen Bereich um den geschätzten Wert des Parameters die wahre Lage des Parameters beinhaltet. Ein Vorteil des Konfidenzintervalls gegenüber der Punktschätzung eines Parameters sehen die Autoren darin, dass dieser die Signifikanz direkt widerspiegelt. Ein für ein vorgegebenes Konfidenzniveau breiter Vertrauensbereich weist auf einen zu geringen Stichprobenumfang oder eine starke Variabilität in der Realität hin [119]. Ebenso beschreibt Rumsey [117] in ihrem Buch, dass, je größer eine Stichprobe ist, desto schmaler die Fehlergrenze und das Konfidenzintervall ist. Dies gilt, wenn alle anderen Faktoren gleich bleiben und die Qualität der Daten hoch ist. Das heißt nach der Autorin jedoch nicht, dass die Stichprobengröße stark erhöht werden soll, weil irgendwann ein Punkt erreicht wird, an dem Kosten und Aufwand den Nutzen überwiegen. Somit hängt die Genauigkeit nicht nur von der Stichprobengröße sondern auch von der Qualität der Daten ab. Denn eine große Stichprobe mit einem starken systematischen Fehler hat zwar möglicherweise ein schmales Konfidenzintervall, ist jedoch sinnlos.

In der vorliegende Studie würde sich die Konfidenzzahl signifikant erst ab einer Zahl von 1000 ändern [40]. So eine große Anzahl an Modellen mit den spezifischen Kriterien zu finden, hätte den Rahmen dieser Studie gesprengt und es ist fraglich, ob sie neue Erkenntnisse mit sich gebracht hätte. Dies kann aus den wissenschaftlichen Tabellen Geigy Teil 1 Statistik (herausgege-

ben von Ciba Geigy Basel) unter exakten Vertrauensgrenzen für p (Binomialverteilung) herausgelesen werden [63, 72].
Zu den notwendigen Einschlusskriterien zählte unter anderem, dass die Patienten kaukasischer Abstammung sein mussten. Dies war wichtig, da wie bereits in Abschnitt 6.1 erwähnt, bei jeder ethnischen Gruppe eine bestimmte Bogenform dominiert. Da die vorliegende Arbeit Hinweise für die Bevorratung mit Bögen in Berliner kieferorthopädischen Praxen geben sollte, war es wichtig, Modelle einer repräsentativen Stichprobe, das sind Kaukasier, zu untersuchen.
Um die ursprüngliche Zahnbogenform korrekt zu bestimmen, gehörte weiterhin zu den Einschlusskriterien, dass die Patienten keine kieferorthopädische Therapie hatten, keine Zahnbogenlängendiskrepanz größer als 3 mm sowie keine Formanomalien der Zähne und keine zahnärztliche Versorgung der Schneidekanten und Approximalflächen aufwiesen. Diese Faktoren können die Zahnbogenform beeinflussen und demzufolge zu einer fehlerhaften Zuordnung der Bogenform führen, was sich auf die Ergebnisse der Bogenformverteilung auswirken würde.

6.3 Auswahl der 3M Unitek Bogenformen und Brackets

Für die Beurteilung der Zahnbogenform wurden in dieser Studie das OrthoForm-Bogensystem und die Smartclip-Brackets der Firma 3M Unitek verwendet. Dies hatte drei Hauptgründe.
Erstens ist das Ziel dieser Studie, die Zahnbogenformen im bleibenden Gebiss junger Berliner mit den Formen konfektionierter Bögen nach McLaughlin, Bennett und Trevisi zu vergleichen. Diese konfektionierten Bögen werden von der Firma 3M Unitek angeboten, deshalb wurden sie für diese Studie ausgewählt.
Zweitens finden die Bögen der Firma 3M Unitek in vielen Praxen Verwendung. Dabei ist es wichtig, möglichst viel über die Produkte mit denen man täglich arbeitet, zu wissen.
Drittens ist dadurch ein Vergleich der Ergebnisse mit ähnlichen Studien [16, 53, 69, 91, 94] möglich, die das gleiche Bogenformsystem in ihren Untersuchungen verwendet haben.
Für eine genaue Ermittlung der Bogenform ist es wichtig, die Bracketdicke zu berücksichtigen [26]. Bezüglich der Brackets wurden in dieser Studie die Maße der Smartclip-Brackets verwendet, da diese Brackets oft zusammen mit diesen Bögen eingesetzt werden.
Die Ergebnisse gelten somit speziell für die Smartclip-Brackets, denn die In-Out-Werte aller 3M Unitek Brackets sind nicht gleich. Ob die Ergebnisse auf andere 3M Brackets übertragbar sind, hängt von dem Unterschied zwischen den In-Out-Bracketwerten ab. Bei zwölf verschiedenen 3M Brackets schwanken zum Beispiel die In-Out-Wert für ein Unterkiefer-Schneidezahnbracket

zwischen 0,99 mm (Clarity-High-Torque Bracket) und 1,63 mm (Victory Bracket mit vertikalem Slot). Das bedeutet einen Unterschied von maximal 0,64 mm.
Zu bedenken ist noch, dass ein Draht nicht durch den ermittelten Bracketschlitzpunkte läuft, sondern diesen nur tangential berüht. Das hat zur Folge, dass ein Draht geringfügig größer sein muss als die ermittelte Zahnbogenform. Dies dürfte allerdings keine entscheidende Rolle für die Bestimmung der Bogenform spielen, denn die Form bleibt trotz des geringen Größenunterschieds die gleiche.
Ein weiterer Punkt, der zu beachten ist, ist die mögliche Abweichung der individuellen Zahnform von der durchschnittlichen Kronenprominenz nach Andrews [11]. Zwar sind Modelle mit Größen- und Formanomalien der Zähne bei der Auswahl Kriterien ausgeschlossen worden, jedoch bleibt ein minimaler Unterschied zu der individuellen Kronenprominenz einzelner Zähne.

6.4 Datenerhebung und -auswertung

Zwei Methoden wurden für die Bestimmung der Bogenformen angewandt. Die erste Methode ist für Kieferorthopäden die gängige. Sie wird in dieser Studie als die manuelle Schablonen-basierte Ermittlung bezeichnet. Durch das Auflegen einer Bogenformschablone auf ein Modell kann die Entscheidung bezüglich der geeigneten Bogenform direkt ermittelt werden [84]. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Passung im anterioren Bereich gelegt. Denn wie schon zuvor erwähnt, unterscheiden sich die OrthoForm-Schablonen hauptsächlich im Eckzahnbereich [84]. Zusätzlich ist eine Änderung im Molarenbereich weitgehend stabil, hingegen nimmt die Stabilität nach mesial bis zu den Eckzähnen mehr und mehr ab [18, 54]. Gardner et al. [54] haben in einer Studie anhand von 103 Modellen die Stabilität der Zähne im Unterkiefer nach einer kieferorthopädischen Behandlung untersucht. Sie haben die interkanine Distanz, die intererstenprämolaren Distanz, die interzweitenprämolaren Distanz, die intererstenmolaren Distanz und die insizivimolaren Distanz im Unterkiefer vor- und nach Behandlung sowie nach der Retention gemessen. Es wurde durch die kieferorthopädische Behandlung eine Zunahme der interkaninen Distanz und eine starke Abnahme nach Retentionszeit in Richtung der prätherapeutischen Breite festgestellt. Hingegen zeigte die intererstenprämolare Distanz eine minimale Abnahme nach der Retentionszeit. Ebenfalls zeigte die interzweitenprämolare Distanz eine sehr geringe Abnahme nach der Retentionszeit. Bei der intererstenmolaren Distanz wurden keine Änderungen nach der Retentionszeit festgestellt.
Die zweite Methode ist die indirekte Ermittlung der Bogenform mittels eines Computer-Programms, in dieser Studie als computergestützte Schablonen-basierte Ermittlung der Bogen-

form bezeichnet. Hierzu wurden die Modelle sowie die Bogenformschablonen digital fotografiert und die Bogenform durch die Computerprogramme ImageJ und Microsoft Excel bestimmt, indem die Abweichungssumme in der X- und Y-Richtung zwischen der jeweiligen Bogenform und Zahnbogenform berechnet wurde. Die Bogenform mit der geringsten Abweichungssumme wurde als die Bogenform für die Zahnbogenform festgelegt. Hier ist das genaue Anpunkten der Approximalkontakte mittels ImageJ am Monitor von entscheidender Bedeutung. Dabei spielt das menschliche Auge und die Wahrnehmung beim Anpunkten eine wichtige Rolle. Schon eine geringe Abweichung bei der Positionierung bzw. beim Definieren eines Kontaktpunktes am Unterkiefermodell würde eine andere Abweichungssumme liefern. Die Folge wäre eine unpassende Bogenformauswahl. Dies ist anhand der Abbildungen 26 bis 29 gut zu erkennen. Alternativ wäre ein 3D-Scan der Modelle und dessen Analyse mit entsprechender Software genauer [107]. Dies ist in Relation auf das kieferorthopädische Ergebnis zu betrachten, hierbei soll das Aufwand-Nutzen-Verhältnis gerecht sein.

Das genaue Anpunkten der Approximalkontakte ist bei kritischen Zahnbogenformen, die genau zwischen zwei Bogenformen liegen, wichtig. So kam es bei 20 Unterkiefermodellen zu keiner Übereinstimmung der ermittelten Bogenform. Es war bemerkenswert, dass von 18 der 20 Unterkiefermodelle es speziell bei der Bestimmung zwischen der OrthoForm I spitz und der OrthoForm III oval zu unterschiedlichen Ergebnissen beider Methoden kam. Möglicherweise war es zu erwarten, dass sich bei der OrthoForm I spitz und der OrthoForm III oval Unterschiede bei der Bestimmung der Zahnbogenform ergeben können [84], da die nächste annähernde Form zur OrthoForm I spitz die OrthoForm III oval ist, dies ist bei der Überlagerung der OrthoForm-Schablonen zu erkennen [84]. Es ist denkbar, dass die Werte der berechneten Zahnbogenform genau zwischen diesen beiden Bogenformen lagen. Der berechnete Unterschied bei der computergestützten Schablonen-basierten Messung zwischen OrthoForm I spitz und OrthoForm III oval bei diesen 18 nicht übereinstimmenden Modellen war sehr gering. Die Frage die sich hier stellt ist, ob in dem Fall beide Bogenformen einzusetzen korrekt wäre und ob sich dies signifikant auf die ursprüngliche Zahnbogenform auswirken würde. Um diese Frage zu beantworten, sind weitere Untersuchungen notwendig. Um die ursprüngliche Zahnbogenform zu erhalten, ist eine Anpassung der Bogenform zu der jeweilige Zahnbogenform erforderlich. Denn es wird danach gestrebt, die ursprüngliche Zahnbogenform und die ursprünglichen interkanine Distanz für ein stabiles kieferorthopädisches Ergebnis beizubehalten [21, 37, 54].

