

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Poliklinik für Kieferorthopädie  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Ariane Hohoff

**Retrospektive methodische Studie zum Vergleich  
von digitaler und manueller Modellanalyse  
in der Kieferorthopädie**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium  
der Medizinischen Fakultät der  
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Meyer, Svenja Irina Dorothea  
aus Münster

2010

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

Dekan: Univ.- Prof. Dr. med. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Univ.- Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h. c. Ulrich K. Joos

2. Berichterstatter: Priv.- Doz. Dr. med. dent. Carsten Lippold

Tag der mündlichen Prüfung: 06.08.2010

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Poliklinik für Kieferorthopädie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

- Direktorin: Univ.- Prof. Dr. med. dent. Ariane Hohoff -

- Referent: Univ.- Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. h. c. Ulrich K. Joos -

- Korreferent: - Priv.- Doz. Dr. med. dent. Carsten Lippold -

## **ZUSAMMENFASSUNG**

### **Retrospektive methodische Studie zum Vergleich von digitaler und manueller Modellanalyse in der Kieferorthopädie**

Meyer, Svenja Irina Dorothea

Im Rahmen einer retrospektiven Untersuchung mit standardisiertem Studienaufbau wurden 132 Modelle zur Vermessung herangezogen. Alle vorliegenden Modelle weisen einen unilateralen posterioren Kreuzbiss auf und sind zeitlich in die späte Milchgebiss- und die erste Wechselgebissphase einzuordnen. Die gesamte Modellanzahl lässt sich 66 Patienten zuordnen. Es stammen jeweils zwei Modelle von einem Patienten, ein Anfangsmodell (Modell 1) und ein Schlussmodell (Modell 2), welches den Zustand nach einem Jahr Therapie repräsentiert. Alle Modelle wurden bezüglich der Modellanalyse identisch vermessen. Die digitale Messung erfolgte einmal, die manuelle Messung wurde fünfmal wiederholt, wobei ein Messvorgang fünf Durchgänge beinhaltete. Die Zeitabstände zwischen den fünf Messungen wurden zufällig gewählt, sie mussten jedoch mindestens einen Tag betragen.

Die digitale Vermessung der Modelle erfolgte durch eine dreidimensionale Digitalisierung und Visualisierung. Mithilfe eines Computertomographen wurden digitale Modelle erstellt und anschließend mit der Analysesoftware „Digimodel“ (Firma Ortho Proof) ausgewertet. An den entstandenen digitalen Modellen wurden die festgelegten Parameter bestimmt.

Die manuelle Messung der Modelle erfolgte mithilfe einer digitalen Schieblehre, einem Bernklaubesteck, einem Geometriedreieck und Lineal.

Für die Modellanalyse werden Referenzpunkte festgelegt, welche bestimmten anatomischen Strukturen entsprechen. Insgesamt wurden 16 maxilläre und mandibuläre Parameter festgelegt.

Die statistische Analyse der komplexen vermessenen Parameter ergibt zwischen der manuellen und digitalen Methode keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Beide Methoden sind somit prinzipiell gleichwertig hinsichtlich der Messgenauigkeit.

Die digitale Analyse zeigt jedoch insbesondere bei komplexen Vermessungen wie der Zahnbogeninklination und der Gaumenbogentiefe gegenüber dem manuellen Vorgehen deutliche Vorteile und zwar sowohl hinsichtlich des Zeitaufwand, der verschiedenen Messgeräte und Dokumentation.

Computergestützte Systeme vereinfachen somit in wissenschaftlichen Studien und in der klinischen Modellanalyse das Messverfahren deutlich, sind jedoch nicht präziser zu bewerten, vorausgesetzt ein exaktes technisches Vorgehen.

Tag der mündlichen Prüfung: 06.08.2010

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung.....	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Der seitliche Kreuzbiss .....	3
2.1.1	Historische Entwicklung .....	3
2.1.2	Ätiologie.....	5
2.1.3	Prävalenz.....	6
2.1.4	Morphologie.....	7
2.1.5	Diagnostik .....	10
2.1.6	Therapie.....	10
2.2	Modellanalyse .....	12
2.2.1	Allgemeine historische Entwicklung der Modellanalyse.....	12
2.2.2	Das Kiefermodell .....	14
2.2.3	Diagnostische Aspekte der Modellanalyse .....	16
2.2.4	Manuelle Modellanalyse .....	17
2.2.5	Digitale Modellanalyse .....	19
3	Material und Methoden .....	27
3.1	Material .....	27
3.2	Methoden .....	29
3.2.1	Messtechniken.....	29
3.2.2	Modellanalyseparameter .....	32
	➤ Transversale Distanzen (Zahnbogenbreiten).....	34
	➤ Zahnbogenlänge und Zahnbogeninklination .....	37
	➤ Gaumenbogentiefe.....	40
	➤ Transversale Distanzen .....	43
	➤ Mittellinienverschiebung.....	46
	➤ Overbite und Overjet .....	48
3.3	Statistik .....	52
4	Ergebnisse.....	54
4.1	Messwerte im Oberkiefer.....	54

➤	Transversale Distanzen (Zahnbogenbreiten).....	54
➤	Zahnbogenlänge und Zahnbogeninklination .....	62
➤	Gaumenbogentiefe.....	66
4.2	Messwerte im Unterkiefer.....	72
➤	Transversale Distanzen (Zahnbogenbreiten).....	72
4.3	Bisslage.....	80
➤	Mittellinienverschiebung.....	80
➤	Overbite und Overjet .....	82
5	Diskussion .....	86
5.1	Diskussion zum Thema und Studienaufbau.....	87
5.2	Diskussion von Material und Methode .....	87
5.3	Diskussion der Ergebnisse .....	91
5.4	Zusammenfassung des Studienvergleichs.....	93
6	Zusammenfassung .....	94
7	Literaturverzeichnis .....	96
8	Danksagung .....	107
9	Lebenslauf .....	108
10	Anhang .....	I
10.1	Tabellenverzeichnis .....	I
10.2	Abbildungsverzeichnis.....	III

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Die Modellanalyse ist ein wichtiger Teilabschnitt für das Erstellen des kieferorthopädischen Befundes [42]. Die Modellvermessung gehört seit jeher zu einem wichtigen und festen Bestandteil der kieferorthopädischen Diagnostik [30]. Sie ist ein dreidimensionales metrisches Verfahren außerhalb des Mundes auf der Basis von Modellen in den Raumebenen.

Anhand der Modelle kann man die Kiefer und ihre Lage zueinander bestimmen [60]. Das Besondere der Modellanalyse ist, dass alle drei Dimensionen, die sagittale, die transversale und die vertikale, im direkten Verfahren an einem Untersuchungsobjekt überprüft werden können [42, 60].

Erfahrungen zeigen, dass eine reduzierte Überprüfung der Befunde während der Behandlung nicht zweckdienlich für deren Fortgang ist. Dieser Verzicht auf die vielfach in Vergessenheit geratene Untersuchungsmethode der Modellanalyse steigert nicht die Qualität der Behandlungsergebnisse [42]. Daraus ergibt sich, dass der Behandlungsplan besser zu bestimmen und das Behandlungsziel besser zu erreichen sind, wenn die Messmethoden und die resultierenden Ergebnisse daraus möglichst exakt sind.

Die in der Praxis über Jahrzehnte erprobten Methoden, wie das Ausmessen von Kiefermodellen mit Hilfe von Schieblehren, Bernklaubesteck und verschiedenen Zirkeln haben sich als einfach durchzuführende Arbeit mit genügender Genauigkeit erwiesen.

Im Rahmen der zunehmend digitalen Datenverarbeitung wurden auch im Bezug auf die Modellanalyse weitere Hilfsmittel entwickelt, die das manuelle Arbeiten ersetzen sollen. Mehr und mehr kommt es dazu, dass analoge Systeme durch digitale ersetzt werden. Digitale Photographie, digitale Röntgentechniken und computergestützte Verwaltung von Patientendaten sind keine Seltenheit mehr [107]. Durch die Weiterentwicklung von Computersystemen, ist es nun auch möglich eine dreidimensionale digitalisierte Modelldarstellung und Modellanalyse durchzuführen [3, 83].

Die digitale Modellanalyse bringt scheinbar einige praktische Vorteile mit sich. Gipsmodelle sind sperrig und durch die lange Aufbewahrungspflicht ist ein großer

Lagerung notwendig. Zudem kommt es oftmals zu starken Gebrauchsspuren und Frakturen der Gipsmodelle, wenn Modelle verschickt werden [30, 90]. Bei der digitalen Modellanalyse besteht die Kompatibilität zu Patientenverwaltungssystemen und durch die direkte Verarbeitung der Abdrücke entstehen erst gar keine Gipsmodelle. Durch die Einsparung von Kaliumsulfat wird zudem die Umwelt geschont.

Jedoch stellt sich hier noch eine Frage. Sind die digitalen Modellvermessungen in Ihrer Genauigkeit und Präzision vergleichbar oder sogar besser?

In dieser Arbeit werden anhand von Kiefermodellen von Kindern und jugendlichen Patienten mit Milchzahngewissen, frühen oder späten Wechselgebissen digitale und manuelle Messmethoden durchgeführt und miteinander verglichen. Alle verwendeten Kiefermodelle weisen einen einseitigen seitlichen Kreuzbiss auf. Die verwendeten Modelle sollen vergleichbar sein, jedoch gleichzeitig auch dem klinischen Alltag entsprechen.

Insgesamt stehen der Studie 132 Modelle von 66 Patienten zur Verfügung. Es liegen jeweils Anfangs- und Schlussmodelle eines Patienten vor.

Ziel der Studie ist es zu überprüfen, ob bei digital und manuell vermessenen Modellen signifikante Schwankungen auftreten und wie genau und praktisch anwendbar jedes Messverfahren für sich ist.

Im ersten Teil der Arbeit wird nach Beschreibung des unilateralen posterioren Kreuzbisses, detailliert auf die digitale und manuelle Modellanalyse eingegangen.

Im zweiten Teil der Studie wird die Vorgehensweise der Messungen mit den zu bestimmenden Parametern erläutert und die Ergebnisse werden beschrieben.

Im dritten Teil erfolgen die Auswertung der Ergebnisse und die kritische Auseinandersetzung mit der gesamten Studie.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Der seitliche Kreuzbiss

Der seitliche Kreuzbiss wird in der Kieferorthopädie als transversale Okklusionsabweichung bezeichnet. Dieser steht nicht im Zusammenhang mit der sagittalen Bisslage und kann bei allen drei Angle Klassen vorliegen [6]. Der Kreuzbiss kann sowohl beidseitig (bilateral) als auch einseitig (unilateral) auftreten [31, 37].

Wie bei vielen anderen Abweichungen kann auch ein Kreuzbiss als isolierter Befund vorliegen. In den meisten Fällen ist er jedoch Bestandteil einer komplexeren dreidimensionalen Dysgnathie. Ein typisches Begleitsymptom des Kreuzbisses ist ein eher vertikaler Schädelaufbau mit einer mandibulären Retrognathie und/oder einem offenem Biss [31].

#### 2.1.1 Historische Entwicklung

Im Jahre 1844 wurden erstmals die Symptome eines Kreuzbisses von Carabelli beschrieben. Dies bezog sich jedoch ausschließlich auf den Frontzahnbereich. Der Autor beschrieb die klinische Situation als „Mordex tortuosus“. Ein Zickzackgebiss mit „widerlichem Aussehen“ im Frontzahnbereich, das nur unter großer Sorgfalt zu reinigen war [21].

Im Jahre 1910 wurden von Herbst vier verschiedene Okklusionsanomalien beschrieben. Die vierte stellte die Laterognathie oder die auch als Kreuzbiss bezeichnete Anomalie dar [54].

In Angles Vorstellung existierte der Kreuzbiss nicht als eigenständige Anomalie. 1913 beschrieb er die transversale Okklusionsabweichung lediglich als ein Begleitsymptom in den von ihm beschriebenen Angle Klassen I bis III [6]. Diese Ansicht teilte Korkhaus auch noch Jahre später. 1939 beschrieb auch er die transversale Okklusionsanomalie als Begleitsymptom [81].

Im Jahre 1921 wurde von Pfaff der Kreuzbiss als „Bissfehler in seitlicher Richtung“ bezeichnet. Der Oberkiefer war zu klein und der Unterkiefer vergrößert. Zusätzlich wurde die Möglichkeit einer seitlichen Verschiebung des Unterkiefers über die Mittellinie hinaus beschrieben [102].

Durch Izard wurden 1930 verschiedene Deformationen bei Kreuzbissen beschrieben. Die Endognathie, als häufige Kompression des Oberkiefers und die Exognathie, als eine seltene Expansion des Unterkiefers. Die Laterognathie wurde hier als eine Asymmetrie des Unterkieferkörpers verstanden [66].

Im Jahre 1932 beschrieb Körbig eine Kombination einer Oberkieferkompression und einer Unterkieferexpansion, die die Ursache für eine transversale Asymmetrie darstellten. Eine alleinige Beteiligung von Ober- oder Unterkiefer war für ihn nicht möglich. Er diagnostizierte zusätzlich eine häufig einhergehende Verschiebung im Gelenk, seiner Meinung nach war die entstandene Asymmetrie eine Folge eines lateralen Zwangsbisses [76].

Im Jahre 1955 beschrieb Bay einen örtlichen Kreuzbiss, hervorgerufen durch ein Missverhältnis der Alveolarkambreiten von Oberkiefer und Unterkiefer. Weiterhin klassifizierte er einen artikulären Kreuzbiss, der eine dysgnathe Bisslage in transversaler Richtung darstellte [9]. Unterschützt wurde diese These 1959 von Häupl. Er unterschied in einen parodontalen und einen artikulären Kreuzbiss. Der parodontale Kreuzbiss entstand ebenfalls durch ein Missverhältnis der Kieferbasen, jedoch kam eine falsche Verzahnung einzelner Zähne hinzu [49]. Der artikuläre Kreuzbiss entspricht der Klassifizierung von Bay [9].

Im Jahre 1961 wurde durch Schwarz die von Korkhaus beschriebene transversale Anomalie erweitert und bezog alle transversalen Anomalien in sagittaler Richtung mit ein. Er ordnete die linguale und bukkale Non-Okklusion im Seitenzahnbereich und die progene Verzahnung im Frontzahnbereich ebenfalls dem Kreuzbiss zu [81, 125].

### **2.1.2 Ätiologie**

Die Ursache für einen seitlichen Kreuzbiss ist multikausal. Eine derartige Veränderung kann sowohl auf umweltbedingten als auch auf genetischen Faktoren, sowie auf einer Kombination beruhen [69].

Dass die Vererbung eine große Rolle spielt, wird bei Korkhaus, Körbig und Schwarze besonders herausgestellt. Bei der Entwicklung eines schmalen Kiefers spielen möglicherweise genetische Voraussetzungen eine wesentliche Rolle [76, 81, 125].

Im Gegensatz dazu wird in der Literatur auch von bestimmten umweltbedingten Einflüssen gesprochen.

Schwarz stellte 1926 die These auf, dass Kieferlage und Kopflage in enger Verbindung zueinanderstehen, und dass es bei einer falschen Kopfhaltung zu Kieferveränderungen kommen kann [124].

Dass Lutschgewohnheiten bei gleicher Schlafage die Entwicklung eines Kreuzbisses begünstigen können, erklärte Körbig bereits 1932 [76]. 1982 wurde der Zusammenhang zwischen Kreuzbissen und Lutschgewohnheiten in einer Studie von Egermark-Eriksson nachgewiesen [35].

Purcell machte 1984 deutlich, dass die unterschiedlichsten Habits, wie zum Beispiel das Lippenbeißen, Lutschgewohnheiten, Zungenbeißen und Zungendrücken sowie die Schlafage von großer Bedeutung seien [106].

Die Auswirkungen von Lutschhabits auf die Stellung der Kiefer zueinander, wurden im selben Jahr auch von Schlömer beschrieben. Hier lag jedoch der Schwerpunkt auf dem Einfluss von Lutschen am Finger und am Schnuller bei Patienten in der Milchgebissphase [115].

Im Jahre 1970 beschrieb Dausch-Neumann einen verfrühten Verlust von Milchzähnen und bleibenden Zähnen, der zu Kreuzbissen führte [26].

Dass der Atmungstyp ebenfalls eine Ursache für den Kreuzbiss sein könnte, berichteten unter anderem Behfelt, Hultgranz, Oulis, Purcell und Woodside [11, 12, 62, 70, 106, 139].

Eine andere Ursache für einen seitlichen Kreuzbiss stellt die Überentwicklung einer Kieferhälfte verursacht durch verstärktes Wachstum eines Knochentumors dar. Eine Ankylose im Kindesalter sowie Frakturen können hingegen zu einer einseitigen

Unterentwicklung des Kiefers führen. Unterschiedliche Syndrome und Lippen-Kiefer-Gaumenspalten führen ebenfalls zu posterioren Kreuzbissen [75].

Im Folgenden werden noch einmal die häufigsten umweltbedingten postnatalen Faktoren aus der Literaturübersicht aufgelistet:

- Auswirkungen pharyngealer Obstruktionen und Atmungstyp [11, 12, 62, 99, 106, 139]
- Nahrungsaufnahme, Schlucktyp [117]
- Lutschgewohnheiten [35, 76, 115]
- Verschiedene Habits wie z. B. Zungendrücken, Zungenbeißen, Lippenbeißen [35, 106, 117]
- Schlaflage [35, 76, 106, 117]
- allgemeine Haltungsfehler [117]
- vorzeitiger Verlust von Milch- (Stützzoneneinbruch) und/oder bleibenden Zähnen [26]

### **2.1.3 Prävalenz**

Die Prävalenz des posterioren Kreuzbisses ohne spezielle Differenzierung liegt je nach epidemiologischer Studie zwischen 7 und 23 % [43, 65, 67, 84, 87, 89, 132, 133].

Die Prävalenz für speziell einen unilateral posterioren Kreuzbiss im frühen Wechselgebiss wird zwischen 4 und 23 % angegeben [27, 28, 36, 47, 50, 58, 63, 71, 74, 84, 85, 86, 101, 131].

Die Spannbreite der Angaben zur Prävalenz setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen. So können unterschiedliche Altersgruppen, Studien in unterschiedlichen Regionen und unterschiedliche ethnische Gruppe eine gewisse Spannbreite in der Prävalenz verursachen [133].

Infante und Kutin geben bei weißen amerikanischen Kindern eine Wahrscheinlichkeit von 7 % an [64, 85].

Die Werte bei afroamerikanischen Kindern liegen bei 1-2 % und sind somit 3,5- bis 7-fach niedriger [64, 71].

In Europa gibt es verschiedene Studien, die unterschiedliche Ergebnisse generierten.

Day veröffentlichte 1971 eine an schwedischen Schulkindern im Alter von 11 bis 12 Jahren durchgeführte Studie, die ergab, dass bei 10,6 % der untersuchten Kinder ein unilateral posteriorer Kreuzbiss vorlag [27].

Im Jahre 1973 wurde bei schwedischen Schulkindern zwischen 7 und 13 Jahren eine Prävalenz von 10,7 % festgestellt [131].

Kisling und Krebs führten 1976 eine Studie an 3-jährigen Kindern in Dänemark durch. Diese zeigten eine Prävalenz von 13,2 % [74].

Eine an belgischen Kindern durchgeführte Studie ergab, dass bei 3-6 Jahre alten Kindern die Prävalenzen für einen rechtsseitigen lateralen Kreuzbiss bei 7,2 % und für einen linksseitigen lateralen Kreuzbiss bei 8,9 % liegen [28].

Bei finnischen Kindern im Alter von 5 Jahren wurde im Jahre 1987 von Heikinheimo eine auftretende Häufigkeit von 20,4 % festgestellt [50].

Der unilateral posteriore Kreuzbiss stellt eine im Dysgnathiespektrum relativ häufig auftretende Abweichung dar. Diese Anomalie wurde kombiniert bei differenten Dysgnathien und in verschiedenen Altersgruppen festgestellt. Es konnte verdeutlicht werden, dass diese pathologische Entwicklung meist in frühen Jahren entsteht und keine Spontankorrekturen zu erwarten sind [134].

#### **2.1.4 Morphologie**

Bei einem einseitigen Kreuzbiss muss zwischen einer asymmetrischen Form sowohl des oberen als auch des unteren Zahnbogens, einer morphologischen Asymmetrie der skelettalen Strukturen im Bereich der Maxilla oder der Mandibula und einer funktionell bedingten lateralen Zwangsposition der Mandibula in der Interkuspitationsposition unterschieden werden [31].

Thilander und Lennardsson veröffentlichten 2002 eine Studie, die deutlich machte, dass es sowohl im oberen als auch im unteren Zahnbogen zu Fehlstellungen und Asymmetrien kommen kann [130].

Im eugnathen Gebiss okkludieren die bukkalen Höcker der unteren mit den Längsfissuren der oberen Seitenzähne. Beim Kreuzbiss überragen die bukkalen Höcker

einzelner Zähne, der Zähne einer Seite oder beider Seiten des Unterkieferseitenzahnbereiches, die Zähne des Oberkieferseitenzahnbereiches bukkalwärts. Die palatinalen Höcker der Zähne des Oberkieferseitenzahnbereiches überragen die Zähne des Unterkieferseitenzahnbereiches im Kreuzbiss lingualwärts [76]. Die transversale Verschiebung kann aber auch soweit reichen, dass die oberen Zähne an den unteren lingual vorbeibeißen (linguale Nonokklusion). Das entgegengesetzte Extrem liegt vor, wenn die oberen Seitenzähne in Okklusion vollständig bukkal vor den unteren stehen (bukcale Nonokklusion) [125].

Dausch-Neumann beschreibt diese Anomalien als Linguo- oder Vestibulookklusion [26].

Schmuth (1994) bezeichnet die dysgnathe Bukkalokklusion der oberen Zähne als Scherenbiss oder Vorbeibiss [116]. Klink-Heckmann und Bredy (1990) fassen den Kreuzbiss, die bukkale sowie die linguale Nonokklusion unter dem Leitsymptom der lateralen Okklusionsstörung zusammen [75]. Purcell definiert jegliche abnormale bukkolinguale Beziehung der okkludierenden Seitenzähne als Kreuzbiss [106]. Gemäß Dausch-Neumann ist der Kreuzbiss nicht auf das Seitenzahngebiet beschränkt und kann auch auf die Okklusion der Frontzähne übergreifen [26]. Die extreme Ausprägung stellt dann der „zirkuläre Kreuzbiss“ dar, der eigentlich zum „progenen Formenkreis“ zählt und wortsinngemäß kein Kreuzbiss sei [117]. Außerdem treten kombinierte Formen auf, ein- oder beidseitiger laterale Kreuzbisse mit umgekehrtem frontalem Überbiss.

Kreuzbisse können sowohl in der ersten als auch in der zweiten Dentition auftreten.

Eine mandibuläre Deviation bedingt eine Verlagerung der Kiefergelenke. Diese kann als Parallelverschiebung oder als Diagonalverschiebung auftreten. Letztere geht mit einer Rotationsbewegung des Unterkiefers einher, woraus zusätzlich zu der transversalen Anomalie sagittale Differenzen rechts und links resultieren [75]. Nicht immer lassen sich die Ursachen des Kreuzbisses eindeutig bestimmen, da funktionelle Anpassungsvorgänge auftreten. So ist zum Beispiel häufig ein beidseitiger lateraler Kreuzbiss, der durch eine symmetrische Größendiskrepanz der beiden Kiefer entstanden ist, durch alveoläre Veränderungen als einseitiger Kreuzbiss „maskiert“ [1]. Häufig treten auch Mischformen auf, bei denen sich die gnathische Abweichung des Unterkiefers erst mit der artikulären Adaptation eines Zwangsbisses entwickelt [117].