Es sei darauf hingewiesen, dass die computergestützte Schablonen-basierte Methode diejenige Bogenform unter allen Bogenformen bestimmt, die die geringste Abweichungssumme aufweist, dies bedeutet jedoch nicht, dass diese auch gut passt. Eine Möglichkeit, um die Passgenauigkeit

zu bestimmen, könnte beispielweise die Definition eines Grenzwertes sein, der die Abstände in Pixel absolut quantifiziert und bewertet. Nach einem Vergleich der gesamten Abweichungsergebnisse der ermittelten Bogenformen mit deren Überlagerungen auf der jeweiligen Zahnbogenform im Koordinatensystem konnte eine Quantifizierung bezüglich gut passend definiert werden. Eine Bogenform bis zu einer Abweichungensumme von 200 Pixel wurde von der Promovendin als gut passend definiert. Bis zu diesem Grenzwert ist die Überlagerung einer Bogenform auf eine Zahnbogenform kongruent. Dagegen wiesen Bogenformen mit Abweichungssummen über 200 Pixel keine gute Passgenauigkeit auf (Abbildungen 30 bis 33). Dadurch kann auch bespielsweise verhindert werden, dass OrthoForm I spitz trotz schlechter Passgenauigkeit als passende Form für einen Zahnbogenform gilt. Denn die OrthoForm I spitz weist zwar am häufigsten die geringsten Abweichungen gegenüber der Zahnbogenform auf, das heisst aber nicht, dass sie wirklich gut passt. Die Abbildungen 34 bis 37 zeigen eine schlechte Passgenauigkeit der Bogenformen an dem Unterkiefermodell mit der Nummer 2106. Die geringste Abweichungssumme ergab 433 Pixel bei der OrthoForm I spitz. Dementsprechend wurde die OrthoForm I spitz für dieses Modell als die am besten passende Form - im Vergleich zu den anderen drei OrthoFormen - ermittelt.

Bei der Fragestellung geht es in dieser Studie um die Verteilung der OrthoFormen in einer Praxis mit kaukasischer Klientel. Es wird nicht darauf eingegangen, wie gut beziehungsweise wie schlecht die Bogenformen an individuellen Zahnbogenformen passen. Es wird auch nicht bestimmt, bei wie vielen der untersuchten Unterkiefermodelle keine der OrthoFormen hinreichend genau passt. Dies wurde auch bei vergleichbaren Studien [16, 53, 69, 91, 94] nicht untersucht.

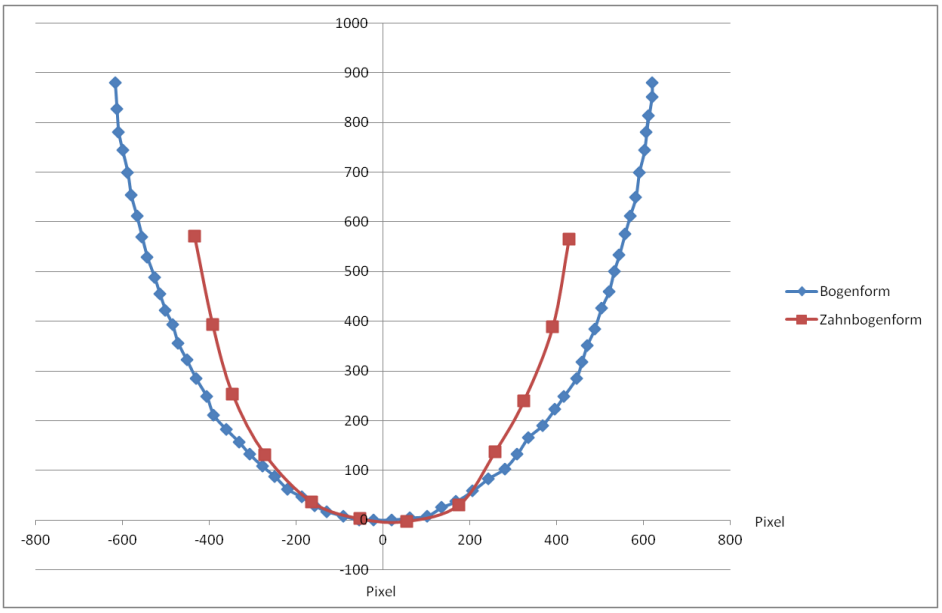

Abbildung 34: Überlagerung der OrthoForm LA mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106; schlechte Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 634 Pixel.

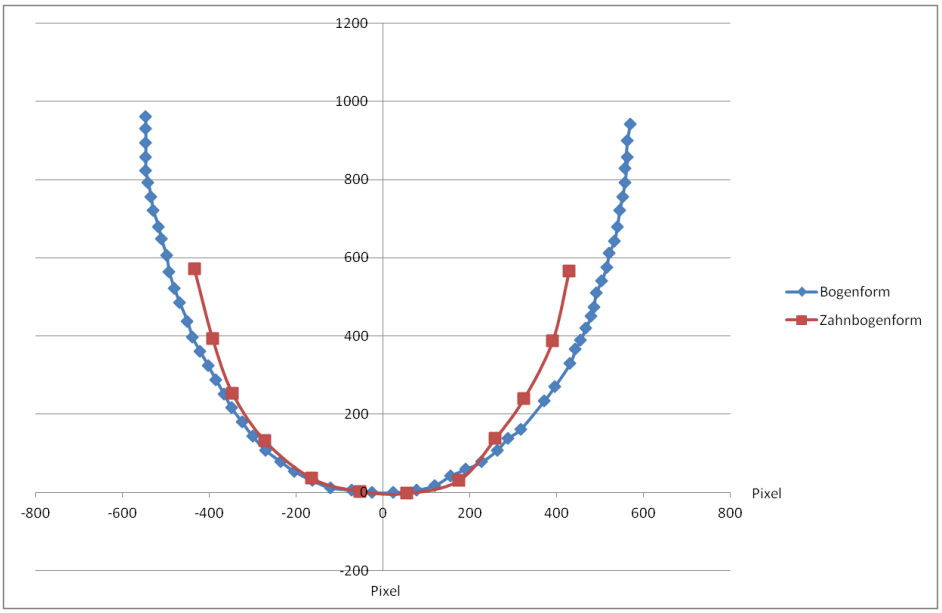

Abbildung 35: Überlagerung der OrthoForm I spitz mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106; schlechte Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 433 Pixel.

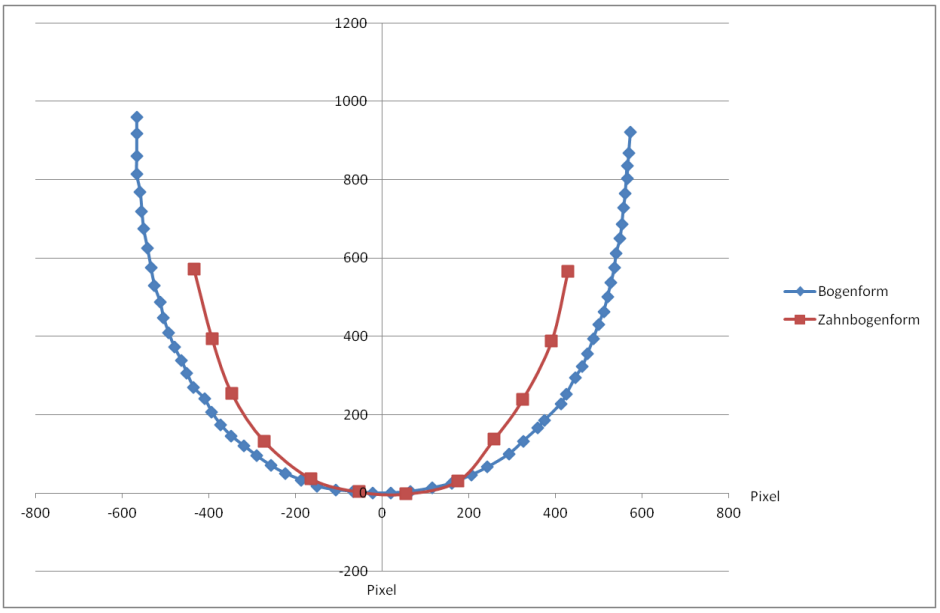

Abbildung 36: Überlagerung der OrthoForm II eckig mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106; schlechte Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 679 Pixel.

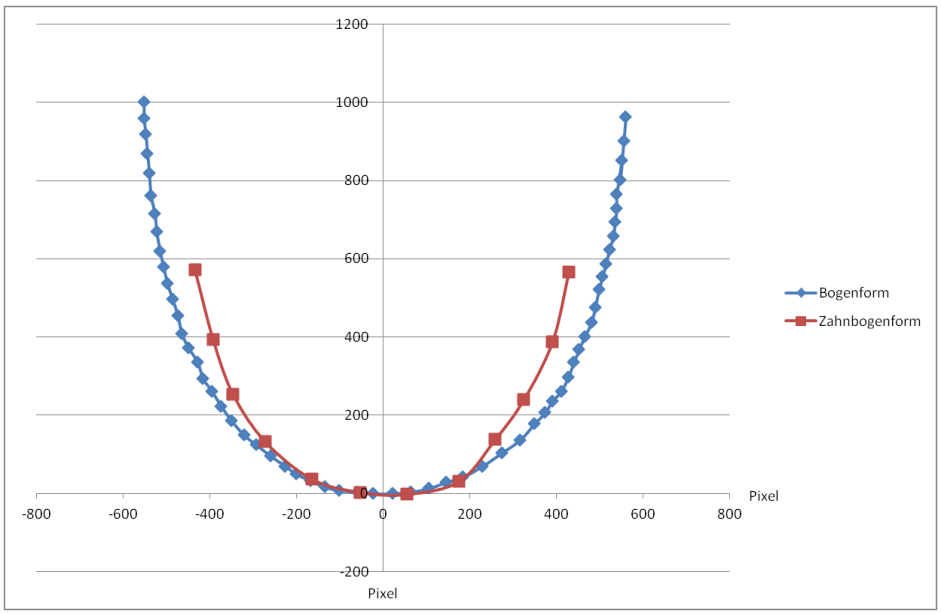

Abbildung 37: Überlagerung der OrthoForm III oval mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106; schlechte Passgenauigkeit. Die berechnete Abweichung beträgt hier 473 Pixel.

Das ist nicht nur bei der computergestützten Schablonen-basierten Methode kritisch zu betrachten sondern auch bei der manuellen Schablonen-basierten Methode. Hier stößt man auf dasselbe Problem, und die Entscheidung bei einigen Modellen für eine Bogenform ist die Wahl des klei-

neren Übels. Dies ist wahrscheinlich auf die Entscheidung zwischen nur vier Bogenformen zurückzuführen. Es bestehen verschiedene Zahnbogenformen, die meisten stimmen gut mit einer der vier OrthoFormen überein. Aber es wird immer wieder Zahnbogenformen geben, die sich nicht genau einer bestimmten Bogenform zuordnen lassen [43]. Dies erklärt auch die Vielfalt verschiedener Bogenformsysteme in der Literatur und auf dem Markt [1, 2, 5-10, 25, 33, 34, 39, 47, 48, 51, 52, 60, 80, 81, 95-98, 100, 101, 110, 112, 113, 123]. Die Bogenform soll als eine grobe Einteilung gesehen werden und das Individualisieren der Bogenform bleibt die sicherste Maßnahme zum Erhalt der prätherapeutischen Zahnbogenform [43].
Ein weiterer möglicher Grund, der zur Nicht-Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden führen kann, ist die Bewertung einer Zahnbogenform, bei der eine Bogenform eigentlich perfekt passt, aber bei einem Zahn eine deutliche Abweichung besteht. Nach der manuellen Schablonenbasierten Methode wird die Bogenform mit Vernachlässigung des einen abweichenden Zahnes bewertet. Nach der computergestützten Schablonen-basierten Methode wird nach dem geringsten Abweichungsabstand entschieden. Dies kann dazu führen, dass die computergestützte Schablonen-basierte Methode eine andere unpassende OrthoFrom als die manuelle Schablonen-basierte Methode ergibt. In dem Fall ist das ermittelte Ergebnis der manuellen Schablonen-basierten Methode das richtige Ergebnis. Dies kann als Schwachpunkt der computergestützten Schablonenbasierten Methode angesehen werden.

6.5 Vergleich der beiden untersuchten Methoden zum Bestimmen der am besten passenden Bogenform

Beide Verfahren basieren auf dem Bogensystem OrthoForm, das heisst, sie unterscheiden sich lediglich dadurch, dass bei der computergestützten Ermittlung ein Programm die geringste Abweichung zu jeder der vier Bogenformen berechnet und dann die am besten passende Bogenform bestimmt, während bei der manuellen Ermittlung das menschliche Augenmaß über die am besten passende Bogenform entscheidet.
Für jeden Zahnbogen wurden bei dem computergestützten Vorgehen in eine Excel-Tabelle vier Werte eingetragen, einer für jede OrthoForm-Schablone. Diese Werte sind die Summen der Abweichungen zwischen Bracketschlitzpunkten (siehe Kapitel 4.4.2) der jeweiligen Zahnbogenform zu den vier OrthoForm-Schablonen. Aus diesen vier Werten bestimmte Excel für welche OrthoForm die Abweichungssumme am kleinsten war und legte diese als die passendste Form fest. In eine zusätzliche Zeile wurden die per Augenmaß ermittelten Bogenformen eingetragen. Dann wurde die Korrelation (Cohens Kappa [31]) zwischen beiden Ergebnissen ermittelt.

Cohens Kappa ist ein statistisches Maß für die Interrater-Reliabilität von Einschätzungen zweier Beurteiler (Rater). Es kann aber auch für die Intrarater-Reliabiliät verwendet werden, zum Beispiel wenn ein und derselbe Beobachter zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten die gleiche Messmethode anwendet [58].
Greve und Wentura berichten von verschiedenen Einschätzungen hinsichtlich des κ-Wertes. Als Resümee lässt sich festhalten, dass κ-Werte von 0,40 bis 0,60 grenzwertig, aber im Hinblick auf Übereinstimmung gerade noch akzeptabel sind. Werte unter 0,40 sollten jedoch mit Skepsis betrachtet werden. Interrater-Reliabilitätswerte von $\kappa \geq 0{,}75$ werten die Autoren als gut bis ausgezeichnet.
In Anlehnung an Landis und Koch [71] werden die Ergebnisse im Weiteren wie folgt klassifiziert:
$\kappa \leq 0$ = schlechte Übereinstimmung (poor agreement)
κ 0 bis 0,20 = etwas (slight) Übereinstimmung
κ 0,21 bis 0,40 = ausreichende (fair) Übereinstimmung
κ 0,41 bis 0,60 = mäßige (moderate) Übereinstimmung
κ 0,61 bis 0,80 = gute (substantial) Übereinstimmung
κ 0,81 bis 1,00 = sehr gute ((almost) perfect) Übereinstimmung

Die Ergebnisse der computergestützten Schablonen-basierten Messung und der manuellen Schablonen-basierten Ermittlung haben eine gute Übereinstimmung (Kappa beträgt 0,78). Daraus ist abzuleiten, dass die manuelle Schablonen-basierte Ermittlung aussagekräftig und für den kieferorthopädischen Alltag ausreichend ist.
In den Studien von Bayome et al. [16] und Olmez et al. [94] wurde anhand von 30 Modellen von jeder ethnischen Gruppe eine erneute Bogenformermittlung durch eine zweite Person - zur Kappa Bestimmung - durchgeführt. Kappa ergab eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Beurteiler.

6.6 Modellvermessungen

In einer Studie von Bayome et al. [16] wurden anhand von 94 Unterkiefermodellen ägyptischer Patienten und 92 Unterkiefermodellen nordamerikanischer Patienten die Bogenformen verglichen. Die Studienmethode beinhaltete das Einscannen der okklusalen Flächen der Unterkiefermodelle. Danach wurden mit einer Software auf den fotografierten Unterkiefermodellen je 13 Approximalkontakte von distal des Zahnes 36 bis distal des Zahnes 46 markiert und anschlie-

ßend 12 Bracketschlitzpunkte ermittelt. Die 12 Bracketschlitzpunkte wurden ausgedruckt und mittels der OrthoForm-Schablonen wurde für jedes Unterkiefermodell von einem Kieferorthopäden jeweils eine Bogenform zugeordnet. Die gleiche Vorgehensweise wurde in den Studien von Gafni et al. [53], Kook et al. [69] sowie Nojima et al. [91] angewendet. Bei diesen Studien wurden verschiedene Patientengruppen unterschiedlicher ethnischer Herkunft untersucht.
Im Vergleich zu der vorliegenden Studie wurde zusätzlich mit einer computergestützten Schablonen-basierten Messung die Bogenform ermittelt. Dabei wurden alle Schritte zur Ermittlung der Bogenform vom Computer berechnet, mit der Ausnahme des Anpunktens der Approximalkontakte. Dies wurde durch die Promovendin durchgeführt. Bei diesem Schritt kann sich ein Methodenfehler einschleichen. Das gilt auch für die oben erwähnten Studien, denn sobald ein Punkt fälschlicherweise von dem Approximalpunkt abweicht, macht sich dieser in der Zahnbogenform bemerkbar und es kann dadurch zu einer anderen Bogenformzuordnung kommen, was wiederum in einer Nicht-Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden resultieren kann. Weitere Faktoren die zu einem ungenauen Anpunkten führen können und demzufolge zu einem Messfehler sind beispielweise Fehler beim Fotografieren (Verwacklungen, unpassende Einstellung des Objektivs, ungünstige Lichtverhältnisse) und Fehler bei der Herstellung der Modelle (verzogene Alginatabformung, minderwertige Gipsqualität). Diese Faktoren wurden in der vorliegenden Studie bei der Material und Methode berücksichtig (siehe Kapitel 4.2 und 4.4.1).
In der vorliegenden Studie wurden zur Bestimmung des Messfehlers (Reproduzierbarkeit bei wiederholter Ermittlung der Bogenform) bei der computergestützten Ermittlung neunzehn zufällig ausgewählte Unterkiefermodellfotos erneut angepunktet. Bei einem Unterkiefermodell kam es zu keiner Übereinstimmung der Ergebnisse (siehe Tabelle 9).
Um möglichst genau zu sein, wurde bei der digitalen Nachzeichnung der Bogenformen auf den digitalisierten Fotos der einzelnen OrthoForm-Schablonen entlang ihres gesamten Verlaufs möglichst eine Reihe von vielen Punkten angepunktet. Somit wurde jede Bogenform einmal mit 60 Punkten entlang ihres Verlaufs nachgezeichnet. Die geradlinige Verbindung dieser dicht hintereinander stehenden Punkte ergab in Excel wieder die jeweilige Bogenform. Je mehr Punkte für die Nachzeichung der Bogenform stehen, umso kurzer sind die Strecken zwischen den jeweiligen Punkten und damit ist eine akkuratere Bogenformübertragung in Excel möglich.

6.7 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass in einer Berliner Praxis mit kaukasischer Klientel die OrthoForm I spitz am häufigsten zu verwenden ist, gefolgt von der OrthoForm III oval. Dagegen kommen OrthoForm II eckig sowie OrthoForm LA in einer Praxis mit kaukasischer Klientel selten vor. Das deckt sich recht gut mit den Resultaten des kaukasischen Untersuchungsklientels von Nojima et al. [91]. Auch bei nordamerikanischen Patientengruppen wurden die gleichen Resultate bei der Verteilung der Bogenformen festgestellt [53, 69]. Eine weitere Studie zeigte die gleiche Verteilung der Bogenformen in einer türkischen Patientengruppe [94].
Dennoch ist dieses Häufigkeitsverhältnis der Bogenformen abhängig von der ethnischen Herkunft der behandelten Patienten [29, 32, 91, 92] und setzt sich zum Beispiel in einer Praxis in Japan anders zusammen (Tabelle 12). Das zeigte die Untersuchung von Nojima et al. [91] beim Vergleich der Verteilung der Bogenformen zwischen Kaukasiern und Japanern. Dabei war bei der japanischen Patientengruppe die OrthoForm II eckig die häufigste Bogenform und die OrthoForm I spitz war die seltenste passende Bogenform.
In einer weiteren Untersuchung der Verteilung der Bogenformen zwischen Koreanern und Nordamerikanern von Kook et al. [69] wurde bei den Koreanern eine ähnliche Verteilung festgestellt wie bei den Japanern in der Untersuchung von Nojima et al. [91].
Eine aktuelle Studie von Bayome et al. [16], in der die Verteilung der Bogenformen zwischen Ägyptern und Nordamerikanern verglichen wurde, zeigte, dass die häufigste Bogenform bei einer ägyptischen Patientengruppe die OrthoForm III oval ist, gefolgt von OrthoForm II eckig und OrthoForm I spitz mit fast gleichen Prozentanteilen.
Auch bei einer israelischen Patientengruppe war die OrthoForm III oval die am häufigsten passende Bogenform [53].

Studie	Ethnische Gruppe	OrthoForm			
		LA	I spitz	II eckig	III oval
Bayome et al. [16]	Ägypter n=94	-	30,0 %	31,0 %	39,0 %
	Nordamerikaner n=92	-	37,0 %	21,0 %	42,0 %
Gafni et al. [53]	Israelis n=134	-	32,1 %	17,2 %	50,7 %
	Nordamerikaner n=160	-	43,8 %	18,1 %	38,1 %
Kook et al. [69]	Koreaner n=368	-	18,8 %	46,7 %	34,5 %
	Nordamerikaner n=160	-	43,8 %	18,1 %	38,1 %
Nojima et al. [91]	Kaukasier n=160	-	43,8 %	18,1 %	38,1 %
	Japaner n=160	-	11,9 %	45,6 %	42,5 %
Olmez et al. [94]	Türken n=600	-	62,5 %	10,2 %	27,3 %
Eigene Studie	Berliner n=190	1%	61,0 %	1,0 %	37,0 %

Tabelle 12: Überblick zur Häufigkeitsverteilung der OrthoForm-Bogenformen in verschiedenen ethnischen Gruppen. Grün markiert sind die am häufigsten passenden OrthoFormen in dem jeweiligen Untersuchungsgut. Die OrthoForm LA wurde in anderen Studien nicht untersucht, da diese Form der OrthoForm I spitz entspricht (siehe auch Kapitel 4.3) und sich lediglich in der Größe und nicht in der Form unterscheidet. In dieser Studie wurde sie trotzdem untersucht, da Bögen der OrthoForm LA vom Hersteller 3M Unitek angeboten werden. Die Häufigkeitsverteilung der Bogenformen ist in Prozent angegeben und n entspricht der Anzahl der untersuchten Patienten jeder ethnischen Gruppe.

Die Verteilung der Bogenformen zeigte in der vorliegenden Studie keine starke Abhängigkeit von der Angle-Klasse und vom Geschlecht (Abbildungen 24 und 25). Somit ist bei allen Angle-Klassen und bei beiden Geschlechtern die OrthoForm I spitz am häufigsten aufgetreten, gefolgt von der OrthoForm III oval. Die OrthoForm II eckig und OrthoForm LA kamen sehr selten bis gar nicht vor.