Im Falle des einseitigen Kreuzbisses muss jedoch zwischen einer asymmetrischen Morphologie sowohl des oberen als auch des unteren Zahnbogens, einer morphologischen Asymmetrie der skelettalen Strukturen im Bereich der Maxilla oder der Mandibula und einer funktionell bedingten lateralen Zwangsposition der Mandibula in der Interkuspositionsposition unterschieden werden [31].

Thilander und Lennardsson veröffentlichten 2002 eine Studie, die deutlich machte, dass es sowohl im oberen als auch im unteren Zahnbogen zu Fehlstellungen und Asymmetrien kommen kann [133].

In der dysmorphologischen Klassifikation wird der unilateral posteriore Kreuzbiss als eine transversale, asymmetrische Dysgnathie beschrieben. Die folgende Tabelle veranschaulicht die verschiedenen Dysmorphien eines Leitsymptoms.

Dentale Leitsymptome	Hauptrichtung	Region	Dysmorphien	Angle-Klassen
Lateraler Kreuzbiss, linguale Nonokklusion („Kreuzbiss“)	Transversal symmetrisch oder asymmetrisch	Skelettal	-transversale maxilläre Unterentwicklung -transversale mandibuläre Überentwicklung	Nicht korrespondierend
	Transversal symmetrisch oder asymmetrisch	Alveolär	-transversale Unterentwicklung des Oberkieferalveolarfortsatzes -transversale Überentwicklung des Unterkieferalveolarfortsatzes	
	Transversal symmetrisch oder asymmetrisch	Dental	-palatinale Kippung der oberen Seitenzähne -bukale Kippung der unteren Seitenzähne	

Tabelle 1: Dysmorphologische Klassifikation transversale Dysgnathien [37]

### **2.1.5 Diagnostik**

Zur Vorbereitung eines individuellen Therapieplanes ist eine ausführliche Diagnostik erforderlich. Bei der Befundung sind eine Anamnese, eine klinische Untersuchung und eine Fotoanalyse für die Beurteilung von Gesichtssymmetrien sowie eine adäquate Röntgendiagnostik obligat [20, 130]. Einige Autoren empfehlen speziell posterior-anteriore und submentale Schädelaufnahmen anzufertigen. Diese ermöglichen eine Analyse der betroffenen Regionen [1, 30, 38, 40, 106, 120].

### **2.1.6 Therapie**

National [29, 130] und international [22, 85, 104] ist man sich über die kieferorthopädische Frühbehandlung zur Herstellung einer regelrechten okklusalen Situation für die weitere Gebissentwicklung weitgehend einig. Von einer Spontankorrektur ist nicht auszugehen [85, 121, 134]. Ein zu später Behandlungsbeginn zwischen der ersten und zweiten Wechselgebissperiode führt zu einer verlängerten Therapiedauer und einem erhöhten Behandlungsaufwand [85, 88]. Eine skelettale Adaptation im Erwachsenenalter kann eine kombiniert kieferorthopädische und kieferchirurgische Behandlung notwendig machen [48, 58, 69, 86, 97].

Bei der kieferorthopädischen Frühbehandlung, bei der sich Patienten im Wachstum befinden, wird eine Vielzahl von Behandlungskonzepten beschrieben. Im Milchgebiss besteht eine begrenzte Möglichkeit ohne festsitzende oder herausnehmbare Apparaturen durch das Einschleifen an den Milcheckzähnen die Fehlkontakte und damit die Zwangsführung zu minimieren, um den Kreuzbiss aufzuheben [2, 88, 130, 134]. Diese Therapie ist jedoch nur bei einer ausreichenden Zahnbogenbreite im Oberkiefer indiziert. Die Studie von Lindner [88] empfiehlt einen Zahnbogenbreitenüberschuss von 3,3 mm im Oberkieferzahnbereich im Vergleich zum Unterkiefer.

Alternative Therapien stellen herausnehmbare Geräte dar, wie eine Dehnplatte, eine Gaumennahterweiterungsapparatur oder eine Quadhelix [14, 16, 19, 39, 48, 55, 84, 88, 108, 111, 134]. Durch eine integrierte Schraube im Gaumenbereich, die wöchentlich einmal bis dreimal verstellt wird, kommt es zu einer transversalen Nachentwicklung [69]. Aufgrund der noch nicht verschlossenen Oberkiefersutur in der Milch- und frühen

Wechselgebissphase sind nur geringe Kräfte von 10 bis 20 Ncm<sup>2</sup> erforderlich [59, 105]. Dieses Behandlungskonzept wird als eine „sanfte“ Gaumennahterweiterung beschrieben. Bei einer „forcierten“ Gaumennahterweiterung werden die Kräfte auf 15 bis 50 Ncm<sup>2</sup> erhöht [14, 41, 51]. Bei einer bereits verschlossenen Suture wird chirurgisch eine subtotale LeFort I Osteotomie mit Suturenschwächung durchgeführt und anschließend ein Distraktor eingesetzt. Diese Therapie wird jedoch erst bei abgeschlossenem Wachstum durchgeführt und auch als „chirurgische Gaumennahterweiterung“ bezeichnet. Ein sichtbarer Beweis für die Eröffnung ist das entstehende Diastema mediale oder eine röntgenologische Überprüfung mithilfe einer Oberkieferaufbissaufnahme [14]. Nach Ansicht der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO) ist das Anfertigen von Röntgenbildern dieses Typs aufgrund der hohen Strahlenbelastung nur bei strenger Indikation gegeben [29].

## 2.2 Modellanalyse

Die Modellanalyse ist ein wichtiger Teilschritt der kieferorthopädischen Diagnostik. Sie vermittelt entscheidende Erkenntnisse für die Bestimmung des Behandlungsziels und Behandlungsplans [42]. Die Modellanalyse stellt ein dreidimensionales metrisches Verfahren außerhalb des Mundes auf der Basis von Modellen in den Raumebenen dar. Anhand der Modelle kann man die Kiefer und ihre Lage zueinander bestimmen [60]. Das Besondere der Modellanalyse ist, dass alle drei Dimensionen, die sagittale, die transversale und die vertikale, im direkten Verfahren an einem Untersuchungsobjekt überprüft werden können [42, 60].

### 2.2.1 Allgemeine historische Entwicklung der Modellanalyse

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts kam es zu den ersten analytischen Auswertungen von Modellen im Bezug auf die kieferorthopädische Diagnostik. 1899 führte Angle die „Classification of malocclusion“ ein. Hierbei wurde die sagittale Relation der Ober- und Unterkieferzahnbögen zueinander dargestellt [5]. Diese Einteilung berücksichtigt jedoch keine transversalen oder vertikalen Abweichungen, wie den seitlichen Kreuzbiss oder den frontal offenen Biss. Mittlerweile ist die These, den einzelnen Klassen der Malokklusion lägen bestimmte ätiologische Faktoren zugrunde, aufgehoben worden. Die Einteilung wird heute nur als morphologische Gliederung angewendet [4, 7].

Um 1900 befassten sich Gysi (1895), Herber (1907) und Körbitz (1909) mit der geometrischen Konstruktion idealer „normaler“ Zahnbögen [46, 53, 77, 78].

Die dreidimensionale Orientierung der Kiefermodelle wurde erstmals 1909 zur Diagnostik herangezogen. Körbitz verwendete als diagnostischen Ausgangspunkt die Raphe palatina.

Die Raphe Medianebene ist die Grundlage für die dreidimensionale Modelluntersuchung. Sie verläuft vom distalen Ende der Papilla inzisiva ausgehend, dem Gaumengewölbe folgend, nach dorsal. Auf der Raphe palatina wird die Mittellinie festgelegt. Diese Ebene ist die Grundlage für die dreidimensionale Modelluntersuchung [42, 77, 78]. Pont (1909) und Tonn (1937) beschäftigten sich mit der intermaxillären

Zahnbreitenkongruenz der Ober- und Unterkieferzähne („Tonn-Index“) sowie mit den Relationen von Zahnbreiten zu den transversalen Zahnbogenbreiten (Pont`scher Index) und definierten klinische Indices [103, 136]. Im Jahre 1939 entwarf die Kieferorthopädin von Schnitzer an der Universität Heidelberg einen „dreidimensionalen Behandlungsplan“ (Abb. 1) mit guter Übersichtlichkeit, der sich nicht nur an den Universitäten sondern auch bei verschiedenen Krankenkassen als erforderliche Grundlage für den diagnostisch begründeten Antrag einer kieferorthopädischen Behandlung bewährt hat [42, 119]. Bolten befasste sich 1958 und 1962 erneut mit den Relationen der Ober- und Unterkieferzahnbreiten (Bolten-Relation) [17, 18]. Narwarth (1968), Moyers (1973) und Dröschl (1977) beurteilten die Stützzonen im Seitenzahnbereich und publizierten Wahrscheinlichkeitstabellen mit Sollwert-Angaben für die Stützzonengröße [33, 92, 95].

SJ:		_____		
	S	Tr	V	
⊥				
T				
⊥				

Abbildung 1: Der dreidimensionale kieferorthopädischer Befund nach E. v. Schnitzer, Originalausschnitt aus der kieferorthopädischen Behandlungskarte (1939). In der Kopfleiste wurde links die Schneidezahnbreite (SI) und im Zahnkreuz rechts der Zahnbefund nach dem Status Präsens eingetragen. S = sagittale, Tr = transversale, V = vertikale dysgnathe Befunde. Das Symbol oben links steht für Oberkiefer, das mittlere linke Zeichen steht für Unterkiefer und das untere linke Symbol steht für okklusionbezügliche Merkmale.

### **2.2.2 Das Kiefermodell**

Bei der manuellen Modellanalyse spielen der genau abgeformte Kiefer und das korrekt hergestellte Kiefermodell eine entscheidende Rolle.

In der Regel wird für die Abdrucknahme ein relativ festes Alginat verwendet [30]. Um den Anforderungen zu entsprechen, müssen Zähne, Zahnbogen, der Alveolarfortsatz einschließlich Umschlagfalte, Gaumen, Tubera maxillae sowie die Bänder mit ihren Ansätzen exakt mit allen Einzelheiten wiedergegeben werden [42]. Zusätzlich sollten noch die apikalen Basen, die Umschlagfalte und der Sublingualraum abgebildet sein [30]. Die Abgüsse der Zahnbögen von Oberkiefer und Unterkiefer müssen durch einen Wachsbiß zweifelsfrei zueinander orientiert sein [42].

Damit eine korrekte Analyse der Modelle möglich ist, muss das Trimmen der Modelle nach den drei Orientierungsebenen ausgerichtet werden.

Die dreidimensionale Orientierung der Kiefermodelle wurde erstmals 1909 zur Diagnostik herangezogen. Körbitz verwendete als diagnostischen Ausgangspunkt die Raphe palatina [77, 78].

Die Raphemedianebene ist die erste Orientierungsebene. Sie ist die Grundlage für die dreidimensionale Modelluntersuchung und verläuft vom dorsalen Ende der Papilla incisiva ausgehend, dem Gaumengewölbe folgend, nach dorsal. Auf der Raphe palatina wird die Mittellinie festgelegt. Diese Ebene ist die Grundlage für die dreidimensionale Modelluntersuchung [42, 77, 78].

Die zweite Orientierungsebene, die Tuberebene, tangiert die beiden Tubera maxillae distal vom beiderseitigen Molarenbereich. Die vertikal orientierte Tuberebene steht senkrecht auf der ebenso lotrecht ausgerichteten Raphemedianebene. Die dorsale Standfläche korrekt beschliffener oder gesockelter Kiefermodelle verläuft zu der Tuberebene parallel. Werden die beiden Kiefermodelle auf den Rückflächen der Modellsockel aufgestellt, müssen die Okklusionsbeziehungen der Zahnreihen oder der Ober- und Unterkiefer auch ohne den dazwischen gelagerten Wachsbiß zweifelsfrei wiedergegeben sein [42].

Die dritte Orientierungsebene ist die im rechten Winkel zu den genannten Ebenen stehende Kauebene. Sie ist eine horizontal ausgerichtete Hilfslinie, die sich im Oberkiefer des regulär okkludieren Gebisses an dem Verlauf der Höckerspitzen der

Eckzähne bis zu den ersten Molaren ausgerichtet. Erreicht die Mehrzahl dieser Zähne im eugnathen oder dysgnathen Gebiss eine plane Unterlage, so bildet diese für kieferbezügliche Untersuchungen eine hinreichend genaue Richtebene [42].

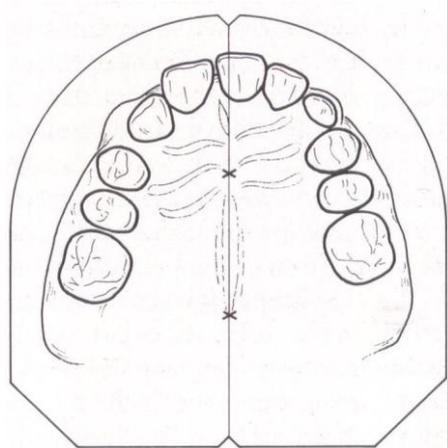


Abbildung 2: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell mit eingezeichneten Visierpunkten zum Bestimmen der Raphemedianlinie [42].

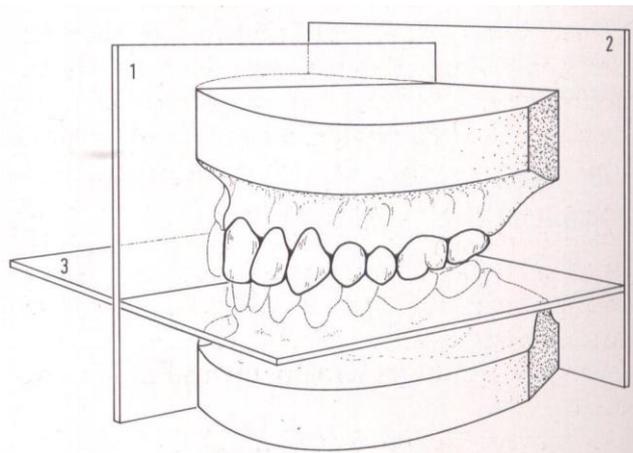


Abbildung 3: Kiefermodellpaar mit Orientierungsebenen. 1=Raphemedianebene, 2=Tuberebene, 3=Kauebene [42].

Das Oberkiefermodell wird beim Sockeln oder Beschleifen nach den drei Bezugsebenen orientiert. Hierdurch entsteht das sogenannte „3-D-Modell“, das für die Modellanalyse verwertbar ist. Verläuft die Kauebene schräg zum Modellsockel, können bei vertikaler Aufsicht Projektionsfehler unterlaufen. Sagittale Dimensionen würden verkürzt wiedergegeben werden [42].

Es wird deutlich, dass ein Großteil der manuellen Modellanalyse von dem korrekt abgeformten, hergestellten und getrimmten Modell abhängt.

Im Folgenden können nun mithilfe von apparativen Hilfsmitteln, die im nächsten Kapitel „historische Entwicklung“ genauer erläutert werden, die verschiedensten Parameter der Modellanalyse bestimmt werden. Zusätzlich zu den Hilfsmitteln, wie zum Beispiel der Schieblehre, dem Stechzirkel oder dem Bernklaubesteck, können einzelne Markierungen auf dem Kiefermodell vorgenommen werden. Sie sollten punktförmig mit einem dünnen spitzen Bleistift ausgeführt werden. Besonders geeignet sind Feinzeichenstifte mit 0,5 mm starker mittelharter Mine [42].

### **2.2.3 Diagnostische Aspekte der Modellanalyse**

Die Vermessung der Modelle ist ein wichtiger Teil der kieferorthopädischen Befunderhebung. Dies ist damit begründet, dass sie einen genauen Einblick in Einzelheiten der Zahnstellung und der antagonistischen Beziehungen erlaubt [122].

Die wesentlichen Komponenten der Modellanalyse sind:

- Beurteilung der Breite und Länge der Zahnbögen nach Richt- oder Sollwerten
- Symmetrievergleich in der sagittalen und transversalen Ebene einschließlich der Feststellung von mandibulären Abweichungen, Zahnbogenmittenverschiebungen und Vergleichen der Kongruenz bzw. Inkongruenz zwischen Zahnbogenmitten und Kiefermitten
- Erfassung von Stellungsanomalien einzelner Zähne
- Einschätzung und Messung der Platzverhältnisse in den Zahnbögen (Platzbedarf und Platzangebot)
- Feststellung von Disharmonien und Beurteilung der Zahnbreiten
- Okklusionsbefund

Als ein wichtiger Messparameter dient dabei der sogenannte "Overbite", der in der Literatur auch als "vertikale Frontzahnstufe" oder "frontaler Überbiss" bezeichnet wird.

Der Overbite ist als der Abstand zwischen den oberen und unteren Inzisalkanten der mittleren Schneidezähne definiert. Die Messung erfolgt senkrecht zur Okklusionsebene.

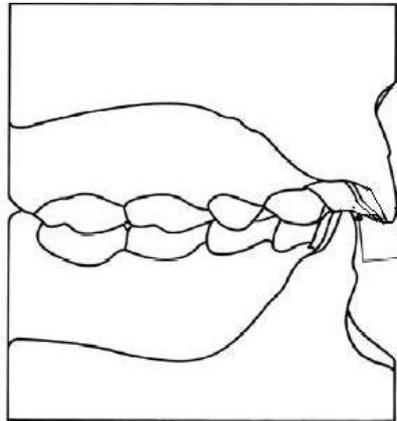


Abbildung 4: Overbite – Vertikale Frontzahnstufe [61]

In der Literatur finden sich differierende Mittelwertangaben. So wird der Normwert von Drescher [32, 45] mit 2 mm +/- 2 mm angegeben, von Nötzel [96] mit 2 bis 3 mm. Von einem dentalen Tiefbiss spricht man, wenn ein Überbiss von mehr als 3 mm vorliegt, der bis hin zu einem traumatischen Einbiss in die Gaumenschleimhaut oder vesikuläre Mukosa reichen kann.

## **2.2.4 Manuelle Modellanalyse**

### **2.2.4.1 Historische Entwicklung der manuellen Modellanalyse**

Im Laufe des 20. Jahrhunderts kam es zu großen Weiterentwicklungen der diagnostischen Parameter und es veränderten und verbesserten sich ebenfalls stetig die Messinstrumentarien.

Es wurden zahlreiche Hilfsmittel zur metrischen Modellanalyse entwickelt, welche bis heute zur Messung von Zahnbreiten, Stützzonen, transversalen Ausdehnungen der Zahnbögen sowie für den Symmetrievergleich verwendet werden.

Für die linearen Streckenmessungen wurden damals wie heute Einsatz- und Stechzirkel in verschiedenen Versionen verwendet. Der Zirkel nach Körbitz (1909) weist abgewinkelte Branchen auf [77, 78]. Alternativ kam der Präzisionszirkel Aesculap von der Firma Dentarum oder ein langschenkeliger Zirkel mit beidseits abwinkelbaren Schenkeln der Firma Ecobra auf den Markt. Zur Bestimmung der transversalen Messabstände, der Zahnbogenhöhe und der Gaumentiefe entwickelte Korkhaus (1926, 1928) den „dreidimensionalen Zirkel“ [79, 80].

Das Instrument ermöglicht Messungen intraoral und extraoral an Kiefermodellen. Auch wenn es verschiedene Versionen von Zirkeln gibt, so existieren doch einige Voraussetzungen um möglichst genaue Werte an den Kiefermodellen oder direkt intraoral zu erhalten. Die Schenkellänge sollte mindestens 10cm betragen und bei intraoralen Messungen eine abgewinkelte Spitze aufweisen. Desweiteren dürfen die Zirkelschenkel nicht nachfedern, da es sonst zu einer Verfälschung der Messergebnisse kommt [42].

Ein weiteres Instrument ist die Schieblehre, die noch bis heute in der kieferorthopädischen Diagnostik verwendet wird. Zum Beispiel kommt die bereits 1951 entwickelte Schieblehre nach Beerendonk damals wie heute zum Einsatz [10]. Im Jahr 1977 kam die Additionsschieblehre nach Kinast auf den Markt [73]. Es folgte 1991 die elektronische Additionsschieblehre „Latimes“ [23]. Diese oder ähnliche Modelle sind von verschiedenen Firmen noch heute im Handel erhältlich. Vorteile dieser Instrumentarien sind die hohe Genauigkeit. Sie sind weiterhin besonders für Zahnvermessungen lückig stehender Zähne eine ideale Hilfe. Bei vorhandenen Engständen sind sie den zuvor beschriebenen Stechzirkeln allerdings unterlegen [42].

Um Parallelachsenfehler zu vermeiden, wurden sogenannte Symmetroskope oder auch Messtische entwickelt. Sie sollten exakte Symmetrievergleiche in der Sagittalen und Transversalen ermöglichen [42]. Es sollten Blickrichtungsfehler ausgeschaltet werden [45, 142]. Die unter anderem von Korkhaus entworfenen Messtische ermöglichten eine systematische dreidimensionale Untersuchung von unbearbeiteten Kieferabgüssen, beschliffenen oder gesockelten Kiefermodellen. Die jedoch meist komplizierten und kostspieligen Symmetroskope setzten sich in der in der Praxis nicht durch und dienten eher wissenschaftlichen Aspekten. Heute sind sie nicht mehr im Handel erhältlich [42].

Alternative Messinstrumente sind die von Korkhaus und Bernklau entwickelten Messbestecke. Im Jahre 1931 entwickelte Korkhaus ein orthodontisches Besteck, welches aus einem kleinen Messzirkel, einer drehbaren Orthometerskala und zwei dünnen Scheiben aus Kunststoff, die mit Messnetzen versehen sind, besteht [82]. Das 1953 von Bernklau entwickelte Besteck besteht aus einem Messstab und einer verbesserten 1-2 mm starken Messplatte mit einem Millimeter und Zentimeterraster von 50 x 60 mm Größe [15]. Zusätzlich ist die Platte in der Mitte mit zwei gaumenwärts, vertikal verlaufenden verschiebbaren Stiften versehen. Durch ihre spitz zulaufende Form orientieren sie sich an der Raphemedianebene. Die Stifte ermöglichen das möglichst korrekte Anlegen an die Kauebene [42].

Ähnliche Messplatten, die ebenfalls gute Ergebnisse liefern sind die Visiermessplatten nach Schmuth (1955) [118] und die Analyseplatte von Stahl (1965) [128]. Schmuth entwickelte zusätzlich einen Spiegelmessgriff, der das Messen der sagittalen Frontzahnstufe ermöglicht, ähnlich dem Messstab von Bernklau [42].

Weise aus Düsseldorf entwickelte ein sehr anwenderfreundliches System zur diagnostischen Modellanalyse, das sogenannte „Ortho-Zet“. Auf einfache Weise lassen sich schnell die wichtigsten Parameter manuell bestimmen [138].

## **2.2.5 Digitale Modellanalyse**

### **2.2.5.1 Historische Entwicklung bis zur digitalen Modellanalyse**

Erste Alternativen zum manuellen Ausmessen der Kiefermodelle stellte die Vermessung und Analyse von Kiefermodellfotografien dar.