In Bezug auf eine Abhängigkeit der Bogenformverteilung von den Angle-Klassen haben Felton et al. [43] Angle-Klasse-I- und Angle-Klasse-II-Patienten untersucht und fanden in ihrer Studie keine Abhängigkeit der Bogenformverteilung von den beiden Angle-Klassen. Olmez et al. [94] haben trotz der ähnlichen Bogenformverteilung zwischen den Angle-Klassen in ihre Patientengruppen - nämlich OrthoForm I spitz gefolgt von OrthoForm III oval und OrthoForm II eckig - festgestellt, dass die OrthoForm II eckig beim Vergleich der drei Angle-Klassen am häufigsten bei den Angle-Klasse-III-Patienten vorkommt. Weitere Studien [16, 53, 69, 91, 94] haben ebenso festgestellt, dass die OrthoForm II eckig am häufigsten bei den Angle-Klasse-III-Patienten passt. In der vorliegenden Studie kommt dagegen beim Vergleich der drei Angle-Klassen die OrthoForm II eckig am häufigsten bei den Angle-Klasse-I-Patienten vor (Abbildung 24). Die Bogenformverteilung bei allen Angle-Klassen-Patienten stimmt jedoch mit den Ergebnissen von Olmez et al. [94] überein.
In Bezug auf eine Abhängigkeit der Bogenformverteilung vom Geschlecht sind Collins et al. [32], Ferrario et al. [44] und Bayome et al. [16] in ihren Studien zu dem Ergebniss gekommen, dass, obwohl Männer eine größere Zahnbogenform als Frauen aufweisen, es jedoch keinen geschlechtsspezifischen Unterschied bei der Bogenformverteilung gibt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stimmen mit diesen Erkenntissen überein.

6.8 Empfehlungen zur Bogenwahl

Wie bereits in Abschnitt 6.4 erwähnt, kam es in dieser Studie bei 11 % der Ergebnisse beider Methoden zu einer Nicht-Übereinstimmung der ermittelten Bogenform. Die Zahnbogenformen dieser Unterkiefermodelle ließen sich nicht eindeutig einer OrthoForm zuordnen. Deshalb kam es bei der computergestützten Schablonen-basierten und der manuellen Schablonen-basierten Ermittlung zu unterschiedlichen Zuordnungen der Bogenform. Daraus kann man schlussfolgern, dass die OrthoFormen nicht für jede Zahnbogenform geeignet sind [127]. Allerdings passen sie bei den meisten Zahnbogenformen, bei 89 % der untersuchten Unterkiefermodelle kam es zu einer Übereinstimmung beider Methoden und zu einer eindeutigen Zuordnung einer Bogenform. Das OrthoForm-System soll eine Vereinfachung und Verallgemeinerung darstellen und es wird immer wieder Zahnbogenformen geben, die sich nicht in die OrthoForm-Bogenformen einordnen lassen. Ein Individualisieren der Bögen bleibt daher ein wichtiger Aspekt zum Erhalt der prätherapeutischen Zahnbogenform und kann durch die vorgefertigten OrthoForm-Bögen nicht vollständig ersetzt werden [49].

McLaughlin et al. empfahlen 2001 für die ersten Behandlungsphasen die ovale Bogenform [82]. In diesem Artikel vertraten die Autoren die Auffassung, dass es akzeptabel sei, dünne Nivellierungsdrähte mit rundem Querschnitt lediglich in ovaler Form vorrätig zu haben, da die ersten Nivellierungsbögen die Zahnbogenform kaum veränderten [84].
Sie empfehlen auch, sich in späteren Behandlungsphasen bei jedem Patienten an der individuellen Bogenform zu orientieren [104]. Denn sobald die Zähne nivelliert seien und es zu einem Wechsel auf stärkere Bögen komme, beeinflussten die Drähte zunehmend die Form des Zahnbogens [84].
In den 80er Jahren wurde die ovale Form von McLaughlin, Bennett und Trevisi bevorzugt verwendet und passte bei Behandlungen mit deren vorprogrammierter Apparatur [84] zu einem hohen Prozentsatz am besten. Dennoch wurde bei einem Teil der Patienten eine Überexpansion der Zahnbögen festgestellt oder eine zusätzliche Expansion war notwendig [82].
In den 90er Jahren kam es zu einer Neubewertung und fortan beurteilten McLaughlin, Bennett und Trevisi die Verwendung spitz zulaufender Bogenformen bei Kaukasiern und Nordamerikanern als günstig, bei Koreanern und Japanern mehr die eckige Variante [69, 91].
Gegenwärtig lautet die Empfehlung von McLaughlin, Bennett und Trevisi, eine individuelle Bogenform für jeden Patienten auf der Grundlage des ovalen, spitz zulaufenden oder eckigen Typs herzustellen [82, 84].
Die Autoren [84] empfehlen die Bogenform zu Beginn der Behandlung mittels durchsichtiger Schablonen zu bestimmen. Die Schablonen werden auf das Unterkiefermodell gelegt und sollen zeigen, ob eine spitz zulaufende, eckige oder ovale Bogenform vorliegt. Unabhängig davon ist der erste Bogen (15 coaxial oder 16 „heat-activated nickel titanium“-Draht) ein ovaler Standardbogen.
Mit dem Fortschritt des Nivellierens (16, 18 und 20 Stahlbögen) ist bei Patienten mit spitz zulaufenden oder eckigen Zahnbogenformen eine Bogenadaptation an die vorher mittels der Schablonen ermittelte Form erforderlich.
Dieses Anpassen ist dagegen bei rechteckigen „heat-activated nickel titanium“-Bögen mit rechteckigem Querschnitt nicht möglich [82]. Deshalb ist es sinnvoll, sie als spitz zulaufende, eckige und ovale Variante vorrätig zu haben.
Rechteckige 19 x 25 Stahlbögen haben große Auswirkungen auf den Zahnbogen und müssen daher an die individuelle Bogenform des Patienten - basierend auf der initialen Unterkieferzahnbogenform - angepasst werden. Daraufhin wird ein dazu koordinierter Bogendraht für den Oberkiefer, der zirkulär 3 mm breiter ist, hergestellt. Dabei wird der individualisierte Unterkieferbogen auf eine Fläche gelegt und der erstellte Oberkieferbogen darüber. Der Verlauf der beiden

Bögen soll parallel zueinander sein und der Abstand zwischen ihnen soll gleich sein. Der Abstand zwischen Oberkiefer- und Unterkieferbogen kann mit einem Lineal gemessen werden [84]. Dies entspricht dem Übergreifen der Oberkieferdentition über die untere Zahnreihe und gewährleistet bei den meisten Patienten eine regelrechte Koordination der Zahnbögen.
Bei der Betrachtung anderer Bogenformsysteme wie beispielweise des Bonwill-Hawley-Bogenformsystems [24], das von mehreren Herstellen in einer Form angeboten wird oder des Brader-Bogenformsystems, das stets dieselbe Form hat und sich lediglich in der Größe unterscheidet [25], ist eine Übereinstimmung dieser Bogenformsysteme bei allen Zahnbogenformen nicht realistisch [42].
Auch beim auf Ricketts zurückgehenden Bogenformsystem Penta-Morphic Arch System, das aus fünf Bogenformen besteht und sich teilweise mit den Bogenformen von McLaughlin, Bennett und Trevisi überschneidet, können nicht alle Zahnbogenformen zugeordnet werden [42, 62]. Hierbei ist interessant zu wissen, dass ursprünglich in einer Untersuchung der Foundation for Orthodontic Research zwölf Bögen ermittelt wurden, die dann später auf neun und schließlich auf fünf Bögen reduziert wurden [42, 110].
Die Vielfalt der Bogensysteme beruht auf dem Vorhandensein verschiedener Zahnbogenformen. Die meisten Zahnbogenformen lassen sich zwar den erwähnten Bogensystemen zuordnen, aber eben nicht alle [43]. Deshalb ist eine Anpassung der vorgefertigten Bögen verschiedener Bogensysteme an die individuelle Zahnbogenform oftmals notwendig. Dies ist die sichere Vorgehensweise zum Erhalt der prätherapeutischen Zahnbogenform [37, 43].
Andrews und Andrews [12, 13] haben vorgeschlagen, eine anatomische Referenz als Hilfe zum Ermitteln der individuellen Bogenform zu nutzen, die so genannte WALA ridge. WALA ist die Abkürzung für, Will Andrews und Lawrence Andrews. Die WALA ridge ist nach Andrews und Andrews definiert als ein Weichgewebestreifen direkt oberhalb der mukogingivalen Grenze im Unterkiefer. Dieser befindet sich in Höhe bzw. in unmittelbarer Nähe der Linie, die durch das Rotationszentrum der Zähne läuft und ist speziell für den Unterkiefer [36].
Ronay et al. [115] haben 2008 die „WALA ridge Methode“ zur Bestimmung der Bogenform angewendet und empfohlen. Sie haben in ihrer Studie einen Zusammenhang zwischen der Zahnbogenform und dem darunter liegenden Alveolarknochen beschrieben. Ziel der Studie war es festzustellen, ob sich die Zahnbogenform von dem umgebenden vestibulären Alveolarknochen ableiten lässt. Dafür wurden an 35 Unterkiefermodellen bei jedem Zahn (von Zahn 36 bis Zahn 46) jeweils zwei Punkte markiert. Der erste Punkt lag im Bereich des prominentesten Teils der vestibulären Kronenfläche, den von Andrews so genannten FA-Punkt. Die Abkürzung FA steht für facial axis of the clinical crown. Der FA-Punkt ist nach Andrews definiert als ein Punkt auf

der vestibulären Achse der klinischen Krone, der die gingivale Hälfte der klinischen Krone von der okklusalen Hälfte trennt. Die Verbindungslinie aller FA-Punkte von Zahn 36 bis Zahn 46 bildet die so genannte „FA-Kurve“.
Der zweite Punkt lag auf der vestibulären Achse des jeweiligen Zahnes, kaudal des FA-Punktes im Bereich der mukogingivalen Grenze des jeweiligen Zahnes, dem von Andrews definierten WALA-Punkt. Die Verbindungslinie dieser Punkte von Zahn 36 bis Zahn 46 wurde als „WALA-Kurve“ genannt.
Bei der Überlagerung von FA- und WALA-Kurve war die Übereinstimmung beider Kurvenformen hoch signifikant und verleitete Ronay et al. dazu, die Zahnbogenform von der WALA ridge abzuleiten. Sie haben dies als eine zuverlässige Methode zur Individualisierung der Bogenform empfohlen. Mehrere weitere Studien [15, 36, 57, 131] fanden ebenfalls eine hohe Übereinstimmung zwischen der Zahnbogenform (Verbindung der FA-Punkte) und der Bogenform des Basalknochens (Verbindung der WALA-Punkte).