Schwarze wertete Fotografien von Modellen aus, die mit hinreichend großem Abstand aufgenommen wurden. Dies verhinderte mögliche Blickfehler [126]. Karwetzky verwendete einen am Winkelspiegel verschiebbaren Modelltisch, mit dem er fotografische Aufnahmen aus verschiedenen Blickrichtungen anfertigte [68].

Eine Weiterentwicklung der Fotografie stellte die Stereophotogrammetrie da. Tham wertete zum Beispiel von Oberkiefer und Unterkiefer aquistanten Konturlinien stereoskopische Fotografien aus. Durch entstehende Schnittpunkte können

Okklusionskontakte ermittelt werden [129]. Schenk veröffentlichte eine Studie in dem die kieferorthopädische Modellanalysendiagnostik mit Hilfe von Nahstereophotometrie durchgeführt wurde [112, 113].

Das Problem dieser Messmethode ist jedoch, dass ein großer Teil der Informationen verloren geht. Die Fotografien stellen die dreidimensionalen Kiefermodelle nur noch zweidimensional dar [30].

Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit der Verwendung von Messmikroskopen. Das wohl bekannteste Mikroskop ist das „Optocom“, das van der Linden an der Universität in Nijmegen verwendet hat [137]. Es besitzt ein Monookular mit zehnfacher Vergrößerung. Aber auch hier können keine dreidimensionalen Informationen gewonnen werden [30]. Ein weiteres Messmikroskop stellt das durch Hense verwendete Stereomikroskop mit zwanzigfacher Vergrößerung dar [52]. Die Messmikroskope haben eine sehr hohe theoretische Genauigkeit von 0,01 mm [30].

In Kombination und Weiterentwicklung der verschiedenen Messmethoden und dem Einzug der Computersysteme wurden dreidimensionale Messtechniken und Vermessungsgeräte entwickelt. Ein mechanisches Abtastverfahren von Keß und Kolbowski ermöglicht nun eine dreidimensionale Vermessung [72]. Die von Herren et al. und Herren und Jordi entwickelte Arkogrammetrietechnik verwendet ein Messmikroskop zur genauen Feststellung der Messpunkte [56, 57]. Dieses wurde in einer Weiterentwicklung von Gebauer mit einem Computer verbunden [44]. Das zuvor bereits beschriebene „Optocom“ wurde durch einen zweiten Arbeitsgang erweitert und so konnte die dritte Dimension hinzugefügt werden. In einer Studie von Moyers et al. wurde die wohl umfangreichste Messserie vorgestellt und diese ist durch die Verwendung eines Mikroskops sehr genau [93].

Die Holographie stellt eine weitere dreidimensionale Messtechnik dar. Es ist eine laserphotographische Technik zur Aufnahme und Rekonstruktion von Bildern, die dreidimensionale Aspekte des Objektes beibehält. Das Produkt dieser Technik, eine dreidimensionale Darstellung eines Objektes, heißt Hologramm [90]. Autoren wie Eckstein (1974), Schwaninger (1977), Ryden (1982) und Keatin (1984) stellten die Holographie als Modellvermessungsmethode vor [34, 109, 123].

Die verschiedenen Vermessungsmethoden und Vermessungsgeräte sollten einerseits die Genauigkeit der Messungen verbessern und andererseits umfangreichere Analysen

ermöglichen. Die zur Analyse und als Situationsmodelle dienlichen Gipsmodelle sind sperrig. In Praxen und Kliniken führt die Aufbewahrungspflicht von diagnostischen Unterlagen oft zu Problemen bei der Unterbringung. Zudem sind Gipsmodelle fragil und weisen oft Frakturen und starke Gebrauchsspuren auf, die bestimmte Messungen für Nachuntersuchungen unmöglich machen. Bei der Kommunikation mit Krankenkassen und Kollegen müssen Modelle sorgfältig verpackt werden, damit sie gegen Bruch gesichert sind. Nicht selten erhält der Behandler trotz aller Vorsichtsmaßnahmen beschädigte Modelle zurück [30, 110].

Um all den Nachteilen entgegen zu wirken, die im vorstehenden Abschnitt beschrieben wurden, kam es zur Digitalisierung von Modellen. Erste Entwicklungen dieser Art gab es 1989 durch Yamamoto et al. [141]. Durch die Weiterentwicklung der Computersysteme wurde es in den folgenden Jahren möglich, eine dreidimensionale digitalisierte Modelldarstellung und Modellanalyse durchzuführen [3, 83, 91, 127, 140]. Generelle Ziele eines Digitalmodells sind ähnlich wie bei der Holografie eine einfache Anbindung der Modelle und deren Analysen an die Patientenkartei des Dokumentationssystems sowie Platzersparnis bei der Lagerung der Modelle [24, 100]. Insbesondere kann bei jeder Behandlungssitzung schnell und einfach auf die Datensätze zugegriffen werden [24]. Zilbermann et al. stuft die Genauigkeit von digitalen Modellen im Vergleich mit einer herkömmlichen Analyse als hoch ein [143]. Weitere Studien zeigen ähnliche Ergebnisse. Mullen zeigte, dass eine Analyse mit seiner computerbasierten Modellanalyse „emodels“ signifikant schneller ist und dabei keine Genauigkeitsverluste zeigt [94]. Motohashi und Kuroda zeigten in ihrer Studie, dass, verglichen mit der konventionellen Modellanalyse, die computergestützte Modellanalyse Vorteile bezüglich schnellerer Bearbeitung und quantitativer Auswertung der dreidimensionalen Bewegung des einzelnen Zahnes relativ zu der Craniofacialenebene hat. Anwendungen in klinischen Versuchsreihen zeigten, dass die Verwendung des Systems die Planung am Modell für die orthognathe Chirurgie vereinfacht [91].

### **2.2.5.2 Bekannte Methoden und Systeme der digitalen Modellanalyse**

Als bekannte kommerziell verfügbare Systeme stehen „OrthoCad“ (Cadent, Carlstadt, NJ, USA) (Abb.: 4), „OrthoCast“ (Ortho Cast, High Bridge, NJ, USA) (Abb.: 5-7), „E-Model“ (GeoDigm, Chanhassen, MN, USA) (Abb.: 8/9) und „Digimodel“ (Orthoproof, Nieuwegein, Niederlande) (Abb.: 10/11) zur Verfügung. Die Systeme unterscheiden sich im Hinblick auf die Generierung des dreidimensionalen Datensatzes: „OrthoCad“, „OrthoCast“ und „E.Model“ benutzen ein Lasersystem, „Digimodel“ demgegenüber ein CT-basiertes System zur Generierung der digitalen Modelldatensätze. Als Grundlage für die Digitalisierung werden Abdrücke verwendet, die am Patienten in der Praxis genommen werden und dann an die Firma versandt werden. Es entsteht gar kein Gipsmodell, so dass mögliche Genauigkeitsfehler des Gipses völlig ausgeschaltet werden können. Die jeweilige Firma erzeugt aus dem Abdruck ein Datenmaterial, das die Zahnoberflächen und das umliegende Weichgewebe darstellen. Die Daten werden über das Internet an den Auftraggeber zurückgesandt. Mithilfe einer für jede Firma spezifischen Software wird dem Benutzer ein dreidimensionales Kiefermodell visualisiert. An diesem Modell können dann sämtliche Parameter bestimmt werden [107].

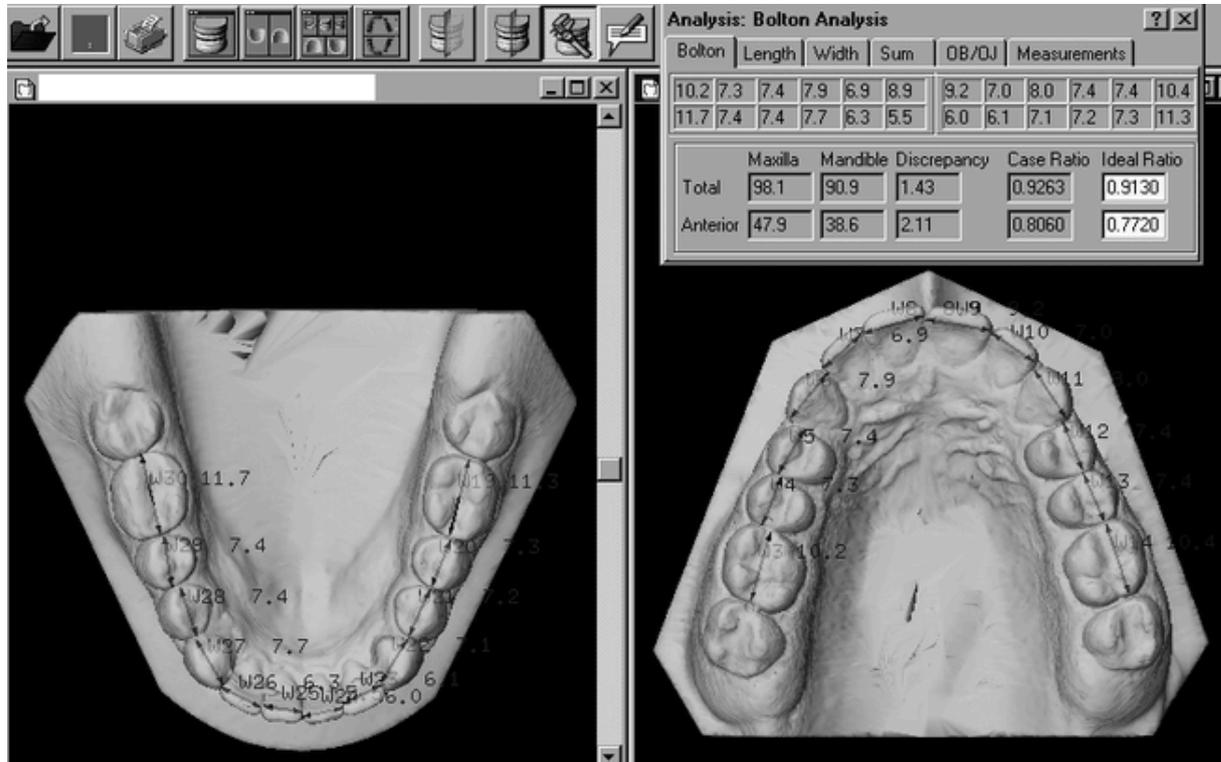


Abbildung 5: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCad [135]

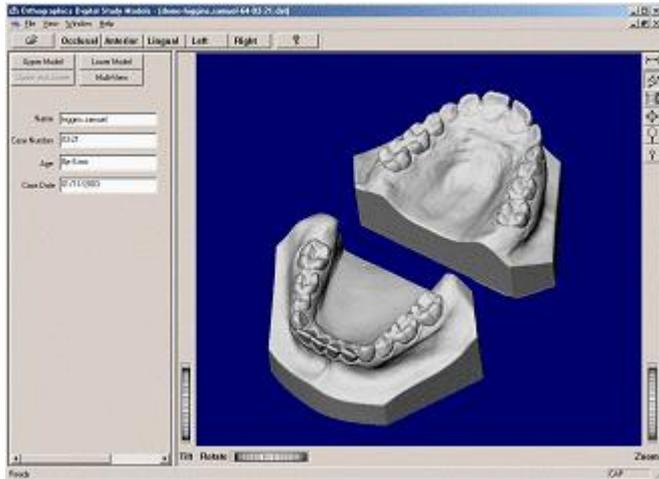


Abbildung 6: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCast [98]

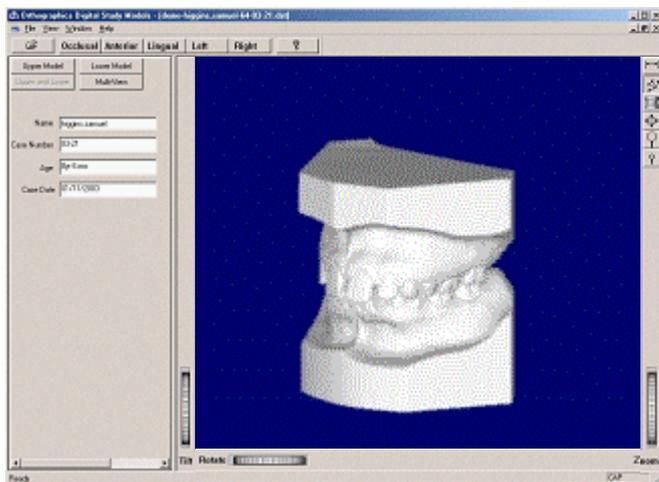


Abbildung 7: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCast [98]

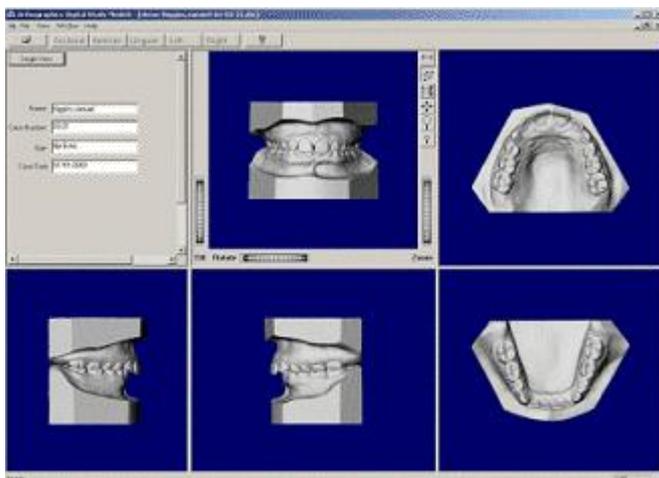


Abbildung 8: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCast [98]



Abbildung 9: Softwarebeispiel „E-Model“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Ego Dim. [25]

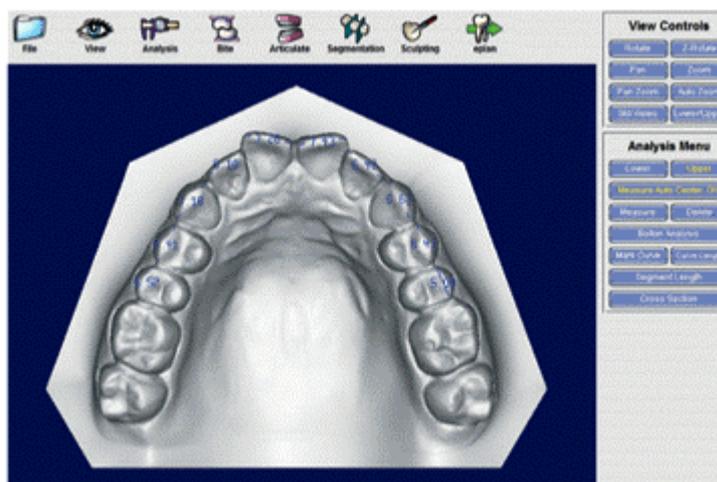


Abbildung 10: Softwarebeispiel „E-Model“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Ego Dim. [25]

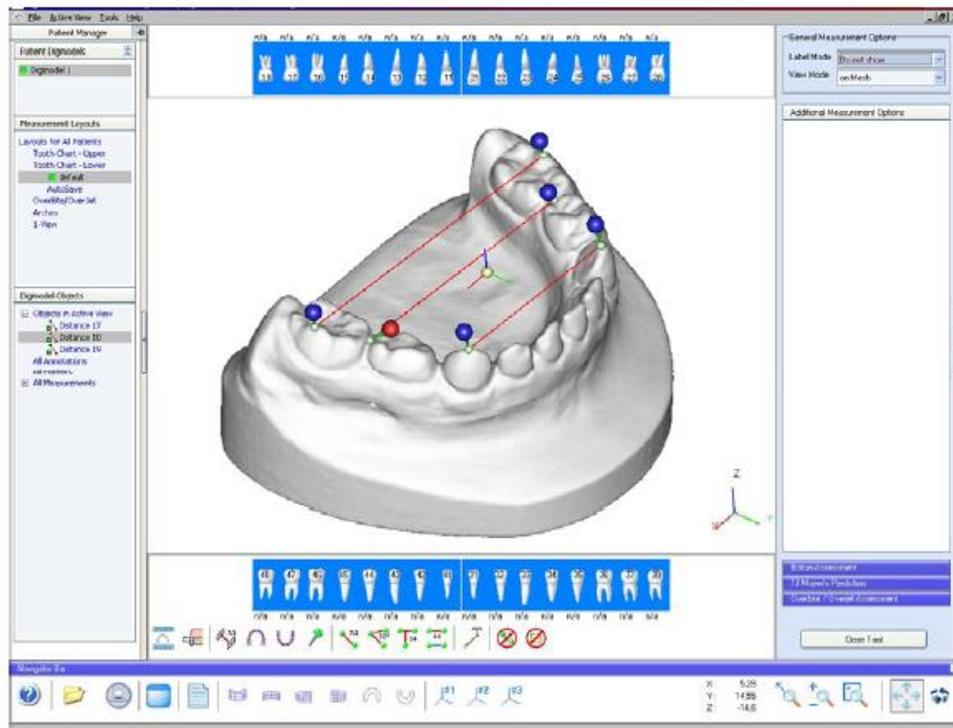


Abbildung 11: Softwarebeispiel „Digimodel“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Orthoproof [61]

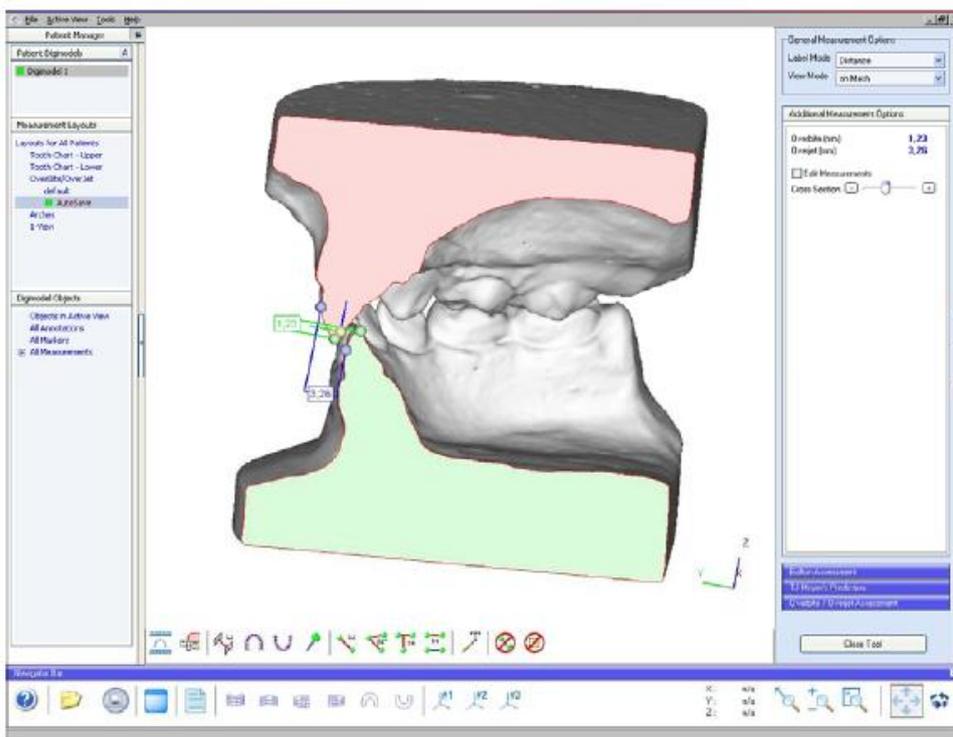


Abbildung 12: Softwarebeispiel „Digimodel“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Orthoproof [61]

## **3 Material und Methoden**

### ***3.1 Material***

Als Datenbau dieser Untersuchung wurden Unterlagen verwendet, die im Rahmen einer Studie zur Behandlung des unilateralen posterioren Kreuzbisses erstellt worden sind [61].

Alle Modelle wurden mithilfe eines am Patienten erstellten Wachsbisses in die habituelle Okklusionsposition gebracht. Um eine optimale Modellanalyse durchzuführen, wurden die Modelle in der transversalen Ebene parallel zur Oberkieferokklusionsebene ausgerichtet und die Tuberebene wurde senkrecht zur Raphe mediana getrimmt.

Für den Vergleich von digital und manuell vermessenen Modellen wurden 132 Modelle für die Modellanalyse herangezogen. Alle vorliegenden Modelle weisen einen unilateralen posterioren Kreuzbiss auf und sind zeitlich in die späte Milchgebiss- und die erste Wechselgebissphase einzuordnen. Die gesamte Modellanzahl lässt sich 66 Patienten zuordnen. Es stammen jeweils zwei Modelle von einem Patienten. Das Anfangsmodell (Modell 1) stellt den Zustand zu Beginn der Behandlung und das Schlussmodell (Modell 2) stellt den Zustand nach einem Jahr dar. Alle Modelle wurden bezüglich der Modellanalyse identisch vermessen. Die digitale Messung erfolgte einmal, die manuelle Messung wurde fünfmal wiederholt, wobei ein Messvorgang fünf Durchgänge beinhaltete. Die Zeitabstände zwischen den fünf Messungen wurden zufällig gewählt, sie mussten jedoch mindestens einen Tag betragen.

Die folgende schematische Darstellung veranschaulicht den Studienablauf.

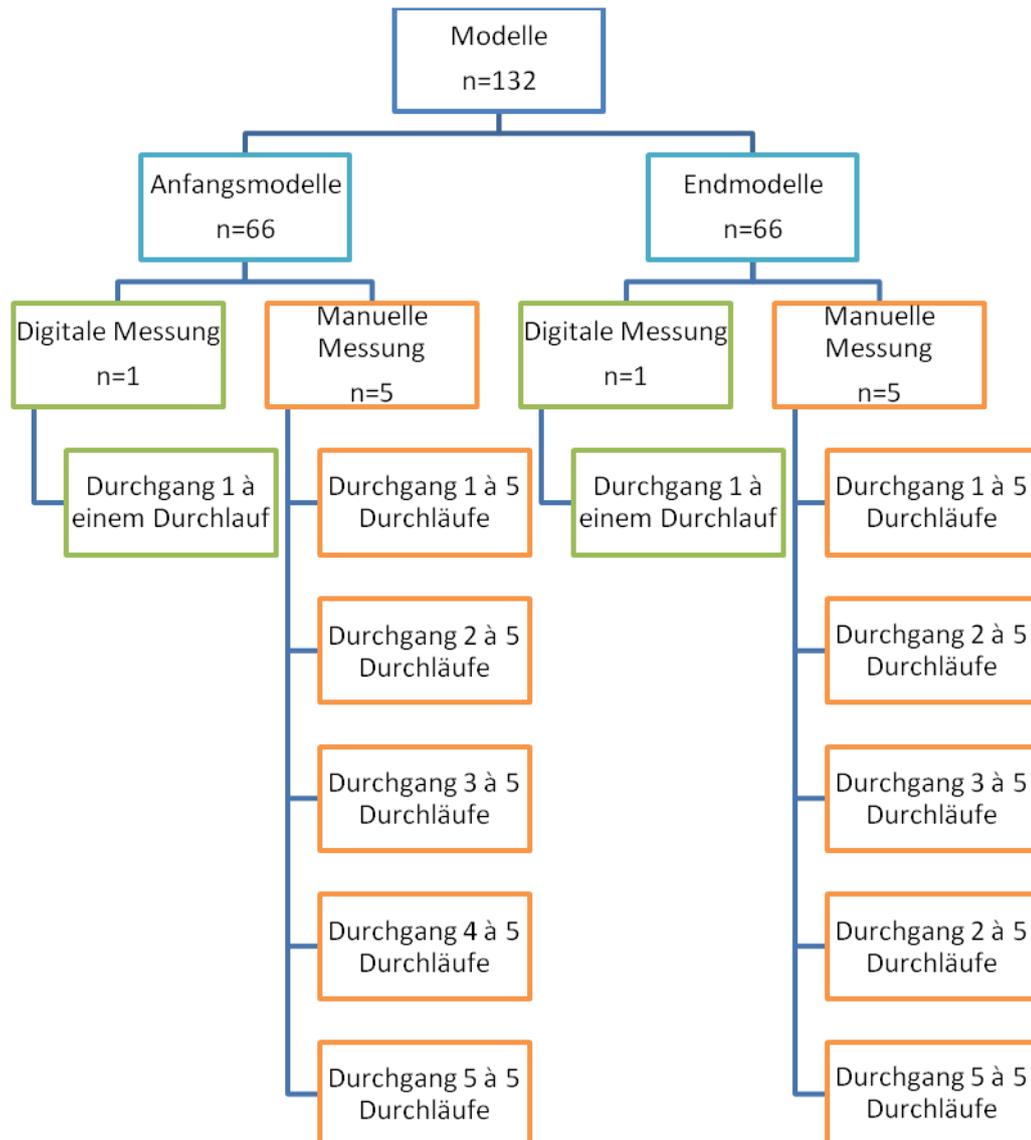


Abbildung 13: Studienablauf: Modellanzahl mit Anzahl der Messungen

## 3.2 Methoden

### 3.2.1 Messtechniken

Die Vermessung der Modelle erfolgte durch eine dreidimensionale Digitalisierung und Visualisierung der Modelle. Mithilfe eines Computertomographen (Abb. 14) wurden die digitalen Modelle erstellt und dann mit Hilfe der Analysesoftware „Digimodel“ (Firma Ortho Proof) (Abb. 15) ausgewertet. Als Grundlage für die Digitalisierung werden Abdrücke verwendet, die am Patienten in der Praxis genommen werden und dann an die Firma versandt werden. Die Firma Ortho Proof erzeugt aus dem Abdruck ein Datenmaterial, das die Zahnoberflächen und das umliegende Weichgewebe darstellen. Die Daten werden über das Internet an den Auftraggeber zurückgesandt. Mithilfe einer spezifischen Software wird dem Benutzer ein dreidimensionales Kiefermodell visualisiert. An diesem Modell können dann entsprechende Parameter bestimmt werden.



Abbildung 14: Ein Computertomograph der Firma Orthoproof

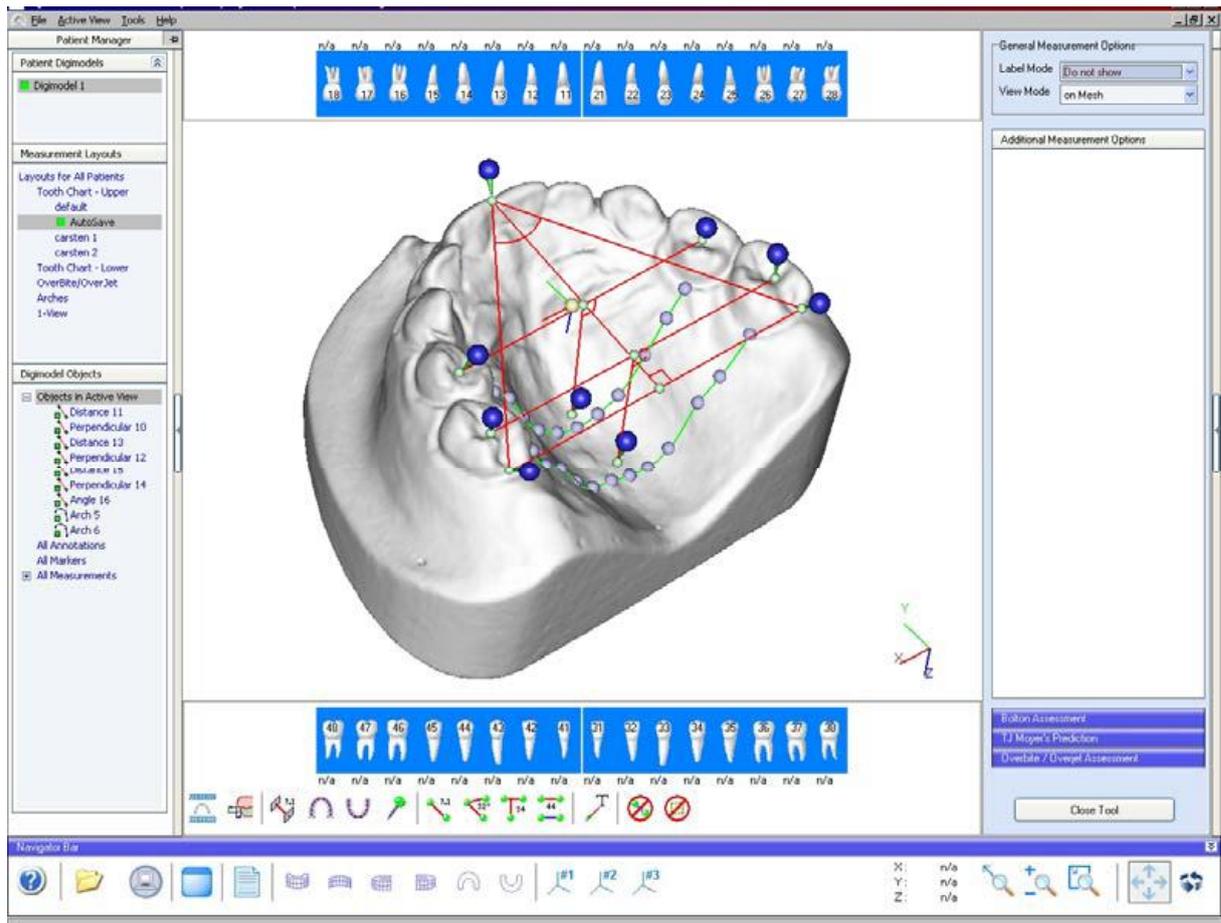


Abbildung 15: Ansicht eines Oberkiefermodells

Die manuelle Messung der Modelle erfolgte mithilfe einer digitalen Schieblehre (Firma Format) (Abb. 16) und einem Bernklaubesteck (Abb. 17). Zusätzlich wurde zur Bestimmung von Winkeln ein Geometriedreieck (Firma M +R) (Abb. 18) mit farbigem Lineal (Firma Brunnen) (Abb. 18) verwendet. Zur Markierung von Referenzpunkten am Modell wurde ein spitzer Druckbleistift der Stärke H (1,5 mm) verwendet.



Abbildung 16: Digitale Schieblehre

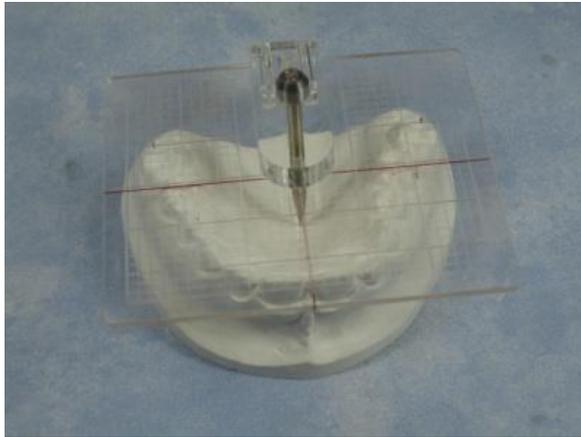


Abbildung 17: Bernklaubesteck (Platte mit Messstab)

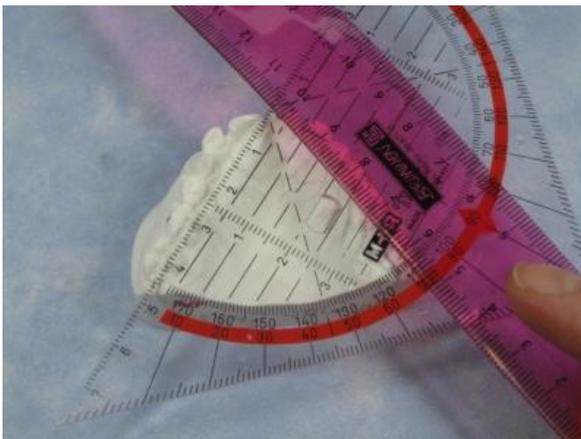


Abbildung 18: Geometriedreieck mit farbigem Lineal für die Winkelmessung

### 3.2.2 Modellanalyseparameter

Für die Modellanalyse wurden metrische und anguläre Parameter verwendet.

Bei den digitalen Messungen wurde mit einem dreidimensionalen Datensatz gearbeitet. Als Grundlage für die digitale Messung wird ein Modellnegativ, der sogenannte Abdruck, mittels eines CT Scanners computertomographisch erfasst. Die gewonnenen Daten aller drei Raumebenen sind in der Lage, ein dreidimensionales Modell darzustellen.

Zunächst war es notwendig, die Okklusalebene, die dorsalen Molarpunkte und den Inzisalpunkt festzulegen. So kann die Software eine Oberfläche generieren, deren Lage individuell verschoben werden kann. Es besteht die Möglichkeit alle 3-D Modellansichten im Programm aus sämtlichen Richtungen zu betrachten.

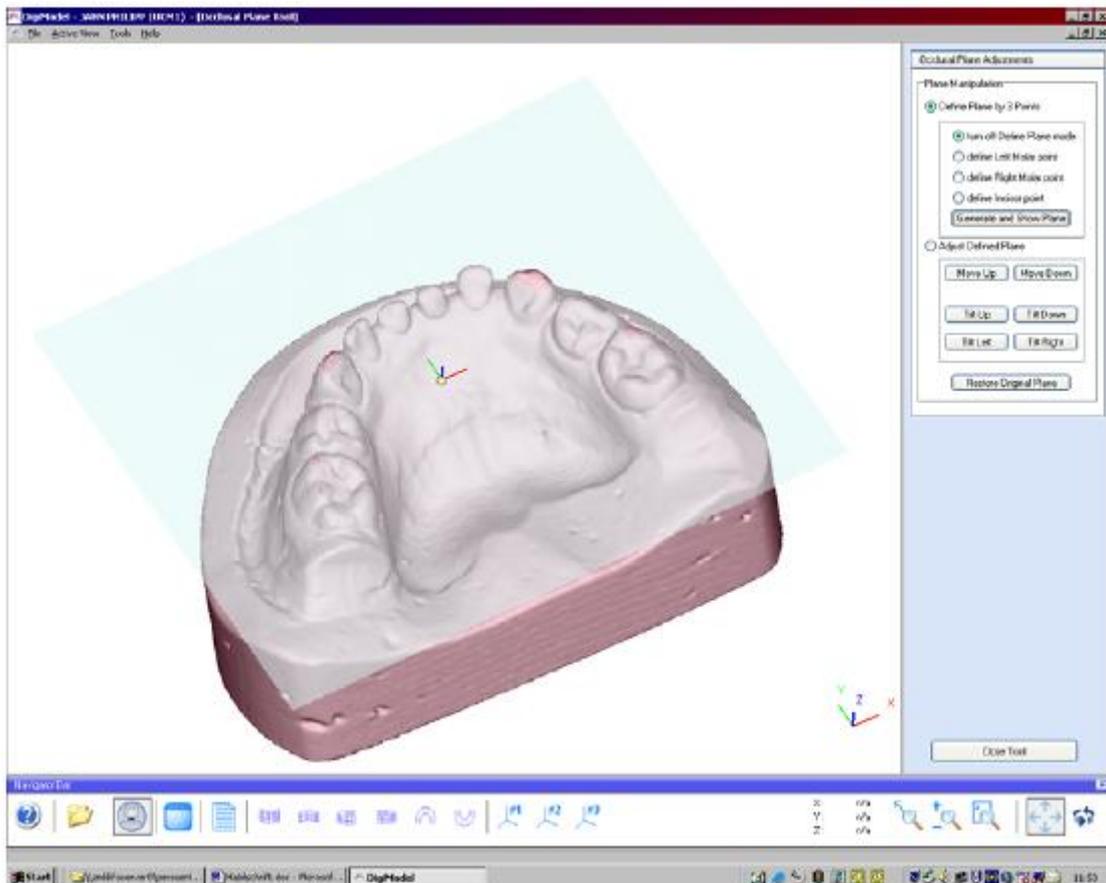


Abbildung 19: Festlegung der Okklusionsebene in einem digitalen Unterkiefermodell.

Im Gegensatz zu den digitalen Messungen wurden alle Parameter der Modellanalyse bei der manuellen Messung wiederholt durchgeführt. Jeder Parameter wurde fünfmal an fünf verschiedenen Tagen ermittelt mit jeweils fünf Durchgängen bei einer Messung. In der nachfolgenden Tabelle werden alle erhobenen Modellanalyseparameter dargestellt.

	Parameter	Abkürzung
<b>Oberkiefer</b>	<b>Interkanine Distanz [mm]</b>	<b>Udiii</b>
	Transversale Milchmolarendistanz (1. Molar) [mm]	Udiv
	Transversale Milchmolarendistanz (2.Molar) [mm]	Udv
	Transversale Molarendistanz [mm]	ud6
	Zahnbogeninklination zur Front [°]	Uapf
	Mediane sagittale Zahnbogenlänge [mm]	Udpf
	Gaumentiefe regio 1. Milchmolar [mm]	paldeth_m1
	Gaumentiefe regio 2. Milchmolar [mm]	paldepth_m2
	Gaumentiefe regio 1. Molar [mm]	paldepth_6
	<b>Unterkiefer</b>	Interkanine Distanz [mm]
Transversale Milchmolarendistanz (1. Molar) [mm]		lm1
Transversale Milchmolarendistanz (2.Molar) [mm]		lm2
Transversale Molarendistanz [mm]		l66
<b>Bisslage</b>	Kreuzbissseite	x-bite
	Mittellinienverschiebung [mm]	mlv
	Überbiss [mm]	Overbite
	Frontzahnstufe [mm]	Overjet

Tabelle 2: Zusammenfassung der untersuchten Parameter

### 3.2.2.1 Oberkiefer

#### ➤ Transversale Distanzen (Zahnbogenbreiten)

Zur Bestimmung der Zahnbogenbreite wurde eine transversale Analyse durchgeführt. Diese beinhaltete die Ermittlung der interkaninen Distanz, der Distanz der beiden Milchmolaren und des ersten Molaren. Die Messungen erfolgten in Projektion auf die Okklusionsebene.

- Die interkanine Distanz wurde von Eckzahnspitze zu Eckzahnspitze gemessen
- Bei den Molaren diente der tiefste Punkt der Fissur als Referenzpunkt

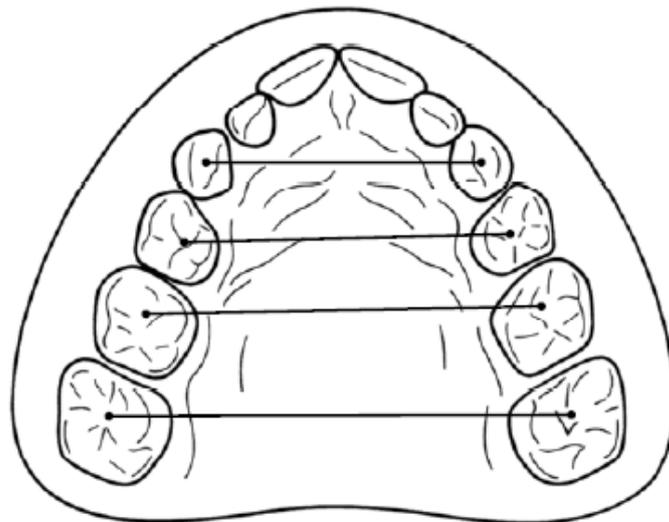


Abbildung 20: Oberkiefer in der Aufsicht: Dargestellt sind die transversalen Messstrecken für die Eckzahn-, Milchmolaren- und Molarenregion. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.

Die manuelle Distanzmessung erfolgte mittels digitaler Schieblehre. Die Referenzpunkte wurden zunächst mit einem spitzen Druckbleistift angezeichnet. Die Spitze der Schieblehrenschenkel konnte nunmehr an die Referenzpunkte angelegt werden, um die transversalen Distanzen zu bestimmen (Abb. 21/22/23).



Abbildung 21: Oberkiefermodell in der Aufsicht Messungen der interkaninen Distanz im Oberkiefer. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.



Abbildung 22: Oberkiefermodell in der Frontansicht. Messung der transversalen Distanz des ersten Milchmolaren. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.

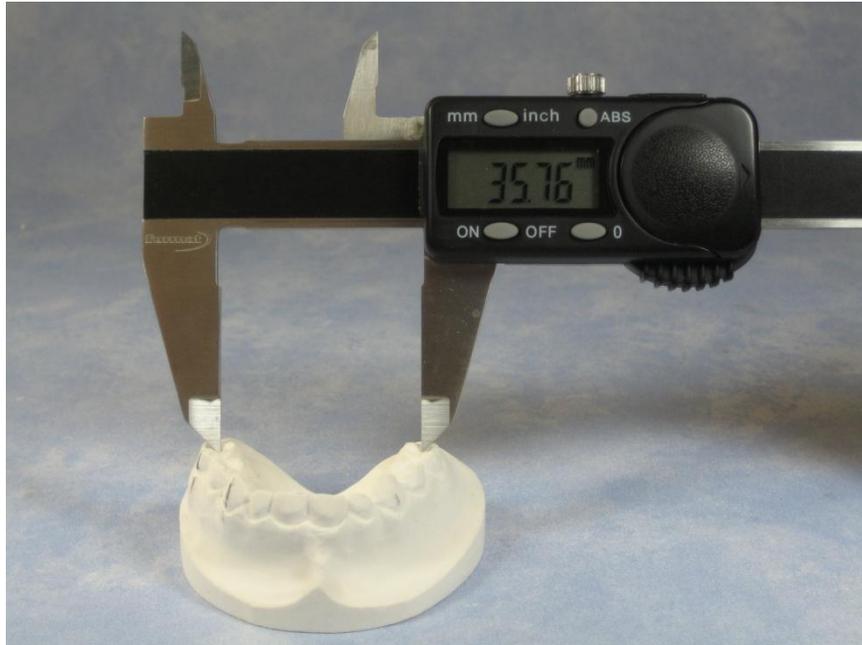


Abbildung 23: Oberkiefermodell in der Frontansicht. Messung der transversalen Distanz des ersten Milchmolaren. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.

➤ **Zahnbogenlänge und Zahnbogeninklination**

Zur Analyse der Gesamtlänge der Oberkieferdentition dient die Bestimmung der medianen sagittalen Zahnbogenlänge. Diese zieht von der Mitte der posterioren Seitenzähne auf Tuberebene zur Mitte der mittleren Inzisivi. Gemessen wurde die Zahnbogenlänge auf der Höhe der Okklusionsebene.

Zur Analyse der Zahnbogeninklination des gesamten Oberkieferbogens wird ein Winkel zur Hilfe genommen. Die beiden Schenkel des Winkels ziehen von der distalen Randleiste des am weitesten dorsal gelegenen Zahnes auf Tuberebene zum gemeinsamen Schnittpunkt der Mitte der mittleren Schneidezähne.

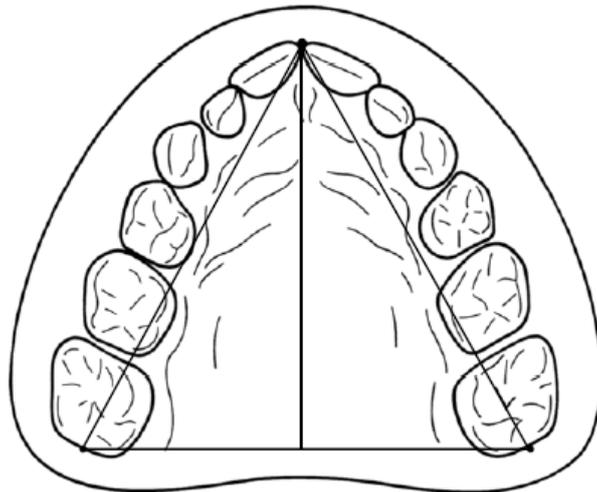


Abbildung 24: Oberkiefer in der Aufsicht. Die mediane Zahnbogenlänge u Zahnbogeninklination sind schematisch dargestellt. Die Darstellung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.

Bei der Analyse der manuellen Zahnbogenbreite wurde die digitale Schieblehre verwendet. Ein Schenkel der Schieblehre wurde auf die dentale Mitte im Oberkiefer ausgerichtet und der andere Schenkel wird auf Höhe der distalen Randleiste des letzten Zahnes angelegt (Abb. 25).



Abbildung 25: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Zahnbogenlänge mit Hilfe der digitalen Schieblehre.

Die Bestimmung der Zahnbogeninklination wurde manuell mit einem Geometriedreieck und einem Speziallineal durchgeführt. Das farbige Lineal wurde gewählt, um einen Kontrast zum Geometriedreieck und zum Modell zu erreichen. Dadurch wurde ein exakteres Messen ermöglicht. Das Geometriedreieck wurde mittig zwischen die Oberkieferfrontzähne und an die distale Randleiste des letzten Zahnes im ersten Quadranten angelegt. Das Lineal wurde ebenfalls mittig zwischen die Oberkieferfrontzähne und an die distale Randleiste des letzten Zahnes im zweiten Quadranten angelegt. Auf Höhe des Lineals konnten die Winkelgrade abgelesen werden. Die folgende Abbildung 26 verdeutlicht das Vorgehen.

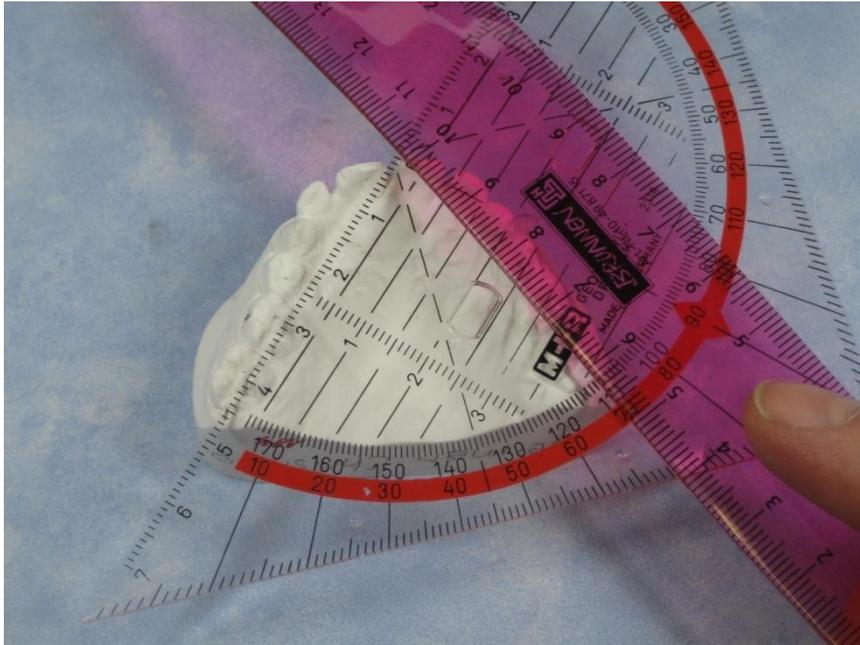


Abbildung 26: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Zahnbogeninklination mit Hilfe von Geodreieck und Lineal.