6.9 Evaluierung der Entscheidung von Kliniker bei der Auswahl der Bögen

Mittlerweile ist den meisten Klinikern bekannt, dass der Erhalt der prätherapeutischen Bogenform wichtig ist [106, 111, 120]. Deshalb bemühen sich viele Behandler/-innen, die passende Bogenform auszusuchen [16, 36, 53, 69, 91, 131]. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sie dadurch die richtige Bogenform und Bogengröße wählen. Das wurde in einer aktuellen Studie von McNamara et al. [86] untersucht. Ein Fragebogen wurde von 100 Kieferorthopäden aus unterschiedlichen Zahnkliniken und Privatpraxen beantwortet. Der Fragebogen teilte sich in zwei Teile auf. Der erste Teil beschäftigte sich mit der Bogenauswahl in der Nivellierungsphase und der zweite Teil mit der Bogenauswahl in der Kontraktionsphase.
Die Ergebnisse zeigten einerseits, dass die Mehrheit der Behandler den Erhalt der prätherapeutischen Bogenform essentiell findet, jedoch wurden die Bögen erst in der Spätphase der Behandlung und nicht schon in der Initialphase individuell angepasst. Aus vielen Studien geht klar hervor, dass der Erhalt der interkaninen Distanz wichtig ist [21, 27, 28, 37, 54, 73, 120]. Trotz dieses Wissens differierte das Vorgehen bei der Bestimmung der Bogenform zwischen den befragten Praktikern. Ein Teil der Befragten benutzte die diagnostischen Anfangsmodelle zur Bestimmung der individuellen Zahnbogenform, andere verwendeten Bogenformschablonen und diese wiederum wurden sehr unterschiedlich angewandt. So wurden mal die Inzisalkanten oder die Bukkalflächen der Zähne als Orientierungspunkte gewählt, bei anderen dagegen die imaginäre Bracketposition. Es gab keine einheitlichen Orientierungspunkte unter

den Praktikern was die Positionierung der Bogenformschablonen bei der Bestimmung einer Bogenform angeht. An dieser Stelle ist der Vorteil der computergestützten Schablonen-basierten Methode aus der vorliegenden Studie zu sehen. Bei dieser Methode sind einheitliche Orientierungspunkte festgegeben und die Abstände zwischen Zahnbogenformpunkten und den jeweiligen Bogenformpunkten werden genau ausgerechnet. Die Studie von McNamara et al. [86] zeigt ferner, dass in der Nivellierungsphase am häufigsten Nickel-Titan-Bögen verwendet werden.
Eine darauf folgende Studie von McNamara und Mitarbeitern [87] hat das praktische Umsetzen des Erhaltes der prätherapeutischen Bogenform durch Praktiker untersucht. Es wurde festgestellt, dass dies trotz des Bemühens der Behandler zum Erhalt der prätherapeutischen Bogenform oft nicht gelingt.
In einer Studie aus dem Jahr 1999 überschritten die Nickel-Titan-Bögen verschiedener Hersteller die mandibuläre interkanine Distanz durchschnittlich um 5,95 mm [26]. Durch zu breite Nivellierungsbögen entstehen in der Frühphase der Behandlung überexpandierte Zahnbögen [17, 26]. Dies birgt die Gefahr einer Änderung der ursprünglichen Zahnbogenform, was wiederum das Rezidivrisiko erhöht [54, 56, 64, 65, 67, 73, 74]. Sofern man nach dem Nivellieren zur ursprünglichen Zahnbogenform zurückkehrt sind die Zähne einem „round tripping“ ausgesetzt [132], was wiederum die Gefahr von Wurzelresorptionen und Schädigungen des umgebenden Gewebes mit sich bringt [70, 126]. Ferner verlängert sich die Behandlungszeit unnötig.
Deshalb sollten Nickel-Titan-Bögen in der Form der menschlichen Zahnbogenformen angeboten werden und die richtige Form sollte gleich am Anfang der Therapie individuell bestimmt und fortan angewendet werden.
Ursprünglich wurde die Original-Form der Bögen der Straight-Wire-Apparatur in den U.S.A. von Andrews [11] anhand der Zahnbogenformen von 120 kieferorthopädisch unbehandelten Patienten mit neutraler Okklusion bestimmt. Die meisten vorgeformten Drahtbögen wurden in den U.S.A. produziert und weltweit verkauft [16, 42, 43, 93]. Erst später wurde in mehreren Studien [16, 42, 53, 69, 91, 93, 94] nach der häufigsten Bogenform sowie dem Verteilungsverhältnis der Bogenformen in verschiedenen ethnischen Gruppe gesucht.
In einer Studie von Oda et al. [93] wurden 20 verschiedene vorgeformte Nickel-Titan-Bögen untersucht und mit 30 Unterkiefermodellen japanischer kieferorthopädisch unbehandelter Patienten (bleibendes Gebiss, Angle-Klasse I, minimale Bogenlängendiskrepanz, keine Restaurationen) verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die vorgeformten Bögen etwas enger ausfallen als die Zahnbögen der Patienten. Die Autoren forderten deshalb, dass die Bögen im Eckzahnbereich 1-3 mm und im Molarenbereich 2-5 mm breiter hergestellt werden sollten. Die Autoren sahen die Ursache darin, dass die meisten vorgeformten Bögen eine Nachahmung der Roth-Bogenform

sind, die in den 70er Jahren primär für Extraktionspatienten geschaffen wurden [116]. Die Autoren weisen darauf hin, dass die Ergebnisse nicht nur für Nickel-Titan-Bögen, sondern auch für gleich vorgeformete Bögen unterschiedlichen Materials, gültig sind. So werden beispielsweie gleich vorgeformte Nickel-Titan-Bögen auch als Stahl-Bögen von denselben Herstellern angeboten.

6.10 Schlussfolgerungen

Aus den eigenen Messungen und der relevanten Literatur [16, 21, 23, 28-30, 32, 37, 43, 53, 54, 69, 75, 81, 91, 92, 94, 120] können folgende Aussagen abgeleitet werden:

1. Es gibt eine große Variationsbreite bei den Bogenformen des Menschen. Daraus folgt, dass es keine Bogenform gibt, die für alle kieferorthopädischen Patienten geeignet ist.
2. Chuck [30] hat deshalb als erster die Bogenformen in spitz zulaufend, eckig und oval unterteilt. Mit diesen drei Bogenformen erreicht man vor allem in den frühen Behandlungsphasen eine bessere Anpassung an die individuellen Verhältnisse als mit einer einzigen Bogenform [42].
3. Die prätherapeutische Zahnbogenform sollte im Unterkiefer möglichst erhalten bleiben [106, 111, 120]. Wird die Bogenform des Patienten während der Behandlung verändert, besteht eine starke Tendenz (bis zu 70 %) [21, 37, 74, 76, 120], dass sie nach dem Entfernen der Apparaturen wieder ihre ursprüngliche Form annimmt. Deshalb sind individuelle Zahnbogenformen auch im Zeitalter moderner (selbstligierender) Bracket-Systeme notwendig.
4. Durch Unterschiede zwischen ethnischen Gruppen [16, 29, 53, 69, 91, 94] ist bei jeder ethnischen Gruppe eine unterschiedliche Verteilung der Bogenformen zu erwarten. Die Empfehlung zu Bevorratung von Bögen in einer Praxis hängt davon ab, welche Patientenklientel (ethnische Gruppe) behandelt wird.
5. Da es kaum einen Unterschied zwischen den Ergebnissen der computerunterstützten und der konventionellen Methode gab, ist das Verwenden von Schablonen für die Bogenformbestimmung für den kieferorthopädischen Alltag ausreichend.
6. Ausgehend von den Studien von Felton et al. [43], Nojima et al. [91] sowie McLaughlin, Bennett und Trevisi [84] wird für eine Praxis mit überwiegend kaukasischer Klientel empfohlen, aus dem OrthoForm-Bogensystem 45 % spitz zulaufende, 10 % eckige und 45 % ovale Vierkantbögen vorrätig zu halten. Die eigenen Ergebnisse kommen für Berliner Patienten zu anderen Zahlen: 61 % spitz zulaufend, 1 % eckig und 37 % oval.

7. Die OrthoForm II eckig sowie die OrthoForm LA kommen in einer Berliner Praxis mit kaukasischer Klientel so selten vor, nämlich jeweils 1 %, dass das Vorhalten von Bögen mit dieser Form in größerer Zahl nicht notwendig ist.

7 Zusammenfassungen

7.1 Zusammenfassung

Durch die kieferorthopädische Therapie kann es zu einer Änderung der Zahnbogenform kommen. Dennoch ist der weitgehende Erhalt der natürlichen Zahnbogenform und Zahnbogenbreite während der kieferorthopädischen Behandlung wichtig [106, 111, 120]. Verschiedene Studien zeigen, dass die interkanine und die intermolare Breite während der Postretentionsphase abnahmen, wenn der Zahnbogen therapeutisch erweitert wurde [21, 37, 74, 76, 120]. Demzufolge wird der Erhalt der Zahnbogenform und -breite heutzutage allgemein empfohlen.
Die vorliegende Untersuchung sollte:

1. die prozentuale Verteilung der Bogenformen (OrthoForm I spitz, OrthoForm II eckig, OrthoForm III oval, OrthoForm LA) nach dem OrthoForm-Bogensystem der Firma 3M Unitek anhand von Unterkiefermodellen von Kaukasiern in einer kieferorthopädischen Praxis in Berlin ermitteln und eine Empfehlung für die Vorhaltung von Bögen in der Praxis geben.
2. Zusammenhänge zwischen Zahnbogenform, Angle-Klasse und Geschlecht prüfen.
3. die computergestützten Ergebnisse zum Ermitteln der am besten passenden Bogenform mit den per Augenmaß ermittelten Ergebnissen vergleichen.

Die Studie umfasste 190 Modelle (davon 54 mit Angle-Klasse I, 120 mit Angle-Klasse II und 16 mit Angle-Klasse III) von 84 männlichen, 106 weiblichen Patienten, die folgende Auswahlkriterien erfüllten:

1. Die Patienten mussten kaukasischer Abstammung sein.
2. Es musste ein vollständiges, kieferorthopädisch unbehandeltes bleibendes Gebiss vorliegen.
3. Die Unterkieferzahnbögen durften keinen wesentlichen Eng- bzw. Weitstand aufweisen, wobei eine Zahnbogenlängendiskrepanz bis zu 3 mm akzeptabel war.
4. Es durften keine offensichtlichen Größen- und Formanomalien der Zähne vorliegen.
5. Die Zähne durften keine zahnärztliche Versorgung der Schneidekanten, der Eckzahnspitzen sowie der Höckerspitzen der Seitenzähne und der Approximalflächen aufweisen.