➤ **Gaumenbogentiefe**

Die Gaumenbogentiefe wird im Bereich der ersten und zweiten Milchmolaren und ersten Molaren bestimmt. Als Referenzpunkt dient der tiefste Punkt der Fissur.

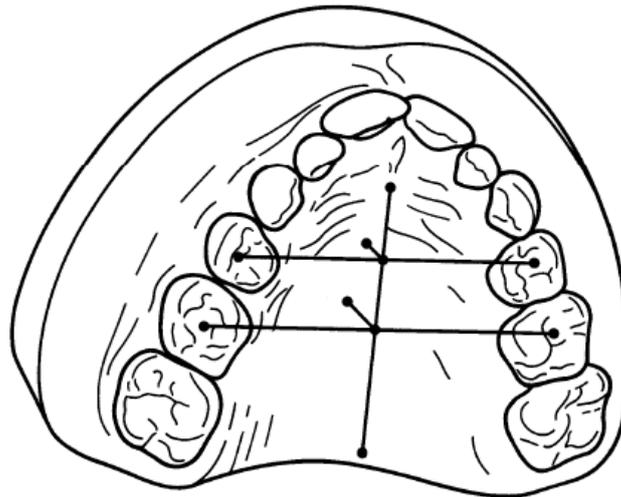


Abbildung 27: Oberkiefer in schräglateraler Aufsicht. Die Messung der Gaumenbogentiefe ist skizziert dargestellt. Die Darstellung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.

Bei der Bestimmung der Gaumentiefe wurde bei der manuellen Messung das Bernklaubesteck zur Hilfe genommen. Zunächst mussten die Referenzpunkte am Modell mit dem spitzen Druckbleistift eingezeichnet werden. Die Kunststoffplatte des Bernklaubestecks wurde parallel zur Okklusionsebene ausgerichtet. Rote Markierungslinien dienen der korrekten Ausrichtung der Platte. Die in sagittaler Richtung verlaufende rote Linie wurde parallel zur Raphe mediana ausgerichtet, die im 90°-Winkel dazu verlaufende Linie diente als Verlängerung des Referenzpunktes. Die Referenzpunkte liegen in der Zentralfossa des ersten, zweiten Milchmolaren und des Sechsjahrmolaren. In dem Schnittpunkt beider Linien erfolgte der Einschub eines Messstabs durch die dafür vorgesehene Aussparung. Die Abbildungen 28 bis 31 veranschaulichen das Vorgehen. Die Länge des Messstabes repräsentiert nun die Gaumentiefe.

Mithilfe der Schieblehre konnte die Tiefe vermessen werden. Die Schieblehre wurde mit einem Schenkel auf die Platte gelegt und mit dem zweiten Schenkel an die Spitze

des Messstabes angelegt. Durch Subtraktion der Plattendicke (1,9mm) von dem gemessenen Wert ergab sich die Gaumentiefe für das jeweilige Modell.

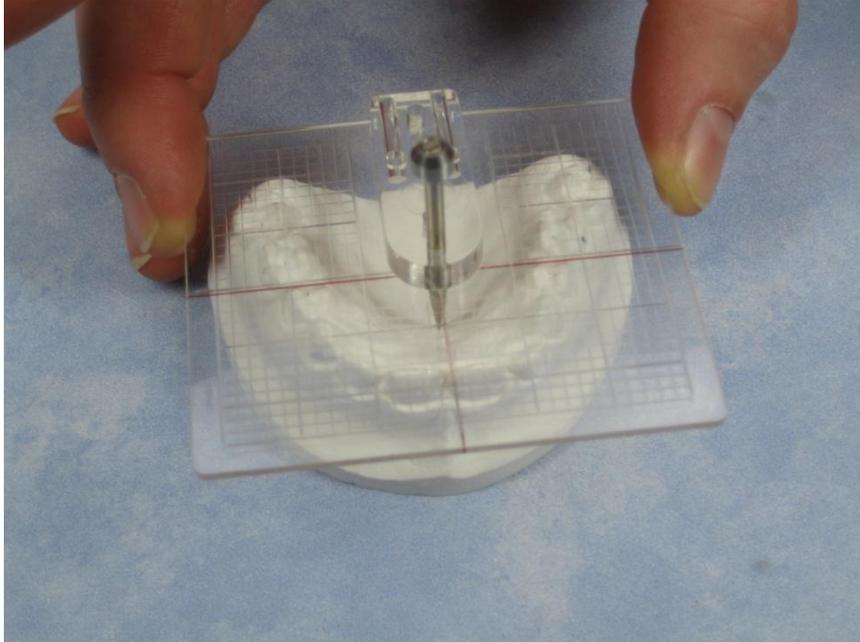


Abbildung 28: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Gaumentiefe auf Höhe des ersten Milchmolaren mithilfe des Bernklaubestecks.

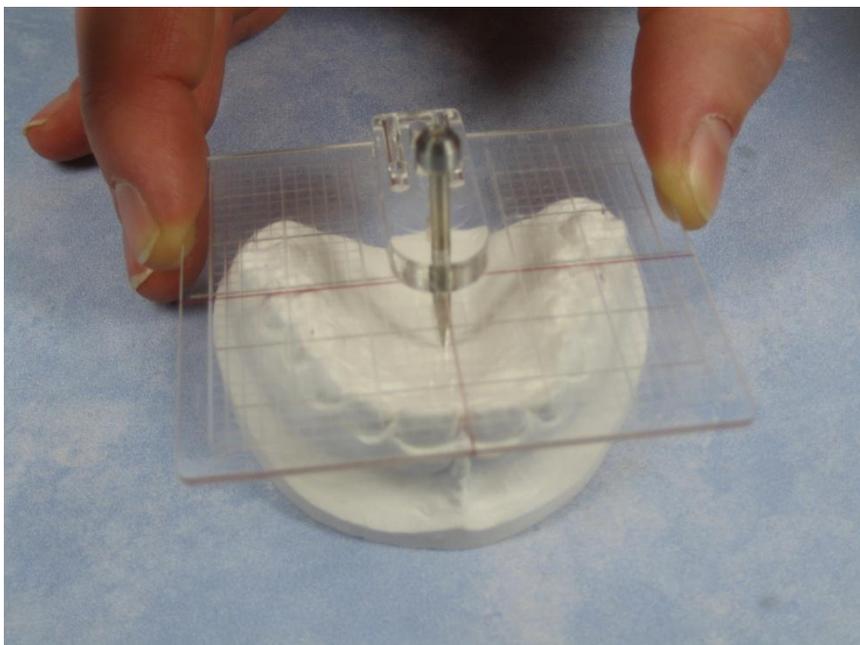


Abbildung 29: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Gaumentiefe auf Höhe des zweiten Milchmolaren mithilfe des Bernklaubestecks.

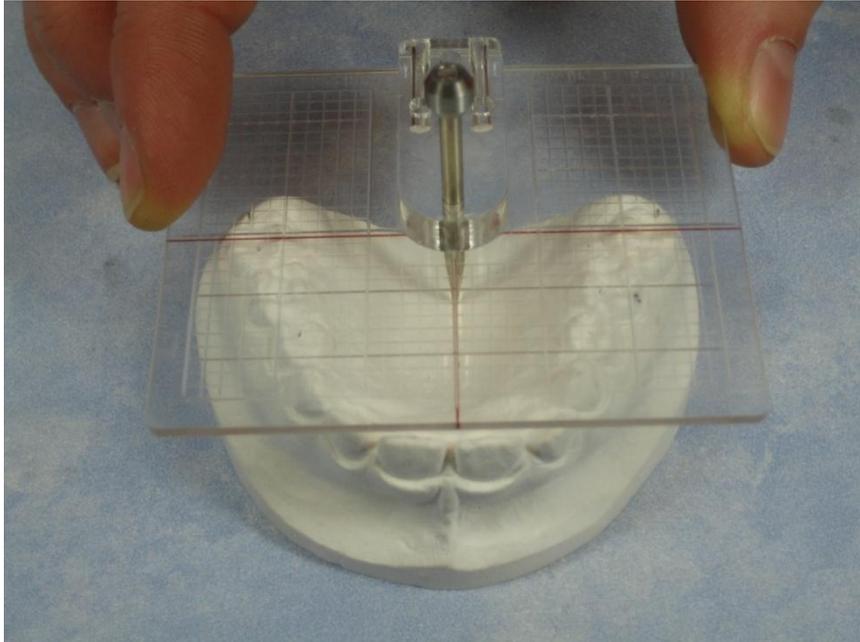


Abbildung 30: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Gaumentiefe auf Höhe des ersten Molaren mithilfe des Bernklaubestecks.

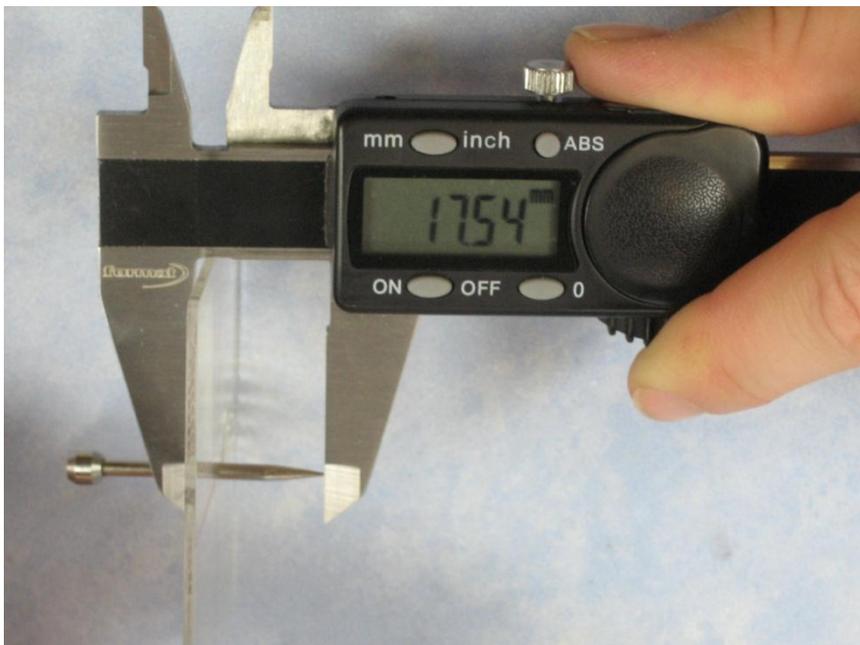


Abbildung 31: Aufsicht auf die Messung der Gaumentiefe mit Hilfe von Bernklaubesteck und digitaler Schieblehre.

### 3.2.2.2 Unterkiefer

#### ➤ **Transversale Distanzen**

Mittels der festgelegten Referenzpunkte erfolgte die transversale Messung im Unterkiefer im Bereich der interkaninen Distanz, auf Höhe der ersten und zweiten Milchmolaren, sowie auf Höhe der ersten Molaren. Folgende Referenzpunkte dienen zur Ermittlung der transversalen Distanz.

- Zur Bestimmung der interkaninen Distanz: die Eckzahnspitzen
- Zur Ermittlung der vorderen Zahnbogenbreite: der Kontaktpunkt zwischen dem ersten und zweiten Milchmolaren
- Zur Messung der mittleren Zahnbogenbreite: die distobukkale Höckerspitzen der zweiten Milchmolaren
- Zur Messung der hinteren Zahnbogenbreite: die distobukkale Höckerspitzen der ersten Molaren

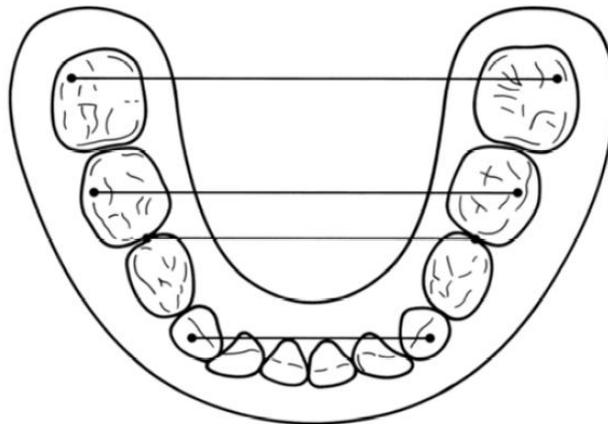


Abbildung 32: Unterkiefer in der Aufsicht. Die schematische Darstellung der Messung der Zahnbogenbreiten. Die Darstellung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.

Zur manuellen Distanzmessung wurde die digitale Schieblehre verwendet und jeweils an die vorstehend erläuterten Referenzpunkte angelegt, wofür eine Markierung der Referenzpunkte mit einem spitzen Druckbleistift angezeichnet wurde. Die Spitze der Schieblehrenschenkel wurde an die Referenzpunkte angelegt, um die transversalen Distanzen zu bestimmen (Abb. 33/34/35).



Abbildung 33: Aufsicht auf ein Unterkiefer Modell. Manuelle Messung der transversalen interkaninen Distanz mithilfe der digitalen Schieblehre.



Abbildung 34: Aufsicht auf ein Unterkiefer Modell. Manuelle Messung der transversalen Distanz zwischen dem ersten und zweiten Mandibularen mithilfe der digitalen Schieblehre.



Abbildung 35: Aufsicht auf ein Unterkiefermodell. Manuelle Messung der transversalen Distanz auf Höhe des distobuccalen Höckers des ersten Molaren.

### 3.2.2.3 Bisslage

#### ➤ Mittellinienverschiebung

Die Bestimmung einer fehlenden Mittellinienübereinstimmung erfolgte in der Frontansicht, senkrecht zur Okklusionsebene. Es wurde die Differenz der Inzisivimitten des Oberkiefers und des Unterkiefers ermittelt.

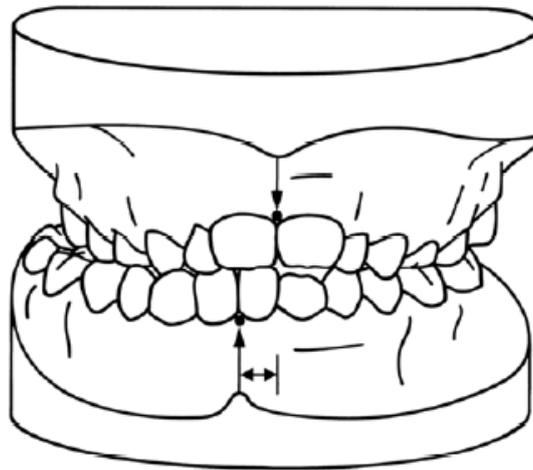


Abbildung 36: Oberkiefer und Unterkiefermodell in der Frontalansicht. Die Mittensenkung ist schematisch dargestellt. Die Darstellung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren.

Bei der manuellen Bestimmung der Mittellinienverschiebung okkludierten Ober- und Unterkiefermodelle miteinander. Die Schenkelspitzen der digitalen Schieblehre wurden mittig auf die Inzisivimitten im Oberkiefer und im Unterkiefer angelegt. Der ablesbare Wert stellt die Mittenabweichung dar. Die folgende Abbildung veranschaulicht das manuelle Vorgehen.

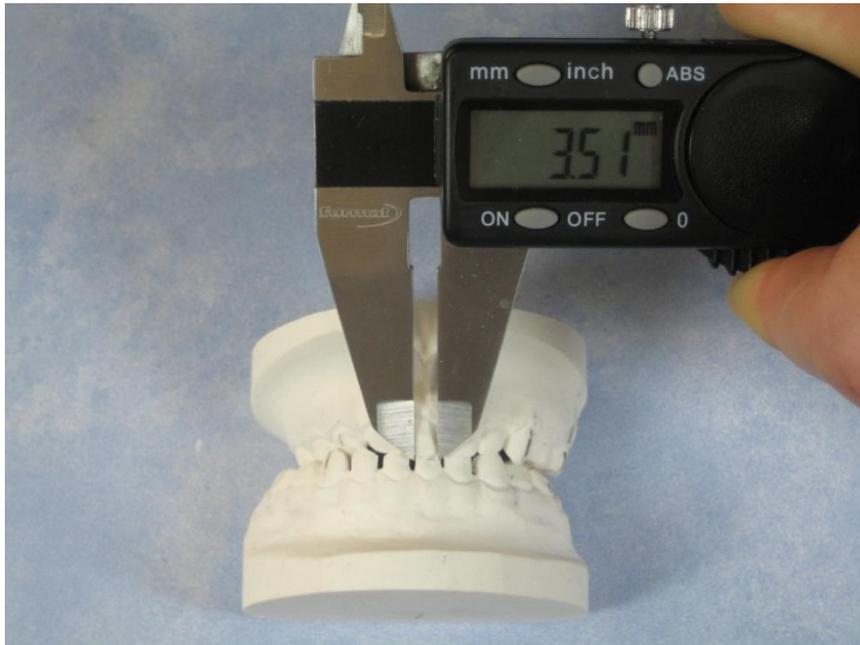


Abbildung 37: Frontansicht von einem in Okklusion stehenden Oberkiefer und Unterkiefermodell Darstellung der manuellen Mittenverschiebung mit Hilfe der digitalen Schieblehre.

➤ **Overbite und Overjet**

Der Overbite beschreibt die vertikale Frontzahnrelation zwischen dem am weitesten kaudal gelegenen mittleren Oberkieferfrontzahn und dem am weitesten kranial gelegenen mittleren Unterkieferfrontzahn. Jeweils ausgehend von der Inzisialkante.

Der Overjet beschreibt die sagittale Frontzahnrelation zwischen dem am weitesten anterior gelegenen mittleren Oberkieferfrontzahn und dem am weitesten dorsal gelegenen mittleren Unterkieferfrontzahn, jeweils ausgehend von der Inzisalkante.

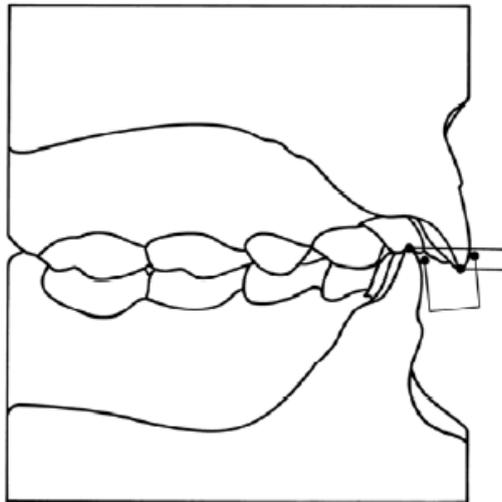


Abbildung 38: Ein frühes Wechselgebiss dargestellt in einem medianen Sagittalschnitt. Der Overbite dient der Beschreibung der vertikalen Frontzahnbeziehung und der Overjet dient der Beschreibung der sagittalen Frontzahnrelation.

Mithilfe der digitalen Schieblehre wurde der Overjet bei der manuellen Modellanalyse bestimmt. Am schmalen Ende der Schieblehre befindet sich ein kleiner Stift, der sich beim Auseinanderschieben der Schieblehrenschenkel ausfahren lässt und so Messungen an schwer zugänglichen Stellen erlaubt. Dieser Pin wurde bei einem in Okklusion stehenden Oberkiefer- und Unterkiefermodell auf die labiale Fläche der Unterkieferfrontzähne ausgerichtet und wird nicht weiter als bis zur labialen Fläche der Oberkieferfrontzähne ausgefahren. Am Kopf der Schieblehre kann dann der Overjet abgelesen werden. Die folgenden zwei Abbildungen stellen den Messvorgang dar.



Abbildung 39: Darstellung der manuellen Overjetmessung mithilfe der digitalen Schieblehre.



Abbildung 40: Darstellung der manuellen Overjetmessung mithilfe der digitalen Schieblehre.

Bei der manuellen Messung des Overbite war eine Übertragung der Inzisalkante der Oberkieferzähne auf die Labialfläche der Unterkieferfrontzähne mit dem Druckbleistift notwendig. Dies geschah mit einem spitzen Druckbleistift. So wurde mit der digitalen Schieblehre der Overbite bestimmt. Der eine Schenkel der Schieblehre wurde auf die Bleistiftmarkierung angelegt. Der andere Schenkel wurde auf die Inzisalkante der Unterkieferfront ausgerichtet. Diese Messung wird in der Abbildung 41 veranschaulicht.



Abbildung 41: Darstellung der Overbitemessung an einem Unterkiefermodell mithilfe der digitalen Schieblehre.

### 3.3 Statistik

Die Statistik stützt sich auf das arithmetische Mittel, die Varianz, die Standardabweichung, Standardfehler, das Minimum, das Maximum und die Spannweite. Im Folgenden werden die verwendeten Parameter näher erläutert.

Der **Mittelwert** ist das arithmetisch bestimmte Mittel, aus der Summe der Messwerte dividiert durch die Anzahl der Messwerte.

Die **Varianz** ist ein Maß, das beschreibt, wie stark eine Messgröße (genauer eine Zufallsgröße) „streut“. Sie wird berechnet, indem man die Summe der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert durch die Zahl der Proben minus eins dividiert.

Die **Standardabweichung** ist ein Begriff der Statistik und der Wahrscheinlichkeitsrechnung und ein Maß für die Streuung der Werte einer Zufallsvariablen um ihren Mittelwert. Für sie ist eine Zufallsvariable  $X$  definiert als die positive Quadratwurzel aus deren Varianz. Wenn man bei normal verteilten Werten die Standardabweichung zu beiden Seiten des Mittelwertes aufträgt, liegen 67 % der Werte in diesem Intervall.

Der **Standardfehler**, manchmal auch als Stichprobenfehler bezeichnet ist, ein Streuungsmaß für eine Stichprobenverteilung. Der Standardfehler des Mittelwertes ist definiert als die Wurzel aus der Varianz der Verteilung der Stichprobenmittelwerte von gleich großen Stichproben aus einer gegebenen Grundgesamtheit. Er ist ein Maß für die durchschnittliche Größe des Stichprobenfehlers der Stichprobenstatistik (z. B. des arithmetischen Mittels oder des Anteilwertes). Der Standardfehler einer Stichprobenstatistik hängt von verschiedenen Faktoren ab, je nachdem, um welche Statistik es sich handelt. Allgemein lässt sich sagen, dass ein Standardfehler umso kleiner wird, je größer der Stichprobenumfang ist. Größere Zufallsstichproben erlauben präzisere Schätzungen, weil der Stichprobenfehler kleiner wird.

Das **Minimum** beschreibt den kleinsten Wert einer Messreihe.

Das **Maximum** beschreibt den größten Wert einer Messreihe.

Die **Spannweite** wird gebildet, indem die Differenz zwischen dem größten (Maximum) und dem kleinsten (Minimum) Wert in der vorliegenden Verteilung berechnet wird.

Die **statischen Auswertungen** wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 16.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) durchgeführt. Die Darstellung der kontinuierlichen

Variablen erfolgte als Mittelwerte, während als Streumaße die Standardabweichungen gewählt wurden.

Vor der statistischen Auswertung der Daten wurde diese gepoolt.

Die kontinuierlichen Variablen wurden mittels des **Kolmogorov-Smirnov-Tests** hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Während einige der getesteten Variablen keine Normalverteilung aufwiesen (Kolmogorov-Smirnov-Test:  $p < 0,05$ ), konnte für andere Variablen eine Normalverteilung berechnet werden (Kolmogorov-Smirnov-Test:  $p \geq 0,05$ ).

Die Auswertung der normal verteilten Stichproben innerhalb einer Gruppe erfolgte mittels **einfaktoriellen Varianzanalysen (ANOVA)** mit Post-Hoc-Mehrfachvergleich nach Student-Newman-Keuls mit einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$ . Der Vergleich zwischen zwei Gruppen wurde mithilfe des **t-Tests** durchgeführt (Signifikanzniveau  $p = 0,05$ ).

Zum statistischen Vergleich nicht parametrischer Daten fand der Mann-Whitney-Test für abhängige Stichproben Anwendung (Signifikanzniveau  $p = 0,05$ ). Ein Unterschied wurde als statistisch signifikant angenommen, wenn die Wahrscheinlichkeit  $p$  für sein Auftreten kleiner als oder gleich der kritischen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ( $p < 0,05$ ) war.

In den grafischen Darstellungen, die ebenfalls mit SPSS erstellt wurden, wurden zur Veranschaulichung der Mediane und Quartilsabstände **Boxplots** verwendet. Während in den Boxen der Median sowie die 25.-75. Perzentile aufgetragen sind, entsprechen die T-Balken dem kleinsten und größten Wert, sofern diese keine Ausreißer bzw. Extremwerte sind. Ausreißer sind dabei Werte, die zwischen 1 1/2 - 3 Boxlängen außerhalb der Box liegen. Diese sind in den Grafiken als Kreise dargestellt, während Extremwerte, die mehr als 3 Boxlängen außerhalb der Box gemessen wurden, als Kreuzchen aufgetragen sind.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Messwerte im Oberkiefer

➤ **Transversale Distanzen (Zahnbogenbreiten)**

- **Interkanine Distanz**

Die digital und manuell vermessenen interkaninen Distanzen im Oberkiefer zeigen keine großen Messdifferenzen. Mittelwert und Median beider Untersuchungsgruppen liegen nah bei einander. Die Auswertung zwischen den Gruppen ergab keine statistische Signifikanz ( $p > 0,05$ ).

		Interkanine Distanz man. Messung (Modell 1)	Interkanine Distanz dig. Messung (Modell 1)	Interkanine Distanz man. Messung (Modell 2)	Interkanine Distanz dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>28,63</b>	<b>28,49</b>	<b>30,84</b>	<b>30,65</b>
Median		<b>28,68</b>	<b>28,26</b>	<b>31,00</b>	<b>30,43</b>
Minimum		24,20	24,16	24,85	24,84
Maximum		33,98	33,59	40,32	38,84
Perzentile	25	26,78	26,59	28,68	28,65
	50	28,68	28,26	31,00	30,43
	75	30,28	29,89	32,97	32,76
p =		<b>0,906</b>		<b>0,953</b>	

Tabelle 3: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

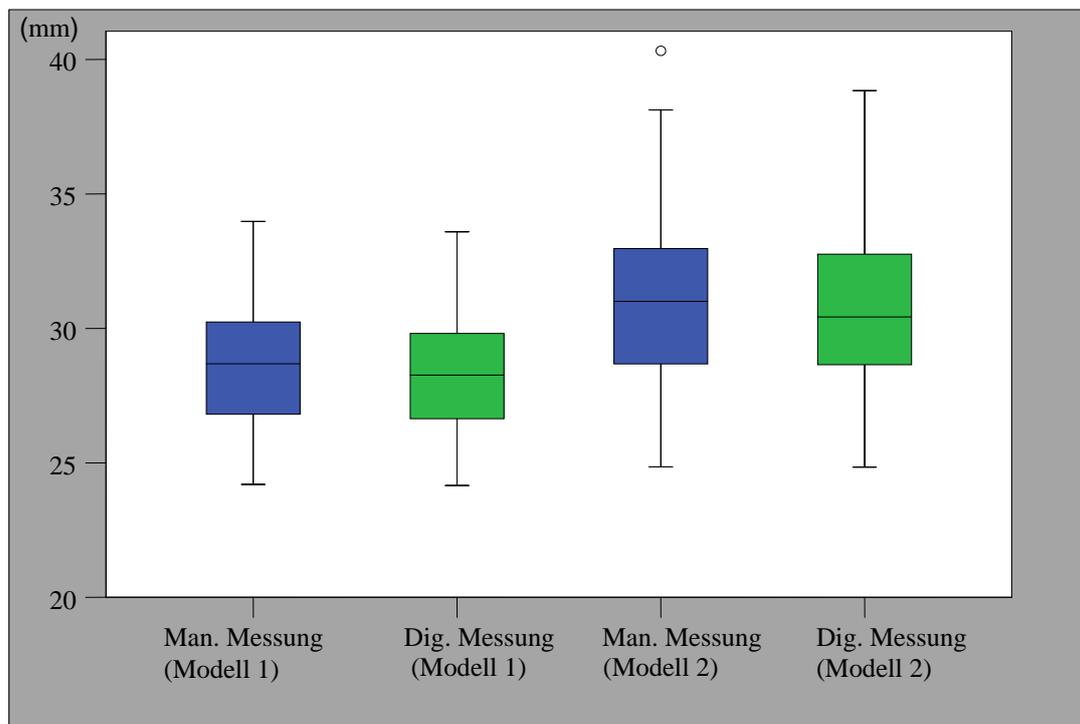


Abbildung 42: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

• **Vordere Zahnbogenbreite**

Bei der Messung der vorderen Zahnbogenbreite wird die transversale Distanz zwischen den ersten Milchmolaren ermittelt. Hier bleibt die Differenz zwischen dem Mittelwert und dem Median beider Untersuchungsmethoden klein.

Ein Vergleich der Expansionswerte zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied ( $p > 0,05$ ).

		Vordere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 1)	Vordere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 1)	Vordere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 2)	Vordere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>32,10</b>	<b>32,37</b>	<b>34,05</b>	<b>34,58</b>
Median		<b>32,00</b>	<b>32,23</b>	<b>33,96</b>	<b>34,29</b>
Minimum		28,26	28,95	28,28	28,76
Maximum		35,76	36,37	41,90	43,54
Perzentile	25	30,51	30,75	32,71	32,71
	50	32,00	32,23	33,96	34,29
	75	33,37	34,39	36,17	36,40
p =		<b>0,452</b>		<b>0,774</b>	

Tabelle 4: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

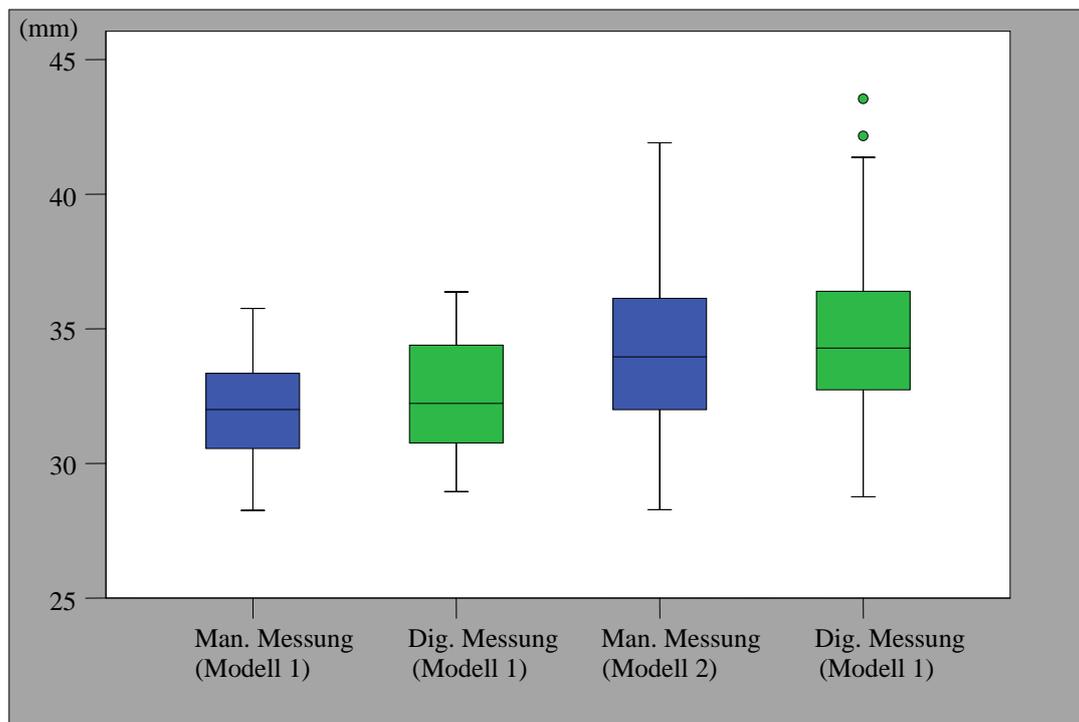


Abbildung 43: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

• **Mittlere Zahnbogenbreite**

Der transversale Abstand der zweiten Milchmolaren weist zwischen den beiden Messgruppen keine große Differenz auf. Die Mittelwerte und Mediane der manuell und digital vermessenen Untersuchungsgruppen liegen nah zusammen.

Der statistische Vergleich der durchschnittlichen mittleren Zahnbogenbreite ergab keine statistisch signifikanten Differenzen ( $p > 0,05$ ).

		Mittlere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 1)	Mittlere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 1)	Mittlere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 2)	Mittlere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>36,84</b>	<b>36,99</b>	<b>39,15</b>	<b>39,57</b>
Median		<b>36,78</b>	<b>36,77</b>	<b>38,99</b>	<b>39,35</b>
Minimum		32,14	33,12	33,41	32,23
Maximum		42,52	42,51	45,82	52,66
Perzentile	25	35,26	35,14	37,18	37,61
	50	36,77	36,77	38,99	39,35
	75	38,39	38,71	41,00	41,75
p =		<b>0,869</b>		<b>0,837</b>	

Tabelle 5: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

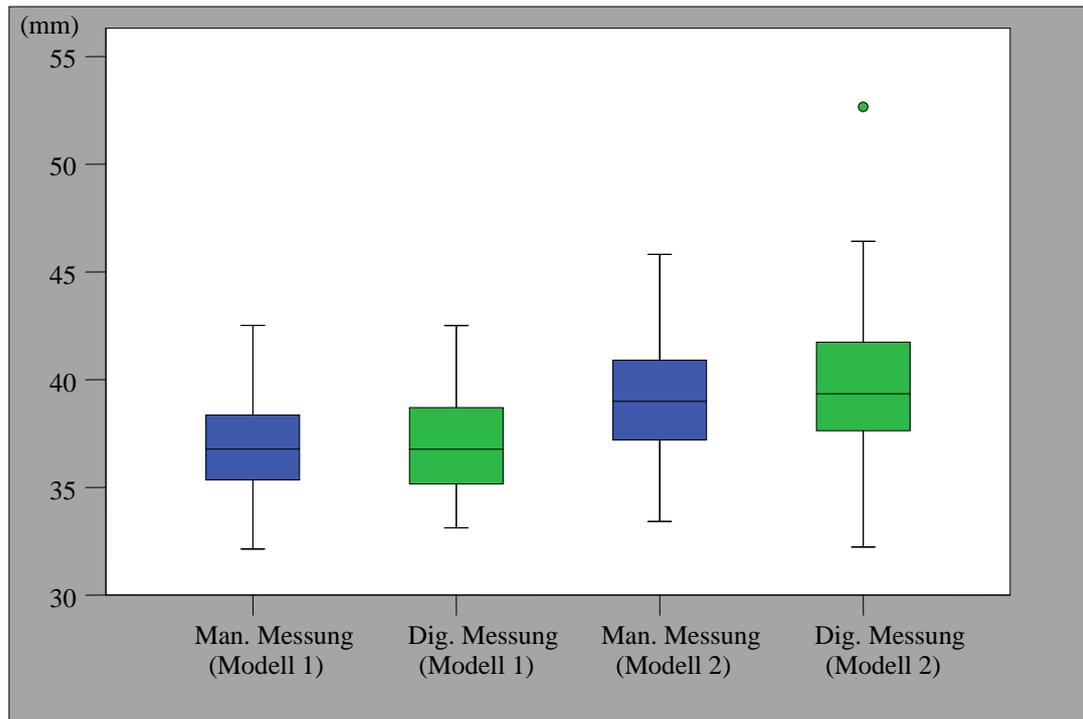


Abbildung 44: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

• **Hintere Zahnbogenbreite**

47 Modelle weisen auf dem ersten Modell obere erste Molaren auf. Auf den zweiten Modellen sind es vier weitere mit Sechsjahrmolaren.

Unterschiede in der Veränderung der hinteren Zahnbogenbreite zwischen den digital und manuell vermessenen Modellen sind statistisch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Die Medianwerte liegen sehr nah beieinander. Bei den ersten Modellen weist der Mittelwert zwischen den zwei Untersuchungsgruppen eine Differenz von 5,3 auf.

		Hintere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 1)	Hintere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 1)	Hintere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 2)	Hintere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	47	47	51	51
	Fehlend	19	19	15	15
Mittelwert		<b>47,74</b>	<b>42,44</b>	<b>45,04</b>	<b>45,19</b>
Median		<b>42,70</b>	<b>42,95</b>	<b>44,91</b>	<b>45,54</b>
Minimum		38,35	35,25	38,81	38,82
Maximum		46,48	46,85	51,44	52,89
Perzentile	25	40,80	40,38	43,29	42,91
	50	42,70	42,95	44,91	45,54
	75	45,31	44,77	46,68	46,92
p =		<b>0,063</b>		<b>0,563</b>	

Tabelle 6: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

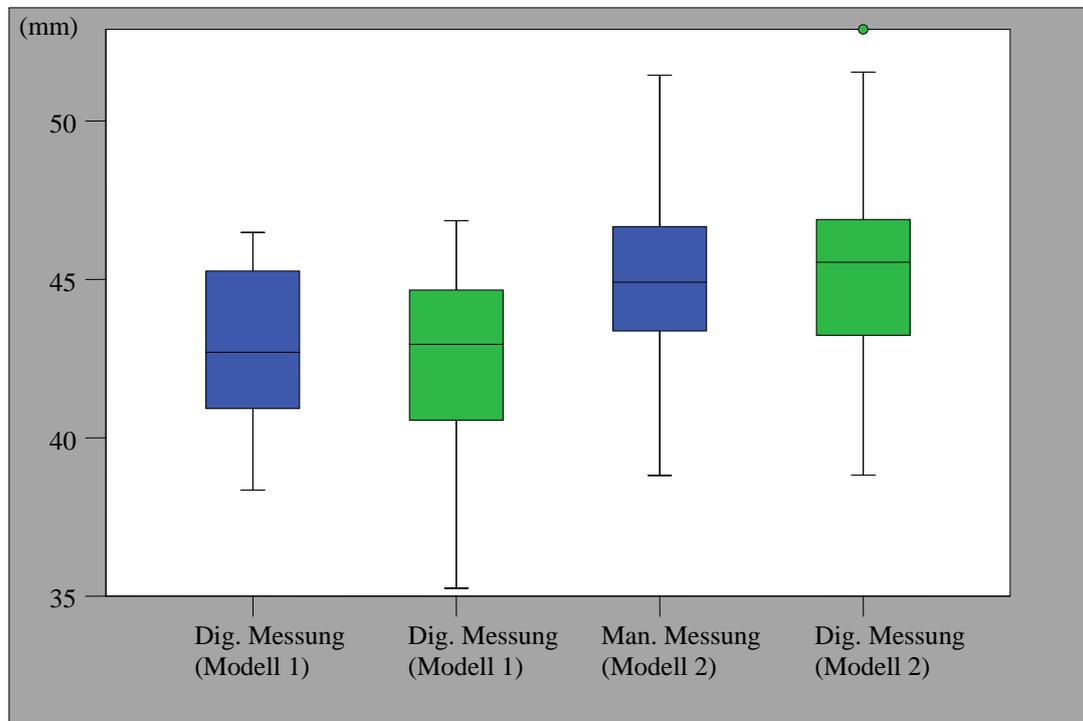


Abbildung 45: Darstellung der Ergebnisse der hinteren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

➤ Zahnbogenlänge und Zahnbogeninklination

• Zahnbogenlänge

Die sagittale Zahnbogenlänge verändert sich im Vergleich der beiden Untersuchungsmethoden nicht. Sowohl bei den Messungen der ersten Modelle, als auch bei den Messungen der zweiten Modelle weichen Mittelwert und Median nur geringfügig voneinander ab.

Beim Vergleich der Mittelwerte der Änderungen der Zahnbogenlänge war kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ) zu ermitteln.

		Zahnbogenlänge man. Messung (Modell 1)	Zahnbogenlänge dig. Messung (Modell 1)	Zahnbogenlänge man. Messung (Modell 2)	Zahnbogenlänge dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>34,45</b>	<b>34,38</b>	<b>35,25</b>	<b>34,53</b>
Median		<b>35,89</b>	<b>36,09</b>	<b>36,54</b>	<b>36,07</b>
Minimum		25,37	25,20	23,28	23,52
Maximum		42,73	42,88	42,52	41,82
Perzentile	25	28,68	29,26	29,40	29,40
	50	35,89	36,09	36,07	36,07
	75	38,20	37,92	38,15	38,15
p =		<b>0,701</b>		<b>0,932</b>	

Tabelle 7: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogenlänge im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

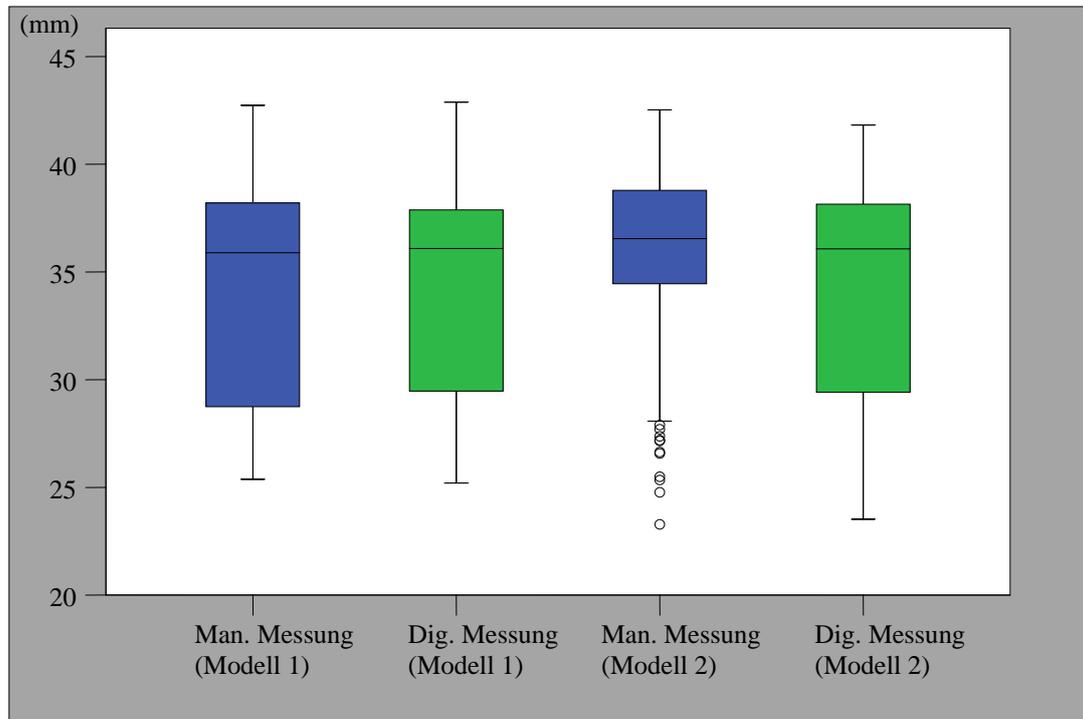


Abbildung 46: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogenlänge im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

• **Zahnbogeninklination**

Die Zahnbogeninklination zeigt statistisch keine signifikanten Differenzen zwischen der Vermessung der Modelle mithilfe der manuellen und der digitalen Methode ( $p > 0,05$ ). Die Mittelwerte und Mediane nähern sich in der Gruppe der ersten Modelle, als auch in der Gruppe der zweiten Modelle stark an. Auffällig sind jedoch die schwankenden Maximalwerte um mehr als  $10^\circ$ .

		Zahnbogeninklination man. Messung (Modell 1)	Zahnbogeninklination dig. Messung (Modell 1)	Zahnbogeninklination man. Messung (Modell 2)	Zahnbogeninklination dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>65,68</b>	<b>65,86</b>	<b>67,14</b>	<b>68,73</b>
Median		<b>63,90</b>	<b>65,39</b>	<b>66,41</b>	<b>67,80</b>
Minimum		54,80	55,02	55,02	55,96
Maximum		90,60	79,57	84,10	97,36
Perzentile	25	61,36	61,97	63,06	64,29
	50	63,90	65,39	66,41	67,80
	75	68,98	68,94	70,30	71,67
p =		<b>0,165</b>		<b>0,664</b>	

Tabelle 8: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogeninklination im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

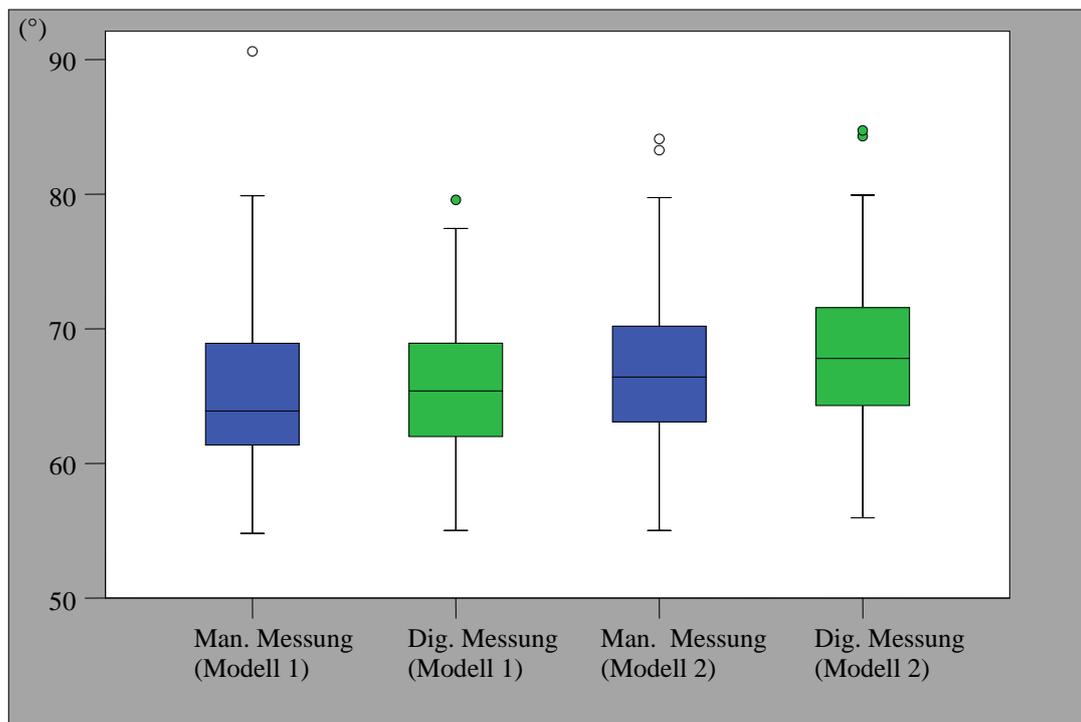


Abbildung 47: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogeninklination im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

➤ **Gaumenbogentiefe**

• **Gaumenbogentiefe im Bereich des ersten Milchmolaren**

Die Ergebnisse der vermessenen Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Milchmolaren lässt beim Vergleich von Mittelwerten und Medianen der beiden Versuchsgruppen keine großen Differenzen sichtbar werden. Der Vergleich zwischen den Gruppen zeigt statistisch keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ). Jedoch ist eine statistische Signifikanz bei dem Vergleich innerhalb der Gruppen zu verzeichnen.