Die Unterkiefermodelle wurden standardisiert von okklusal fotografiert und die Zahnbogenform wurde bei jedem Unterkiefermodell computergestützt ermittelt. Dazu wurden mit Hilfe der Programme ImageJ und Microsoft Excel für jedes Unterkiefermodell 12 Bracketschlitzpunkte von Zahn 36 bis Zahn 46 berechnet und die Verbindung dieser 12 Bracketschlitzpunkte ergab die individuelle Zahnbogenform des jeweiligen Modells. Mit der gleichen Vorgehensweise wurden die Bogenform-Schablonen in den Computer übertragen. Die Mittelpunkte der einzelnen Zahnbogenformen und der Bogenform-Schablonen wurden als Ursprung der X- und Y-Koordinaten definiert. Somit war die Überlagerung jeder ermittelten Zahnbogenform mit den vier vorgegebenen Bogenformen durch ein in Microsoft Excel entwickeltes Berechnungssystem möglich.
Die Bestimmung der Zahnbogenform wurde analog mit transparenten OrthoForm-Schablonen durch die Promovendin an den Unterkiefermodellen durchgeführt. So wurde sowohl mit der computergestützten Schablonen-basierten als auch mit der manuellen Schablonen-basierten Methode ermittelt, wie häufig bei den 190 untersuchten Unterkiefermodellen die einzelnen Bogenformen des OrthoForm-Bogensystems die geringsten Abweichungen von der Zahnbogenform aufwiesen. Das Resultat ist, dass in einer Berliner Praxis mit vorwiegend kaukasischer Klientel OrthoForm-Bögen im folgenden Zahlenverhältnis am besten passen und entsprechend bevorratet werden sollten: 61 % OrthoForm I spitz, 37 % OrthoForm III oval, 1 % OrthoForm II eckig, 1 % OrthoForm LA.
Die Verteilungshäufigkeit der OrthoFormen in den einzelnen Angle-Klassen sowie bei den beiden Geschlechtern war sehr ähnlich. Somit wurde keine starke Abhängigkeit der Verteilung der Bogenformen von den Angle-Klassen und vom Geschlecht festgestellt.
Die Ergebnisse der computergestützten Schablonen-basierten und der manuellen Schablonen-basierten Methode hatten eine gute Übereinstimmung (Kappa = 0,78). Unterschiede bei beiden Methoden gab es bei Zahnbogenformen, die sich zwischen zwei Bogenformen einstufen ließen; dies war bei 11 % der Unterkiefermodelle der Fall. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Beurteilung der Zahnbogenform durch den Behandler mittels Schablonen für den kieferorthopädischen Alltag ausreichend ist. Bei einigen Patienten ist eine individuelle Anpassung der Bogenform nötig. Der Grund dafür ist, dass es zahlreiche Variationen der Zahnbogenform gibt und daher lassen sich nicht alle menschlichen Zahnbogenformen den vier OrthoFormen zuordnen.

7.2 Summary

An orthodontic therapy can lead to a change in the dental arch form. Nevertheless, it is important during orthodontic treatment to preserve the original dental arch form and the arch width [106, 111, 120]. Various studies indicated that the intercanine and the intermolar widths decreased during the postretention phase, when the dental arch was expanded therapeutically [21, 37, 74, 76, 120]. Therefore, nowadays, it is generally recommended to maintain the original arch form and arch width.

The aims of the present study were:

1. to determine the frequency distribution of the arch forms manufactured by the company 3M Unitek (OrthoForm I tapered, OrthoForm II square, OrthoForm III ovoid, and OrthoForm LA) in mandibular arches of Caucasians from an orthodontic practice in Berlin and to give a recommendation for reserving archwires in a practice.
2. to clarify if there is a relationship between dental arch form and Angle Class or gender.
3. to compare the computer-aided results of the determined best matching OrthoForm with the results done manually by an orthodontist.

The study included 190 models (54 Class I, 120 Class II, and 16 Class III) of 84 males and 106 females to match the following inclusion criteria:

1. The patients had to be Caucasian.
2. Full permanent dentition with no previous orthodontic treatment.
3. Arch length discrepancy of 3 mm or less.
4. Normal tooth size and shape.
5. No restorations extending to contact areas, cusp tips, or incisal edges.

The occlusal surfaces of the mandibular models were photographed and the dental arch form was determined for each mandibular model using a computer-aided method. For this purpose 12 bracket slot points were defined for each mandibular model from tooth 36 to tooth 46 using the program ImageJ and Microsoft Excel. The connection of these 12 bracket slot points yielded the individual dental arch form of the respective model. Using the same approach, the arch form templates were transferred to the computer. The midpoints of each dental arch form and arch form templates were taken as the origin of the x and y coordinates. Thus it was possible to superimpose each determined dental arch form on the four arch forms using a specially developed calculation program in Microsoft Excel.

In addition, the determination of the dental arch form was done manually by the doctoral candidate using clear OrthoForm arch form templates which were overlaid on the patient's mandibular model. Thus it was possible to determine with both the computer-aided template-based method as well as with the manual template-based method, how often each OrthoForm arch form had the least deviations from the 190 examined mandibular dental arch forms. The results showed the following frequency distribution: 61 % OrthoForm I tapered, 37 % OrthoForm III ovoid, 1 % OrthoForm II square, and 1 % OrthoForm LA. According to these ratios a reservation of archwires in an orthodontic practice with Caucasian patients can be recommended. This recommendation applies to the archwires ordered from the company 3M Unitek.

The frequency distribution of the OrthoForm arch forms showed a very similar distribution in the Angle Classes and in both genders. Hence there was no relationship observed between the distribution of OrthoForm arch form and Angle Classes or gender.

Further on the results of the computer-aided template-based method and the manual template-based method had a substantial agreement (Kappa = 0,78).

Most of the results of both methods coincided with each other except 11 %. These were dental arch forms which could be classified between two arch forms; they didn't fit exactly into one certain OrthoForm. This concludes that the assessment of the dental arch form by a practitioner using templates is sufficient for the orthodontic daily use. Besides, the necessity of an individual adjustment of the arch forms for some patients is required. The reason for this lies in the numerous variations of the dental arch forms and therefore the OrthoForm arch forms can't fit all human dental arch forms properly.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bonwill-Hawley-Bogenformkonstruktion....4
Abbildung 2: Kettenkurve nach MacConaill [78]....5
Abbildung 3: Brader-Arch-Form....6
Abbildung 4: Die zehn Faktoren in der Kongruenz-Kette nach Ricketts [109]....7
Abbildung 5: Die zwei Bogensysteme der Firma 3M Unitek: OrthoForm und Standard....9
Abbildung 6: 3M Unitek OrthoForm Bogenform....10
Abbildung 7: 3M Unitek Standard-Bogenform nach Bonwill-Hawley....11
Abbildung 8: Unterschiedliche Bogenformen der Firma 3M Unitek....20
Abbildung 9: OrthoForm LA Schablone....21
Abbildung 10: OrthoForm I spitz Schablone....22
Abbildung 11: OrthoForm II eckig Schablone....23
Abbildung 12: OrthoForm III oval Schablone....23
Abbildung 13: Aufbau zum Fotografieren der Unterkiefermodelle....25
Abbildung 14: Foto eines Unterkiefermodells....26
Abbildung 15: Anpunkten der approximalen Kontaktpunkte....27
Abbildung 16: Durchschnittliche Kronenprominenz im Unterkiefer nach Andrews [11]....28
Abbildung 17: Smartclip-Bracket der Firma 3M Unitek....29
Abbildung 18: Fotos der OrthoForm-Schablonen....30
Abbildung 19: Überlagerung der OrthoForm LA mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507....31
Abbildung 20: Überlagerung der OrthoForm I spitz mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507....32
Abbildung 21: Überlagerung der OrthoForm II eckig mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507....32
Abbildung 22: Überlagerung der OrthoForm III oval mit der Zahnbogenform von Modellnummer 507....33
Abbildung 23: Verteilungsergebnisse der OrthoForm-Typen in Prozent nach computergestützter und manueller Methode....38
Abbildung 24: Verteilung der OrthoForm-Typen nach Angle-Klassen in Prozent....39
Abbildung 25: Verteilung der OrthoForm-Typen nach Geschlecht in Prozent....40

Abbildung 26: Überlagerung der OrthoForm LA und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405 43
Abbildung 27: Überlagerung der OrthoForm I spitz und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405 43
Abbildung 28: Überlagerung der OrthoForm II eckig und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405 43
Abbildung 29: Überlagerung der OrthoForm III oval und der Zahnbogenform der Modellnummer 11405 44
Abbildung 30: Überlagerung der OrthoForm LA und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859 47
Abbildung 31: Überlagerung der OrthoForm I spitz und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859 47
Abbildung 32: Überlagerung der OrthoForm II eckig und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859 48
Abbildung 33: Überlagerung der OrthoForm III oval und der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 12859 48
Abbildung 34: Überlagerung der OrthoForm LA mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106 56
Abbildung 35: Überlagerung der OrthoForm I spitz mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106 56
Abbildung 36: Überlagerung der OrthoForm II eckig mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106 57
Abbildung 37: Überlagerung der OrthoForm III oval mit der Zahnbogenform des Modells mit der Nummer 2106 57

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht akademischer Bogensysteme nach Hirtz [62]. 7
Tabelle 2: Übersicht konfektionierter Bogensysteme nach Hirtz [62]. 8
Tabelle 3: Verteilung der Patientenmodelle nach Geschlecht und Angle-Klasse. 19
Tabelle 4: Alte und neue OrthoForm Bezeichnungen. 20
Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Bogenformen beider Methoden 37
Tabelle 6: Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit von der Angle-Klasse 39
Tabelle 7: Verteilung der Bogenformen in Abhängigkeit vom Geschlecht 40
Tabelle 8: Ergebnisse des wiederholten Anpunktens des Unterkiefermodellfotos mit der Nummer 4208 41
Tabelle 9: Abweichungssummen von neunzehn zufällig ausgewählten Unterkiefermodellfotos zu den einzelnen Bogenformen 42
Tabelle 10: Kontingenztafel für Kappa-Berechnung 44
Tabelle 11: Kappa-Berechnung: Erwartete Übereinstimmung 45
Tabelle 12: Überblick zur Häufigkeitsverteilung der OrthoForm-Bogenformen in verschiedenen ethnischen Gruppen 62

10 Literaturverzeichnis

[1] 3M Corp. HQ. 3M Unitek Product Catalog. Monrovia, USA, 2010:Sec.7,p.218.

[2] 3M Corp. HQ. 3M Unitek Product Catalog. Monrovia, USA, 2010:Sec.7,p.213.

[3] 3M Unitek. Arch Form. 2010; 09.07.2012 [cited; Available from: http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTtnxTtN8TtEVuQEcuZgVs6EVs6E666666--&fn=021-102.pdf

[4] Ahrens DG, Shapira Y, Kuftinec MM. An approach to rotational relapse. Am J Orthod. 1981;80:83-91.

[5] Alexander RG. The Vari-Simplex discipline. Part 1. Concept and appliance design. J Clin Orthod. 1983;17:380-92.

[6] Alexander RG. The Vari-Simplex discipline. Part 2. Nonextraction treatment. J Clin Orthod. 1983;17:474-82.

[7] Alexander RG. The Vari-Simplex discipline. Part 3: Extraction treatment. J Clin Orthod. 1983;17:537-47.

[8] Alexander RG. The Vari-Simplex discipline. Part 4. Countdown to retention. J Clin Orthod. 1983;17:619-25.

[9] Alexander RG. The Vari-Simplex discipline. Part 4. Practice management. J Clin Orthod. 1983;17:680-7.

[10] American Orthodontics. American Orthodontics Catalog. Sheboygan, 2011:p.170.

[11] Andrews LF. Measurements. *Straight Wire - The Concept and Appliance*. San Diego, Calif: L.A. Wells, 1989:25-33.

[12] Andrews LF. The straight-wire appliance: syllabus of philosophy and techniques. San Diego, Calif: L.A. Wells, 1975.

[13] Andrews LF, Andrews WA. The six elements of orofacial harmony. Andrews J. 2000;1:13-22.

[14] Angle EA. Classification of malocclusion. Dental Cosmos. 1899;41:248-64.

[15] Ball RL, Miner RM, Will LA, Arai K. Comparison of dental and apical base arch forms in Class II Division 1 and Class I malocclusions. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010;138:41-50.

[16] Bayome M, Sameshima GT, Kim Y, Nojima K, Baek SH, Kook YA. Comparison of arch forms between Egyptian and North American white populations. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2011;139:e245-52.