		Gaumenbogentiefe regio erster Milchmolar man. Messung (Modell 1)	Gaumenbogentiefe regio erster Milchmolar dig. Messung (Modell 1)	Gaumenbogentiefe regio erster Milchmolar man. Messung (Modell 2)	Gaumenbogentiefe regio erster Milchmolar dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	65	65
	Fehlend	0	0	1	1
Mittelwert		<b>12,72</b>	<b>11,71</b>	<b>12,85</b>	<b>11,32</b>
Median		<b>12,68</b>	<b>11,67</b>	<b>12,69</b>	<b>10,95</b>
Minimum		9,64	8,08	9,05	7,99
Maximum		16,38	15,58	17,69	17,69
Perzentile	25	11,96	10,59	11,81	9,93
	50	12,68	11,67	12,69	10,95
	75	13,69	12,83	13,80	12,43
p =		<b>0,135</b>		<b>0,339</b>	

Tabelle 9: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Milchmolaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

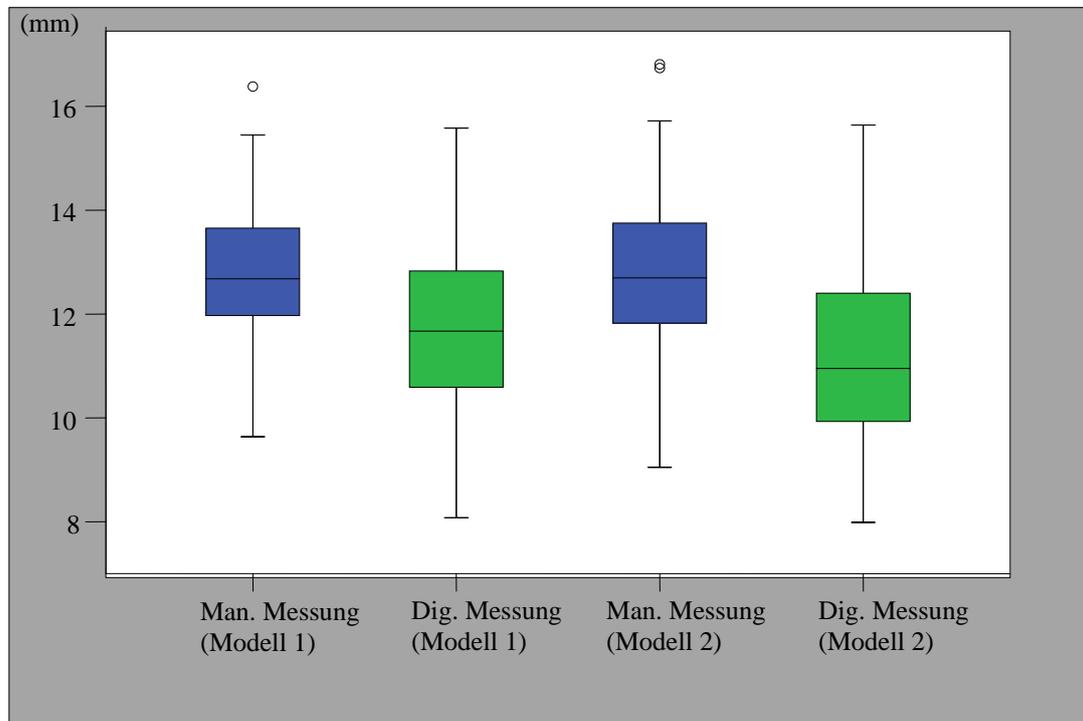


Abbildung 48: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Milchmolaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

- **Gaumenbogentiefe im Bereich des zweiten Milchmolaren**

Auch bei der Messung im Bereich der Gaumenbogentiefe zweiten Milchmolaren werden keine Differenzen zwischen den beiden Messmethoden deutlich. Zwischen den manuellen und digitalen Gruppen sind keine statistisch signifikanten Messdifferenzen zu verzeichnen ( $p > 0,05$ ). Auch hier ist eine statistische Signifikanz innerhalb der Gruppen ersichtlich.

		Gaumenbogentiefe regio zweiter Milchmolar man. Messung (Modell 1)	Gaumenbogentiefe regio zweiter Milchmolar dig. Messung (Modell 1)	Gaumenbogentiefe regio zweiter Milchmolar man. Messung (Modell 2)	Gaumenbogentiefe regio zweiter Milchmolar dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>15,07</b>	<b>14,08</b>	<b>15,30</b>	<b>14,07</b>
Median		<b>14,76</b>	<b>13,92</b>	<b>14,98</b>	<b>13,76</b>
Minimum		11,42	10,53	11,99	10,36
Maximum		20,21	19,95	21,33	20,08
Perzentile	25	13,97	12,62	13,82	12,74
	50	14,76	13,92	14,98	13,76
	75	16,33	14,99	16,47	15,61
p =		<b>0,768</b>		<b>0,661</b>	

Tabelle 10: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der zweiten Milchmolaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

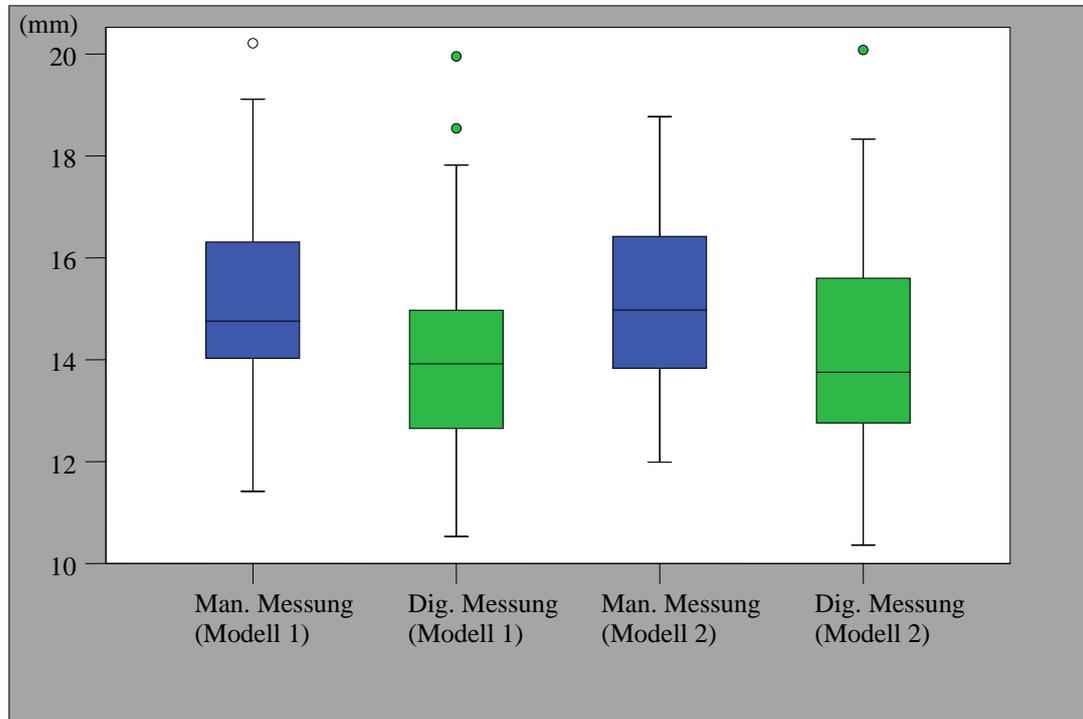


Abbildung 49: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der zweiten Milchmolaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

- **Gaumenbogentiefe im Bereich des ersten Molaren**

Der Vergleich der Änderung der Gaumentiefe im Bereich der ersten Molaren zwischen der manuellen und digitalen Gruppe ergibt keine statistisch signifikante Differenz ( $p > 0,05$ ). Dennoch fällt beim Vergleich der Mediane und Mittelwerte der beiden Messgruppen ein deutlicherer Unterschied auf. Die Verteilung um den Medianwert ist in beiden Messgruppen ähnlich. Minimale und maximale Werte differieren jedoch zum Teil stark bis sehr stark (siehe Maximum Modell 2). Die Verteilung innerhalb der Gruppen ist statistisch signifikant.

		Gaumenbogentiefe regio erster Molar man. Messung (Modell 1)	Gaumenbogentiefe regio erster Molar dig. Messung (Modell 1)	Gaumenbogentiefe regio erster Molar man. Messung (Modell 2)	Gaumenbogentiefe regio erster Molar dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	53	53	51	51
	Fehlend	13	13	15	15
Mittelwert		<b>14,51</b>	<b>11,06</b>	<b>16,05</b>	<b>11,88</b>
Median		<b>14,55</b>	<b>11,38</b>	<b>15,15</b>	<b>12,03</b>
Minimum		10,66	5,66	11,33	7,89
Maximum		21,12	16,17	72,50	15,80
Perzentile	25	13,00	9,11	13,24	10,63
	50	14,55	11,38	15,15	12,03
	75	15,98	12,61	16,42	13,37
p =		<b>0,584</b>		<b>0,188</b>	

Tabelle 11: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Molaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

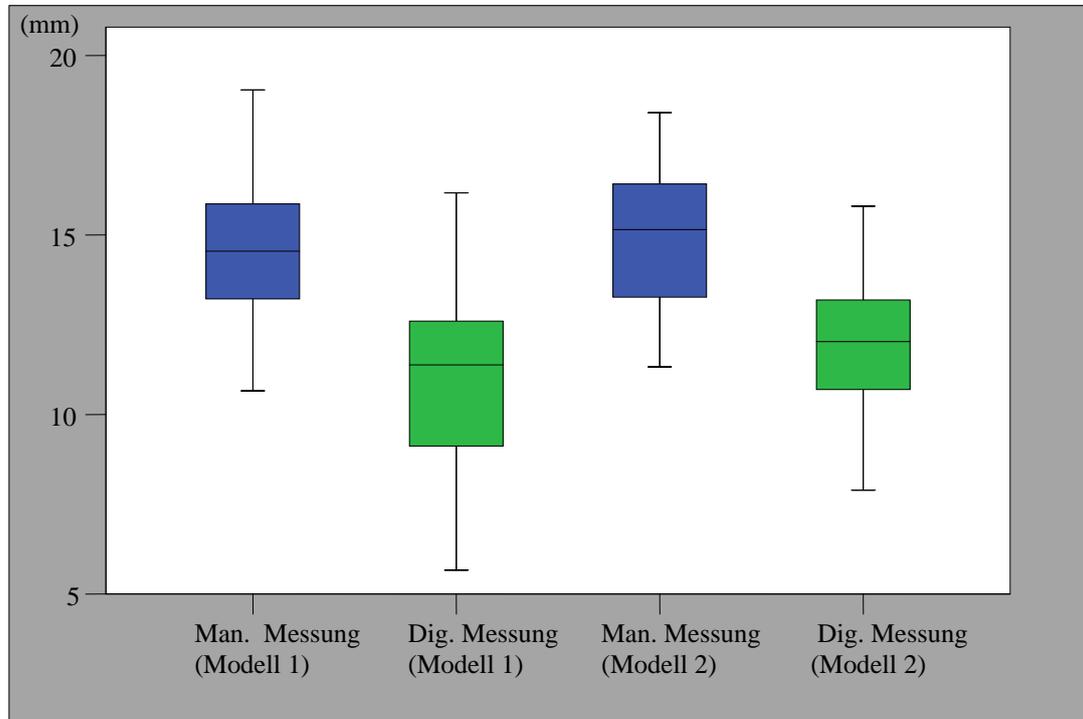


Abbildung 50: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Molaren manuell vs. digital (Modelle 1 und 2)

## 4.2 Messwerte im Unterkiefer

### ➤ Transversale Distanzen (Zahnbogenbreiten)

- **Interkanine Distanz**

Die interkanine Distanz im Unterkiefer zeigt innerhalb der beiden Messgruppen ganz ähnliche Ergebnisse. Statistisch signifikante Abweichungen lagen weder bei den Messungen der ersten Modelle noch bei den Messungen der zweiten Modelle vor ( $p > 0,05$ ).

		Interkanine Distanz man. Messung (Modell 1)	Interkanine Distanz dig. Messung (Modell 1)	Interkanine Distanz man. Messung (Modell 2)	Interkanine Distanz dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>25,50</b>	<b>25,48</b>	<b>25,60</b>	<b>25,59</b>
Median		<b>25,55</b>	<b>25,70</b>	<b>25,42</b>	<b>25,57</b>
Minimum		21,31	21,40	22,47	22,27
Maximum		29,73	29,67	29,73	29,62
Perzentile	25	24,10	24,20	24,17	24,12
	50	25,55	25,70	25,42	25,57
	75	26,91	26,69	27,10	26,61
p =		<b>0,842</b>		<b>0,389</b>	

Tabelle 12: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Unterkiefer manuell vs. digital (Modelle 1 und 2)

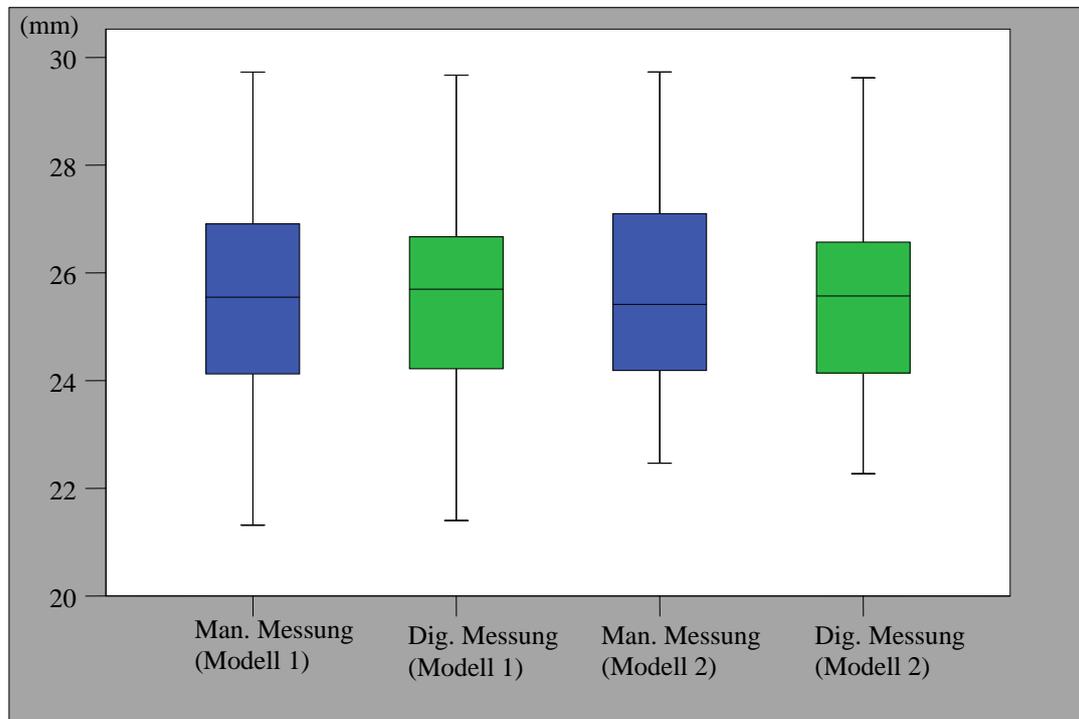


Abbildung 51: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

- **Vordere Zahnbogenbreite**

Die vordere Zahnbogenbreite im Unterkiefer zeigt beim Vergleich der beiden Messmethoden, (manuell und digital) keine statistisch signifikanten Differenzen ( $p > 0,05$ ). Die ermittelten Mittelwerte und Mediane weisen kaum Unterschiede auf.

		Vordere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 1)	Vordere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 1)	Vordere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 2)	Vordere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	65	65	65	65
	Fehlend	1	1	1	1
Mittelwert		<b>33,10</b>	<b>33,63</b>	<b>33,70</b>	<b>33,85</b>
Median		<b>32,91</b>	<b>33,64</b>	<b>33,91</b>	<b>34,02</b>
Minimum		29,44	29,90	29,87	29,76
Maximum		37,11	37,42	38,49	37,17
Perzentile	25	31,77	32,46	32,35	32,53
	50	32,91	33,64	33,91	34,02
	75	34,54	34,91	35,21	35,22
p =		<b>0,657</b>		<b>0,630</b>	

Tabelle 13: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

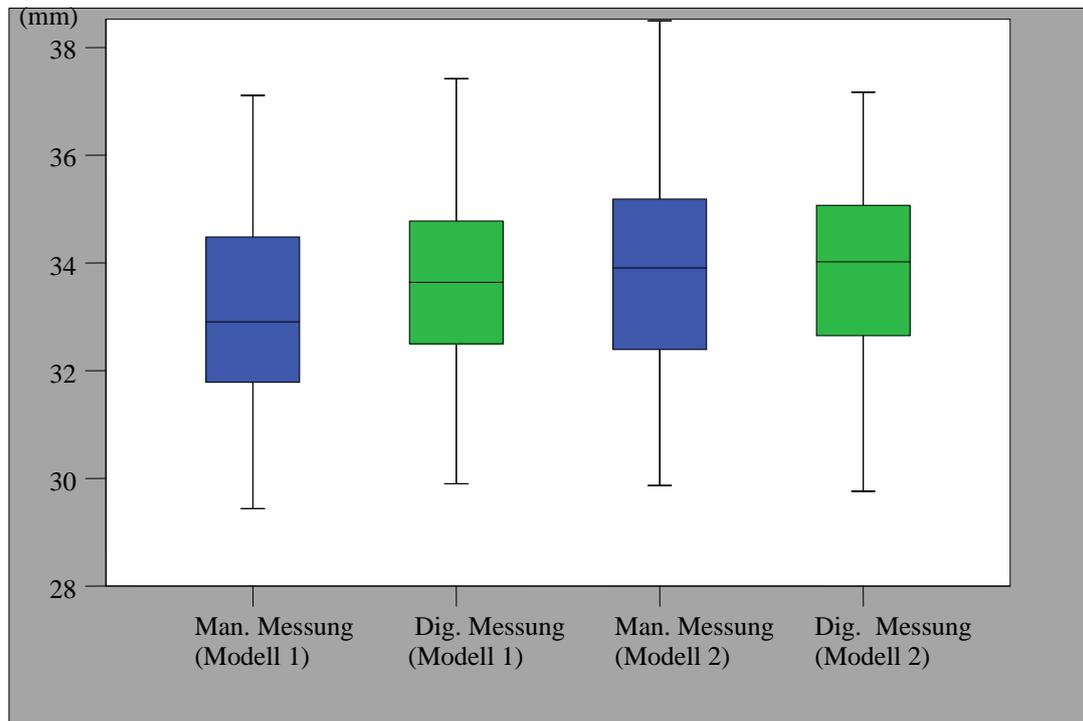


Abbildung 52: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. Digital (Modell 1 und 2)

- **Mittlere Zahnbogenbreite**

Die mittlere Zahnbogenbreite beschreibt die transversale Distanz zwischen den zweiten Milchmolaren. Es konnten keine statistisch signifikanten Differenzen zwischen den beiden Messmethoden ausgemacht werden ( $p > 0,05$ ).

		Mittlere Zahnbogenbreite man. Messung) (Modell 1)	Mittlere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 1)	Mittlere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 2)	Mittlere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	65	65	65	65
	Fehlend	1	1	1	1
Mittelwert		<b>41,32</b>	<b>41,42</b>	<b>42,00</b>	<b>41,57</b>
Median		<b>41,09</b>	<b>41,12</b>	<b>41,55</b>	<b>41,46</b>
Minimum		37,75	37,64	34,53	37,94
Maximum		46,54	49,16	58,69	46,17
Perzentile	25	39,88	39,86	40,18	40,22
	50	41,09	41,12	41,55	41,46
	75	42,77	42,94	43,00	43,10
p =		<b>0,596</b>		<b>0,196</b>	

Tabelle 14: Darstellung der Ergebnisse der mittlere Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

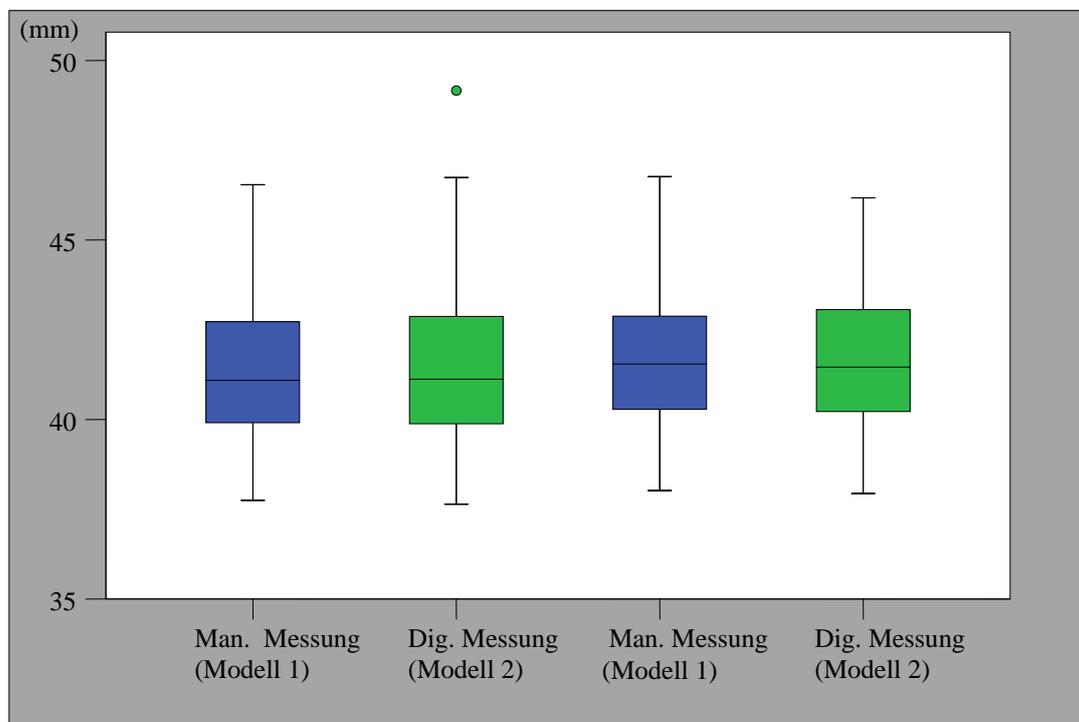


Abbildung 53: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

- **Hintere Zahnbogenbreite**

An den ersten Modellen waren 46 Messungen durchgeführt worden. Die 20 fehlenden Messungen wiesen noch keine unteren Sechsjahrmolaren auf. An den zweiten Modellen waren weitere 4 Messungen möglich. Die ermittelten Ergebnisse beider Messmethoden sind nahezu gleich. Zwischen der digitalen und manuellen Gruppe konnten statistisch keine signifikanten Differenzen dargestellt werden ( $p > 0,05$ ).