[17] Bechtold TE, Göz GR. Einfluss standardisierter Bogenformen auf die transversale Zahnbogendimension. Kieferorthopädie. 2010;24:27-35.

[18] BeGole EA, Fox DL, Sadowsky C. Analysis of change in arch form with premolar expansion. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1998;113:307-15.

[19] Behrents RG. The biological basis for understanding craniofacial growth during adulthood. Prog Clin Biol Res. 1985;187:307-19.

[20] Bennett J, McLaughlin RP. Orthodontic treatment mechanics and preadjusted appliance. London: Mosby-Wolfe, 1993.

[21] Bishara SE, Chadha JM, Potter RB. Stability of intercanine width, overbite, and overjet correction. Am J Orthod. 1973;63:588-95.

[22] Bishara SE, Jakobsen JR, Treder J, Nowak A. Arch width changes from 6 weeks to 45 years of age. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1997;111:401-9.

[23] Blake M, Bibby K. Retention and stability: a review of the literature. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1998;114:299-306.

[24] Bonwill WGA. Geometrical and mechanical laws of articulation. Tr Odont Soc Penn. 1885:119-33.

[25] Brader AC. Dental arch form related with intraoral forces: PR=C. Am J Orthod. 1972;61:541-61.

[26] Braun S, Hnat WP, Leschinsky R, Legan HL. An evaluation of the shape of some popular nickel titanium alloy preformed arch wires. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1999;116:1-12.

[27] Brodie AG. The growth of the jaws and the eruption of the teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1948;1:334-41.

[28] Burke SP, Silveira AM, Goldsmith LJ, Yancey JM, Van Stewart A, Scarfe WC. A meta-analysis of mandibular intercanine width in treatment and postretention. Angle Orthod. 1998;68:53-60.

[29] Burris BG, Harris EF. Maxillary arch size and shape in American blacks and whites. Angle Orthod. 2000;70:297-302.

[30] Chuck GC. Ideal Arch Form. Angle Orthod. 1934;4:312-27.

[31] Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. EPM. 1960;20:37-46.

[32] Collins BP, Harris EF. Arch form in American blacks and whites with malocclusions. J Tenn Dent Assoc. 1998;78:15-8.

[33] Damon DH. The Damon low-friction bracket: a biologically compatible straight-wire system. J Clin Orthod. 1998;32:670-80.

[34] Damon DH. The rationale, evolution and clinical application of the self-ligating bracket. Clin Orthod Res. 1998;1:52-61.

[35] Daskalogiannakis J, van der Linden FP, Miethke R-R, McNamara JA. Glossary of Orthodontic Terms. Berlin: Quintessence, 2000.

[36] de Fatima Conti M, Filho MV, Vedovello SAS, Valdrighi HC, Kuramae M. Longitudinal evaluation of dental arches individualized by the WALA ridge method. Dental Press J Orthod. 2011;16:65-74.

[37] de la Cruz A, Sampson P, Little RM, Artun J, Shapiro PA. Long-term changes in arch form after orthodontic treatment and retention. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1995;107:518-30.

[38] Del Santo M, Guerrero CA, Buschang PH, English JD, Samchukov ML, Bell WH. Long-term skeletal and dental effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2000;118:485-93.

[39] Dentaurum J.P. Winkelstroeter KG. Dentaurum Katalog. Ispringen, 2011:p.190.

[40] Diem K, Lentner C. Wissenschaftliche Tabellen. 7 ed. Stuttgart: Thieme, 1975.

[41] Edwards JG. A long-term prospective evaluation of the circumferential supracrestal fiberotomy in alleviating orthodontic relapse. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1988;93:380-7.

[42] Engel GA. Preformed arch wires: reliability of fit. Am J Orthod. 1979;76:497-504.

[43] Felton JM, Sinclair PM, Jones DL, Alexander RG. A computerized analysis of the shape and stability of mandibular arch form. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1987;92:478-83.

[44] Ferrario VF, Sforza C, Miani A Jr, Tartaglia G. Mathematical definition of the shape of dental arches in human permanent healthy dentitions. Eur J Orthod. 1994;16:287-94.

[45] Fleming PS, Dibiase AT, Lee RT. Arch form and dimensional changes in orthodontics. Prog Orthod. 2008;9:66-73.

[46] Fleming PS, DiBiase AT, Sarri G, Lee RT. Comparison of mandibular arch changes during alignment and leveling with 2 preadjusted edgewise appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;136:340-7.

[47] Forestadent Bernhard Förster GmbH. Forestadent Katalog. Pforzheim, 2011:Kapitel 5,S.105.

[48] Forestadent Bernhard Förster GmbH. Forestadent Katalog. Pforzheim, 2011:Kapitel 5, S.113.

[49] Forster CM, Sunga E, Chung CH. Relationship between dental arch width and vertical facial morphology in untreated adults. Eur J Orthod. 2008;30:288-94.

[50] Franzen TJ, Brudvik P, Vandevska-Radunovic V. Periodontal tissue reaction during orthodontic relapse in rat molars. Eur J Orthod. 2011:1-8.

[51] GAC International Inc. GAC Catalog 14. Bohemia, 2011:p.141.

[52] GAC International Inc. GAC Catalog 14. Bohemia, 2011:p.142.

[53] Gafni Y, Tzur-Gadassi L, Nojima K, McLaughlin RP, Abed Y, Redlich M. Comparison of arch forms between Israeli and North American white populations. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2011;139:339-44.

[54] Gardner SD, Chaconas SJ. Posttreatment and postretention changes following orthodontic therapy. Angle Orthod. 1976;46:151-61.

[55] Gilmore CA, Little RM. Mandibular incisor dimensions and crowding. Am J Orthod. 1984;86:493-502.

[56] Graf H, Ehmer U. Das Rezidiv der transversalen Erweiterung bei Kompression mit frontalem Engstand. Fortschr Kieferorthop. 1970;31:175-86.

[57] Gupta D, Miner RM, Arai K, Will LA. Comparison of the mandibular dental and basal arch forms in adults and children with Class I and Class II malocclusions. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010;138:e1-11.

[58] Gwet KL. Intrarater Reliability. *Wiley Encyclopedia of Clinical Trials*. Gaithersburg, USA: John Wiley & Sons. 2008:1-14.

[59] Häupl K, Andresen V, Petrik L. Funktionskieferorthopädie. München: Barth, 1957.

[60] Hawley CA. Determination of the normal arch and its application to orthodontia. Dental Cosmos. 1905;47:541-52.

[61] Henrikson J, Persson M, Thilander B. Long-term stability of dental arch form in normal occlusion from 13 to 31 years of age. Eur J Orthod. 2001;23:51-61.

[62] Hirtz MM. Computergestützte Zahnbogenformberechnungen zur Verbesserung der ergebnisqualität in der Orthodontie. Inaugural-Dissertation. 2008, Münster.

[63] Hopfenmüller W. Biometrie. 09.07.2012 [cited; Available from: http://www.charite.de/biometrie/dwl/Skript_Biometrie_Hopfenmueller.pdf

[64] Housley JA, Nanda RS, Currier GF, McCune DE. Stability of transverse expansion in the mandibular arch. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003;124:288-93.

[65] Jering F, Miethke R-R. Engstand in der Unterkieferfront und Dehnungstherapie. Prakt Kieferorthop. 1988;2:93-8.

[66] Kahl-Nieke B. Retention, Stabilität, Rezidiv. *Kieferorthopädie III*. München: Urban & Fischer, 2002:210-39.

[67] Kahl-Nieke B, Fischbach H, Schwarze CW. Post-retention crowding and incisor irregularity: a long-term follow-up evaluation of stability and relapse. Br J Orthod. 1995;22:249-57.

[68] Kahl-Nieke B, Fischbach H, Schwarze CW. Treatment and postretention changes in dental arch width dimensions--a long-term evaluation of influencing cofactors. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1996;109:368-78.

[69] Kook YA, Nojima K, Moon HB, McLaughlin RP, Sinclair PM. Comparison of arch forms between Korean and North American white populations. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2004;126:680-6.

[70] Krishnan V, Davidovitch Z. Biologically and clinically, what are optimal orthodontic forces and how are they applied in selective common malocclusion? *Biological Mechanisms of Tooth Movement*. New Jersey: Wiley Blackwell, 2009:184-5.

[71] Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics. 1977;33:159-74.

[72] Lentner C. Wissenschaftliche Tabellen Geigy, Statistik. 8 ed. Basel: Ciba Geigy AG, 1985.

[73] Little RM. Stability and relapse of mandibular anterior alignment: University of Washington studies. Semin Orthod. 1999;5:191-204.

[74] Little RM. Stability and relapse: early treatment of arch length deficiency. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2002;121:578-81.

[75] Little RM, Riedel RA, Artun J. An evaluation of changes in mandibular anterior alignment from 10 to 20 years postretention. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1988;93:423-8.

[76] Little RM, Wallen TR, Riedel RA. Stability and relapse of mandibular anterior alignment-first premolar extraction cases treated by traditional edgewise orthodontics. Am J Orthod. 1981;80:349-65.

[77] Ludwig B, Glasl B, Bock F, Bock J, Goldbecher H, Lietz Th. Selbstligierende Brackets. Stuttgart: Thieme, 2009.

[78] MacConaill MA, Scher EA. The ideal form of the human dental arcade, with some prosthetic application. Dent Rec (London). 1949;69:285-302.

[79] Malkoc S, Iseri H, Karaman AI, Mutlu N, Kucukkolbasi H. Effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis on mandibular structures. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2006;130:603-11.

[80] McLaughlin RP, Bennett JC. Arch form considerations for stability and esthetics. Rev Esp Orthod. 1999;29:46-63.

[81] McLaughlin RP, Bennett JC. Betrachtungen zur Bogenform unter Berücksichtigung von Stabilität und Ästhetik. Inf Orthod Kieferorthop. 1999;31:179-99.

[82] McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ. Behandlungsmechanik bei der vorprogrammierten Apparatur - 15 Jahre Entwicklung und Fortschritt - ein Fallbericht. Inf Orthod Kieferorthop. 2001;33:247-63.

[83] McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ. Beschreibung der Apparaturvariationsmöglichkeiten und Vielseitigkeit. *Behandlungskonzept der vorprogrammierten Apparatur (Systemized Orthodontic Treatment Mechanics)*. München: Urban & Fischer, 2004:25-54.

[84] McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ. Bogenform. *Behandlungskonzept der vorprogrammierten Apparatur (Systemized Orthodontic Treatment Mechanics)*. München: Urban & Fischer, 2004:71-85.

[85] McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ. Feineinstellung. *Behandlungskonzept der vorprogrammierten Apparatur (Systemized Orthodontic Treatment Mechanics)*. München: Urban & Fischer, 2004:289-90.

[86] McNamara C, Drage KJ, Sandy JR, Ireland AJ. An evaluation of clinicians' choices when selecting archwires. Eur J Orthod. 2010;32:54-9.

[87] McNamara C, Sandy JR, Ireland AJ. Effect of arch form on the fabrication of working archwires. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010;138:e257-9.

[88] Moorrees CF. The Dentition of the Growing Child. Cambridge: Harvard University Press, 1959.

[89] Moorrees CF, Gron AM, Lebret LM, Yen PK, Frohlich FJ. Growth studies of the dentition: a review. Am J Orthod. 1969;55:600-16.

[90] Nance HN. The limitations of orthodontic treatment; diagnosis and treatment in the permanent dentition. Am J Orthod. 1947;33:253-301.

[91] Nojima K, McLaughlin RP, Isshiki Y, Sinclair PM. A comparative study of Caucasian and Japanese mandibular clinical arch forms. Angle Orthod. 2001;71:195-200.

[92] Nummikoski P, Prihoda T, Langlais RP, McDavid WD, Welander U, Tronje G. Dental and mandibular arch widths in three ethnic groups in Texas: a radiographic study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1988;65:609-17.

[93] Oda S, Arai K, Nakahara R. Commercially available archwire forms compared with normal dental arch forms in a Japanese population. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010;137:520-7.

[94] Olmez S, Dogan S. Comparison of the arch forms and dimensions in various malocclusions of the Turkish population. Open Journal of Stomatology. 2011;1:158-64.

[95] Ormco Corp. HQ. Ormco Orthodontic Products Catalog. Orange, USA, 2011:Sec.5,p.10.

[96] Ormco Corp. HQ. Ormco Orthodontic Products Catalog. Orange, USA, 2011:Sec.5,p.24.

[97] Ormco Corp. HQ. Ormco Orthodontic Products Catalog. Orange, USA, 2011:Sec.5,p.18.

[98] Ormco Corp. HQ. Ormco Orthodontic Products Catalog. Orange, USA, 2011:Sec.5,p.13.

[99] Pandis N, Polychronopoulou A, Makou M, Eliades T. Mandibular dental arch changes associated with treatment of crowding using self-ligating and conventional brackets. Eur J Orthod. 2010;32:248-53.

[100] Phoenix Orthodontics Corp. HQ. Phoenix Orthodontics Catalog. Blue Springs, USA, 2011:p.6.

[101] Phoenix Orthodontics Corp. HQ. Phoenix Orthodontics Catalog. Blue Springs, USA, 2011:p.4.

[102] Proffit WR. Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. Angle Orthod. 1978;48:175-86.

[103] Proffit WR, Fields HW. Diagnosis and treatment planning. *Contemporary Orthodontics*. 3rd ed. St. Louis, Missouri: Mosby, 2000:148-95.

[104] Proffit WR, Fields HW. Fixed and removable appliances. *Contemporary Orthodontics*. 3rd ed. St. Louis, Missouri: Mosby, 2000:414-6.

[105] Proffit WR, Fields HW. Later stages of development. *Contemporary Orthodontics*. 3rd ed. St. Louis, Missouri: Mosby, 2000:94-112.

[106] Raberin M, Laumon B, Martin JL, Brunner F. Dimensions and form of dental arches in subjects with normal occlusions. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1993;104:67-72.

[107] Redlich M, Weinstock T, Abed Y, Schneor R, Holdstein Y, Fischer A. A new system for scanning, measuring and analyzing dental casts based on a 3D holographic sensor. Orthod Craniofac Res. 2008;11(2):90-5.

[108] Reitan K. Principles of retention and avoidance of posttreatment relapse. Am J Orthod. 1969;55:776-90.

[109] Ricketts RM. Differences between straight wire techniques and bioprogressive philosophy. *Consummate Occlusion*. Scottsdale, Arizona: American Institute for Bioprogressive Education, 1996:11-4.

[110] Ricketts RM, Bench RM, Gugino CF, Hilgers JJ, Schulhof RJ. Bioprogressive Therapie. 3rd ed. Heidelberg: Hüthig, 1995.

[111] Riedel RA. A review of the retention problem. Angle Orthod. 1960;30:179-99.

[112] Rocky Mountain Orthodontics HQ. RMO Catalog. Denver, 2011:p.148.

[113] Rocky Mountain Orthodontics HQ. RMO Catalog. Denver, 2011:p.141.

[114] Rogers AP. A restatement of the myofunctional concept in orthodontics. Am J Orthod. 1950;36:845-55.

[115] Ronay V, Miner RM, Will LA, Arai K. Mandibular arch form: the relationship between dental and basal anatomy. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2008;134:430-8.

[116] Roth RH. The straight-wire appliance 17 years later. J Clin Orthod. 1987;21:632-42.

[117] Rumsey D. Genaue Konfidenzintervalle berechnen. *Statistik für Dummies*. 1 ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2004:207-14.

[118] Sadowsky C, Schneider BJ, BeGole EA, Tahir E. Long-term stability after orthodontic treatment: nonextraction with prolonged retention. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1994;106:243-9.

[119] Schmidt-Atzert L, Amelang M. Psychologische Diagnostik. 5 ed. Berlin Heidelberg: Springer, 2012.

[120] Shapiro PA. Mandibular dental arch form and dimension. Treatment and postretention changes. Am J Orthod. 1974;66:58-70.

[121] Sillman JH. Some aspects of individual dental development: Longitudinal study from birth to 25 years. Am J Orthod. 1965;51:1-25.

[122] Sinclair PM, Little RM. Dentofacial maturation of untreated normals. Am J Orthod. 1985;88:146-56.

[123] Smile Dental Handelsgesellschaft mbH. Smile Dental Katalog. Düsseldorf, 2010:p.9.

[124] Taner TU, Ciger S, El H, Germec D, Es A. Evaluation of dental arch width and form changes after orthodontic treatment and retention with a new computerized method. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2004;126:464-76.

[125] Tecco S, Tete S, Perillo L, Chimenti C, Festa F. Maxillary arch width changes during orthodontic treatment with fixed self-ligating and traditional straight-wire appliances. World J Orthod. 2009;10:290-4.

[126] Ten Hoeve A, Mulie RM. The effect of antero-postero incisor repositioning on the palatal cortex as studied with laminagraphy. J Clin Orthod. 1976;10:804-22.

[127] Trivino T, Siqueira DF, Scanavini MA. A new concept of mandibular dental arch forms with normal occlusion. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2008;133:15-22.

[128] Tsiopas N, Nilner M, Bondemark L, Bjerklin K. A 40 years follow-up of dental arch dimensions and incisor irregularity in adults. Eur J Orthod. 2011;doi:10.1093/ejo/cjr121.

[129] Tweed CH. The Frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis. Am J Orthod Oral Surg. 1946;32:175-230.

[130] Vajaria R, BeGole E, Kusnoto B, Galang MT, Obrez A. Evaluation of incisor position and dental transverse dimensional changes using the Damon system. Angle Orthod. 2011;81:647-52.

[131] Weaver KE, Ngan P, Martin C, Richards M. The stability of the WALA ridge as a Landmark for determining dental arch form. Morgantown: The school of dentistry at West Virginia University; 2010.

[132] Wehrbein H, Fuhrmann RA, Diedrich PR. Periodontal conditions after facial root tipping and palatal root torque of incisors. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1994;106:455-62.

[133] Weinstein S, Haack DC, Morris LY, Snyder BB, Attaway HE. On an equilibrium theory of tooth position. Angle Orthod. 1963;33:1-26.

[134] Zachrisson BU. Buccal uprighting of canines and premolars for improved smile esthetics and stability. World J Orthod. 2006;7:406-12.

[135] Zachrisson BU. Maxillary expansion: Long-term stability and smile esthetics. World J Orthod. 2001;2:266-72.

[136] Zachrisson BU. Use of self-ligating brackets, superelastic wires, expansion/proclination, and permanent retention--a word of caution. World J Orthod. 2006;7:198-206.

11 Materialliste

11.1 Überblick aller Modellnummern

Modellnummern									
208	309	507	608	910	993	1096	1407	1809	2106
2108	2709	3108	4208	4409	4801	4809	5210	5407	5410
5507	5509	5809	5895	5905	6101	6110	6307	6400	6409
6503	6509	6603	6609	7303	7809	7908	8008	8207	8307
8509	8906	9101	9106	9204	9807	9808	10101	10203	10404
10509	11306	11405	11509	11604	11707	12006	12007	12108	12400
12859	12910	14001	14003	15409	15706	15902	15999	16108	16309
16601	16803	16805	16898	17303	17501	17709	17901	18109	18203
18302	18303	18304	18399	18404	18607	19108	19205	19506	19509
19901	20403	21004	21204	21308	21402	21504	21607	21708	21807
22308	22909	23102	23203	23807	23808	24707	24709	25007	25206
25506	25509	25600	25709	26309	26906	26908	27006	27208	27399
27407	27606	28705	28802	29609	29794	30005	30007	30302	30308
30501	31007	31107	31509	31708	31909	32007	32204	32309	32409
32498	33109	33209	33309	33707	33902	34096	34208	34809	34902
35007	35301	35305	35708	35908	37403	37601	38005	38006	38009
38209	38406	38709	39006	39106	39109	39708	40208	41001	41209
42008	42401	43109	43408	43901	45009	45609	46908	47109	47509
48009	49408	50308	50709	51708	52808	54809	55009	55109	56009

11.2 Bogenformschablonen der Firma 3M Unitek

Bezeichnung	Referenznummer	Hersteller	Ort
OrthoForm LA	REF 701-723/ 6179402/REV9704	3M Unitek	Deutschland
OrthoForm I spitz	REF 701-723/ 61794-03/REV9704	3M Unitek	Deutschland
OrthoForm II eckig	REF 701-723/ 61794-04/REV9704	3M Unitek	Deutschland
OrthoForm III oval	REF 701-723/ 61794-05/REV9704	3M Unitek	Deutschland

11.3 Weitere Materialien

Gerät	Bezeichnung	Hersteller	Ort
Fotoapparat	OLYMPUS 948, E-420	Olympus	Japan
Objektiv	Zuiko Digital 14-45 mm 1:3.5-5.6 Digital SLR	Olympus	Japan
Stativ	2503	Cullmann	Deutschland
Stahllineal	Bernklau Messstab	Dentaurum	Deutschland
Notebook	Medion – Typ MD9783	Medion	Deutschland

12 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all denen danken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben.
Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. Jost-Brinkmann für die Überlassung des Dissertationsthemas, für seine allseits hilfreiche und konstruktive Unterstützung bei der Durchführung dieser Studie und die freundliche, stets motivierende Betreuung.
Weiterhin danke ich Herrn Dr. Christoph Kossack für die Entwicklung der Auswertungsfunktionen in Microsoft Excel, sodass eine sinnvolle computergestützte Messung möglich war.
Herrn Professor Dr. Dr. Werner Hopfenmüller danke ich für die Beratung zu Fragen der statistischen Auswertung.
Ferner möchte ich sehr herzlich meiner Kollegin Dr. Verena Bergschmidt danken, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat.
Vielen Dank an die Praxis „MUNDWERK Die Kieferorthopäden“ für die Bereitstellung der Patientenmodelle und für den zur Verfügung gestellten Fotoapparat.
Weiterhin möchte ich mich bei dem Fotografen Tom Schmieding für die Unterstützung beim Aufbauen des Feldes zum Fotografieren bedanken.
Zum Schluss möchte ich mich bei meiner Familie ganz herzlich für ihr Vertrauen und ihre liebevolle Unterstützung bei jedem Schritt in meinem Leben bedanken.

Aus diesem Grunde widme ich diese Arbeit
meiner Familie

13 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Berlin, den 18.07.2012

Nadia Kawasmi

14 Erklärung

„Ich, Nadia Kawasmi, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Ein Vergleich der Zahnbogenformen junger Berliner im bleibenden Gebiss mit den Formen konfektionierter Bögen nach McLaughlin, Bennett und Trevisi“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Berlin, den 18.07.2012

Nadia Kawasmi