		Hintere Zahnbogenbreite man. Messung) (Modell 1)	Hintere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 1)	Hintere Zahnbogenbreite man. Messung (Modell 2)	Hintere Zahnbogenbreite dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	46	46	50	50
	Fehlend	20	20	16	16
Mittelwert		<b>47,94</b>	<b>47,77</b>	<b>48,32</b>	<b>48,13</b>
Median		<b>47,71</b>	<b>47,68</b>	<b>48,58</b>	<b>48,29</b>
Minimum		41,61	42,09	41,04	41,98
Maximum		52,62	52,58	53,21	53,14
Perzentile	25	46,82	46,49	47,08	46,87
	50	47,71	47,68	48,58	48,29
	75	49,63	49,38	49,58	49,39
p =		<b>0,695</b>		<b>0,915</b>	

Tabelle 15: Darstellung der Ergebnisse der hinteren Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

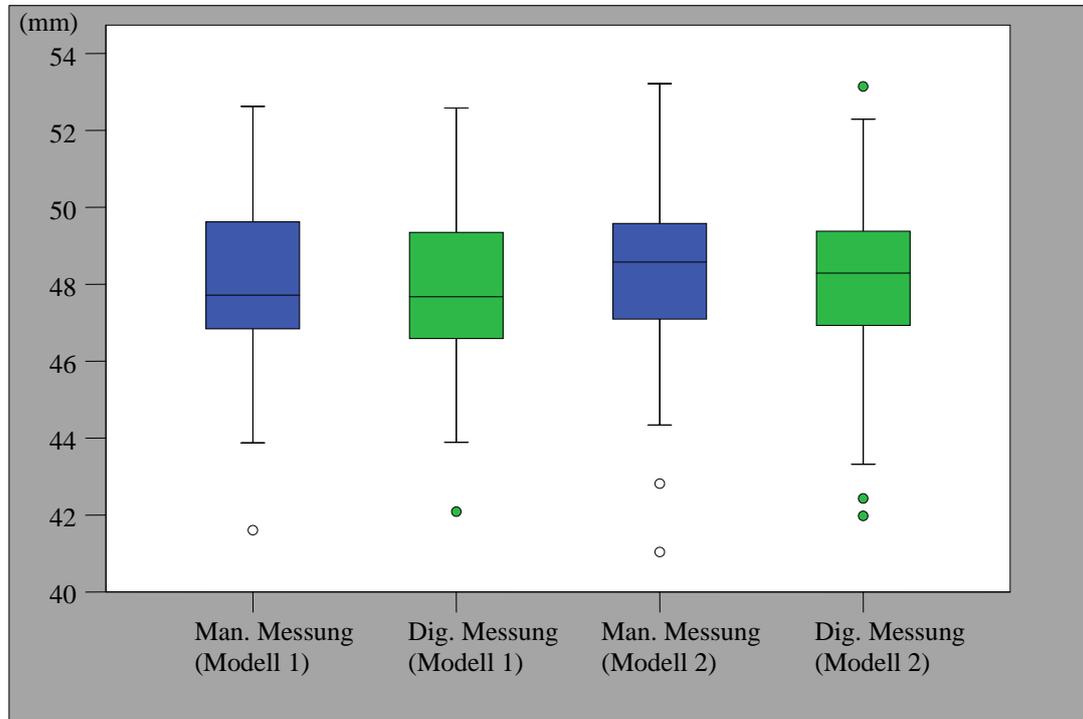


Abbildung 54: Darstellung der Ergebnisse der hinteren Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

### 4.3 Bisslage

#### ➤ Mittellinienverschiebung

Der Vergleich der manuellen und digitalen Gruppe am ersten Modell der Verschiebung der Mitten zwischen den Inzisivi im Ober- und Unterkiefer zeigt statistisch keine signifikanten Differenzen ( $p > 0,05$ ).

Beim Vergleich der Messmethoden der zweiten Modelle wird jedoch eine statistische Signifikanz deutlich ( $p = 0,006$ ). Bei kleineren Messstrecken ist ein Übereinstimmen der Messergebnisse nicht immer eindeutig gegeben.

		Mittenverschiebung man. Messung (Modell 1)	Mittenverschiebung dig. Messung (Modell 1)	Mittenverschiebung man. Messung (Modell 2)	Mittenverschiebung dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>1,94</b>	<b>1,99</b>	<b>1,40</b>	<b>1,34</b>
Median		<b>1,73</b>	<b>1,92</b>	<b>1,26</b>	<b>,93</b>
Minimum		,44	,22	,07	,04
Maximum		4,49	5,05	4,02	5,33
Perzentile	25	1,24	1,00	,66	,32
	50	1,73	1,92	1,26	,93
	75	2,60	2,64	1,79	2,11
p =		<b>0,144</b>		<b>0,006</b>	

Tabelle 16: Darstellung der Ergebnisse der Mittenschiebung im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

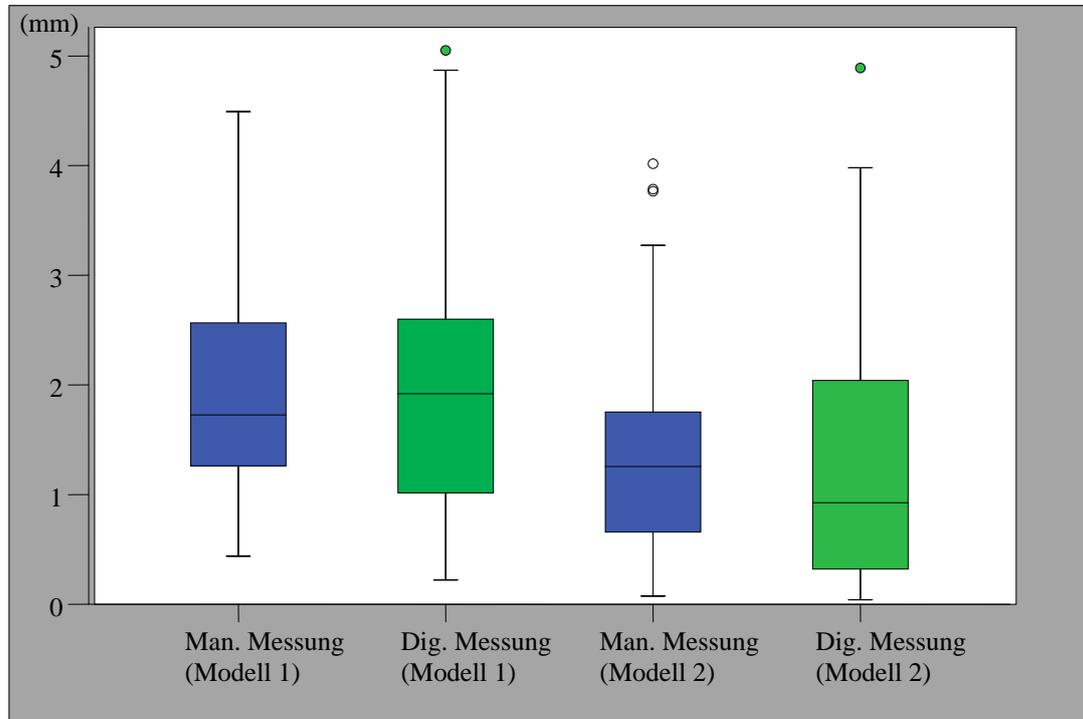


Abbildung 55: Darstellung der Ergebnisse der Mittellinienverschiebung manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

➤ **Overbite und Overjet**

• **Overbite**

Bei der Vermessung des vertikalen Überbisses gab es keine großen Abweichungen zwischen den ersten und zweiten Modellen. Statistisch war keine Signifikanz zwischen den manuell und digital vermessenen Modellen zu vermerken ( $p > 0,05$ ). Mittelwerte und Mediane glichen sich an.

		Overbite man. Messung (Modell 1)	Overbite dig. Messung (Modell 1)	Overbite man. Messung (Modell 2)	Overbite dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>,89</b>	<b>,52</b>	<b>1,65</b>	<b>1,38</b>
Median		<b>1,29</b>	<b>,63</b>	<b>1,64</b>	<b>1,23</b>
Minimum		-4,80	-6,71	-4,78	-3,96
Maximum		5,37	5,27	5,18	6,43
Perzentile	25	-,69	-,48	,77	,18
	50	1,29	,63	1,64	1,23
	75	2,21	1,69	2,80	2,66
p =		<b>0,827</b>		<b>0,592</b>	

Tabelle 17: Darstellung der Ergebnisse des Overbite manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

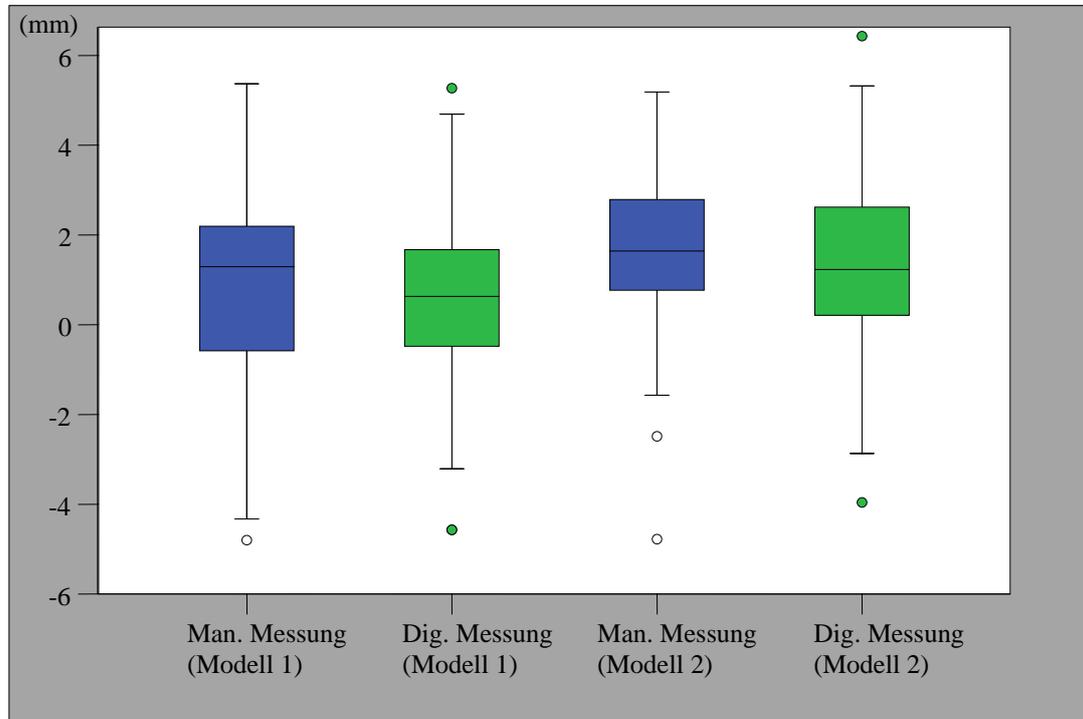


Abbildung 56: Darstellung der Ergebnisse des Overbites manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

- **Overjet**

Bei der Vermessung der sagittalen Frontzahnstufe konnten keine statistisch signifikanten Differenzen ausgemacht werden ( $p > 0,05$ ). Die Abweichungen zwischen den digitalen und manuellen Messungen waren sehr gering.

		Overjet man. Messung (Modell 1)	Overjet dig. Messung (Modell 1)	Overjet man. Messung (Modell 2)	Overjet dig. Messung (Modell 2)
N	Gültig	66	66	66	66
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		<b>3,39</b>	<b>3,39</b>	<b>3,50</b>	<b>3,34</b>
Median		<b>2,98</b>	<b>3,32</b>	<b>3,24</b>	<b>3,20</b>
Minimum		,53	-,64	,81	-1,14
Maximum		9,78	8,90	10,95	10,97
Perzentile	25	2,34	2,07	2,49	2,44
	50	2,98	3,32	3,24	3,20
	75	4,10	4,31	4,43	4,15
p =		<b>0,929</b>		<b>0,659</b>	

Tabelle 18: Darstellung der Ergebnisse der Overjet manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

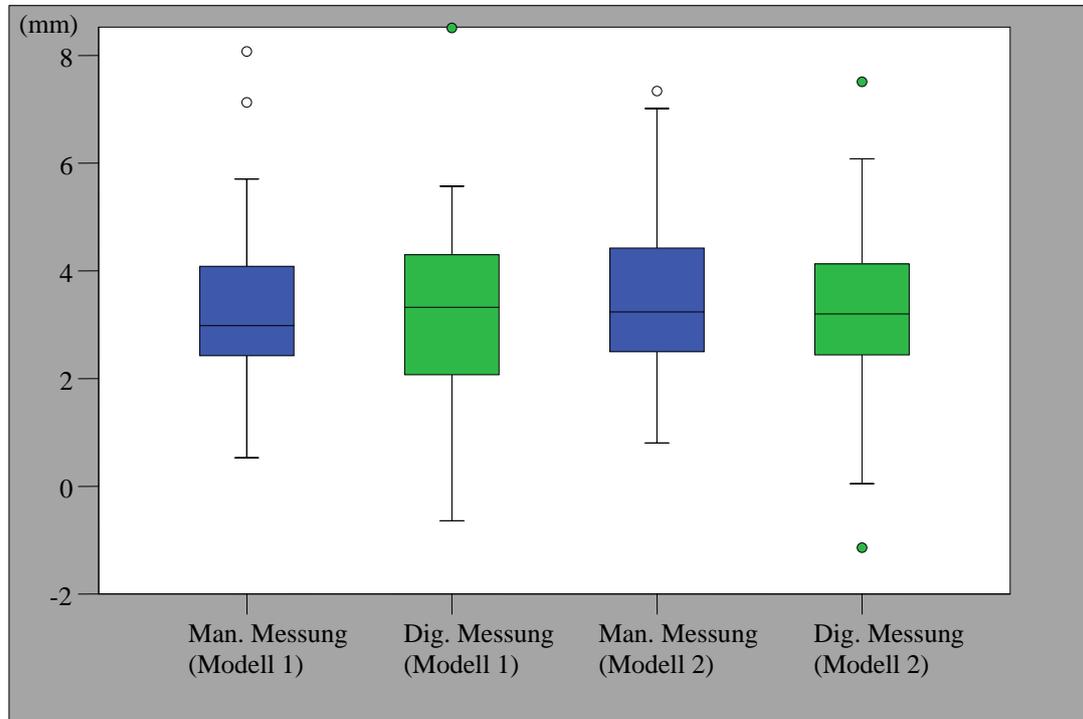


Abbildung 57: Darstellung der Ergebnisse des Overjets manuell vs. digital (Modell 1 und 2)

## 5 Diskussion

Die Modellanalyse ist ein wichtiger Baustein für das Erstellen des kieferorthopädischen Befundes [42]. Die Modellvermessung gehört zu einem entscheidenden und regelmäßigen, non-invasiven Bestandteil der kieferorthopädischen Diagnostik [30].

Anhand der Modelle können die einzelnen Kiefer sowie ihre Lage zueinander metrisch untersucht werden [60]. Das Besondere der Modellanalyse ist, dass alle drei Dimensionen, die sagittale, die transversale und die vertikale im direkten Verfahren an einem Untersuchungsobjekt, dem 3-D-orientierten Modell überprüft werden können [42, 60].

Die sowohl in der Praxis als auch in vielen wissenschaftlichen Studien erprobte manuelle Vermessung mit Hilfe von Schieblehren, Bernklaubesteck und Zirkeln hat sich nach Fischer-Brandies als unproblematisch durchzuführende Methode mit genügender Genauigkeit erwiesen [42].

Im Rahmen der zunehmenden digitalen Datenverarbeitung werden auch in Bezug auf die Modellanalyse Hard- und Softwaresysteme entwickelt, die das manuelle Arbeiten ersetzen können. Durch die Weiterentwicklung von Computersystemen ist es aktuell möglich eine dreidimensionale digitalisierte Modelldarstellung und Modellanalyse durchzuführen [3, 83].

Im Rahmen dieser retrospektiven methodischen Untersuchung wurden manuelle und digitale Messmethoden durchgeführt und miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass die manuelle und digitale Vermessung in ihrer Genauigkeit durchaus vergleichbar ist. Dieses Ergebnis soll im Folgenden differenziert diskutiert werden.

### ***5.1 Diskussion zum Thema und Studienaufbau***

Für die retrospektive methodische Studie mit standardisiertem Studienaufbau wurden 132 Modelle zur Vermessung herangezogen. Alle vorliegenden Modelle weisen einen unilateralen posterioren Kreuzbiss auf. Alle Modelle wurden bezüglich der Modellanalyse identisch vermessen. Die digitale Messung erfolgte einmal, die manuelle Messung wurde fünfmal wiederholt, wobei ein Messvorgang fünf Durchgänge beinhaltete.

Zur Diskussion werden die Studien von Mullen et. al (2007), Bell et. al (2003), Schirmer et. al (1997), Motohashi und Kuroda (1999) und im weiteren Verlauf die Studien von Quimby et. al. (2007) und Tomassetti et. al. (2001) mit dieser Arbeit verglichen.

Eine vollständige Vergleichbarkeit ist durch zum Teil erhebliche Unterschiede im Messablauf und den gewählten Parametern nicht möglich. Dennoch lassen sich die Ergebnisse teilweise durchaus vergleichen.

### ***5.2 Diskussion von Material und Methode***

Für die retrospektive, standardisierte Studie zum Vergleich von manuell und digital vermessenen Modellen wurden 132 Modelle für die Analyse herangezogen. Die manuelle Methode wurde mit Hilfe von Schieblehre, Bernklaubesteck, Geometriedreieck und Lineal durchgeführt. Das digitale Verfahren wurde durch mit der „Digimodel“ Software (Firma Orthoproof, Niederlande) durchgeführt.

Alle vorliegenden Modelle sind zeitlich in die späte Michgebiss- und die erste Wechselgebissphase einzuordnen. Es wurden Modelle mit der gleichen Malokklusion selektiert (unilateraler Kreuzbiss), die Grundlage einer Studie war. Alle Modelle wurden bezüglich der Modellanalyse identisch vermessen. Für die Modellanalyse wurden Referenzpunkte festgelegt, die stellvertretend für bestimmte anatomische Strukturen stehen. Eine genaue Beschreibung der Parameter erfolgte im Material und Methodenteil (Kapitel 3.22). In dieser Untersuchung wurden unter anderem Parameter verwendet, die für eine manuelle Messung als sehr anspruchsvoll zu bezeichnen sind. Hierzu zählen die

Zahnbogeninklination-, Zahnbogenlängen- und Gaumenbogentiefenbestimmung. Ein einfaches Messen mit der digitalen Schieblehre war nicht möglich, so mussten zum Teil mehrere Messhilfsmittel zur Bestimmung eines Parameters verwendet werden (siehe Kap.3.2.1 Abb. 16, 17, 18).

In den Vergleichsstudien wurden unterschiedlich große Modellzahlen verwendet. Verglichen damit ist die Anzahl der Modelle (132) dieser Studie als repräsentativ für die formulierte Zielstellung an zu sehen. Mullen et. al zogen nur 20 Modelle mit adulter Dentition für ihre Studie heran [94] und Bell et. al verwendeten 20 Modelle, deren Dentition und Zustand nicht weiter beschrieben wurden [13]. Schirmer et. al benutzten 100 zufällig ausgewählte Modelle mit einem permanenten Gebisszustand mit Klasse I Verzahnung und kleinen Malokklusionen (Engständen, Rotationen und Diastema) [114]. Motohashi und Kuroda dokumentierten ihre Modellanzahl nicht genauer [91]. Quimby et al variierten die Modellanzahl je nach Fragestellung, es wurden wechselnd 10 Modelle oder 50 Modelle vermessen. Tomassetti et. al verwenden insgesamt 22 Modelle, wovon jeweils die Hälfte der Modelle die Situation vor kieferorthopädischer Behandlung und die andere Hälfte nach kieferorthopädischer Behandlung darstellten.

In der Wahl der verwendeten manuellen Hilfsmittel waren sich alle 7 Studien inklusive der eigenen einig. Es wurde eine digitale Schieblehre verschiedener Fabrikate verwandt, welches jedoch keine Rolle spielte [13, 91, 94, 107, 114, 135]. In dieser Studie bildet die zusätzliche Verwendung von Bernklaubesteck, Geometriedreieck und Lineal eine Besonderheit. Nur so konnten bestimmte Parameter nicht nur mit dem computerbasierten System, sondern auch mit dem manuellen System bestimmt werden. Bei der Verwendung des computergestützten Systems wurden fast ausschließlich dreidimensionale Computersysteme mit entsprechender Software verwendet. Mullen et al. nutzten fünf verschiedene Systeme (emodel, version 6.0, Geo Digm Corb, Chanhassen und Minn) [94]. Motohashi et al. benutzten das 3D CAD/CAM System [91]. Tomassetti et al. verwendeten verschiedene dreidimensionale, computerbasierte Systeme (Quick Ceph, Hamilton Arch Tooth System und Ortho Cad) [135]. Auch Quimby et al. nutzten ein dreidimensionales Computersystem. Bell et al. zogen zur Vermessung seiner Parameter eine biostereometrische Technik heran, die bereits durch Ayoub et al. bekannt war, und zwar im Zusammenhang mit der C3D-builder Software [8, 13]. Schirmer et al. verwendete als einzige ein fotografisches System (photostat

maschine (Xerox 5017)). Hier wurden die Modelle abfotografiert und dann mit einer digitalen Schieblehre vermessen [114]. Diese Methode entspricht nicht mehr dem heute technisch möglichen Standard.

Mullen et al. und Tomassetti et al. verwendeten als Parameter die Boltendiskrepanz [94, 135]. Zusätzlich verwendeten Mullen et al. die Bogenlänge im Unterkiefer und Oberkiefer [94]. Schirmer et al. und Motohashi et al. bestimmten in ihren Studien jeweils die Zahnbreiten der einzelnen Kiefer [91, 114]. Schirmer et al. maßen die Zahnbreite von der Zentralfossa des ersten Molaren zu der Zentralfossa des ersten Molaren im gegenüberliegenden Quadranten [114]. Motohashi et al. maßen von der Zentralfossa des zweiten Molaren zu der Zentralfossa des zweiten Molaren ebenfalls im gegenüberliegenden Quadranten [91]. Bell et al. verwenden sechs anatomische Punkte, welches fünfzehn Messungen pro Kiefer entsprach [13]. Die im Einzelnen verwendeten anatomischen Punkte werden nicht näher erläutert.

Die ausgewählten Parameter stellen sich in den Vergleichsstudien einfacher und weniger komplex dar. Es wurden zum Teil nur ein bis zwei Parameter verwendet. Die Parameter schöpfen die Möglichkeiten des dreidimensionalen Computersystems bei weitem nicht aus. Zudem stellen sie in der klinisch wichtigen Modellanalyse nur einen Teil der kompletten Analyse dar. In der vorliegenden Arbeit wurden für Modellanalyse speziell für die Dysgnathie, des unilateraler posteriorer Kreuzbiss zu bestimmende Parameter ausgewählt, die sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer liegen und zusätzlich noch die Bisslage determinieren.

Der Messvorgang ist bei allen diskutierten Studien unterschiedlich und mit verschiedener Anzahl an Messwiederholungen durchgeführt worden. Bei allen Studien, inklusive der eigenen Studie, ist jedoch eine Wiederholung der Messungen entsprechend der statischen Anforderungen durchgeführt worden.

Mullen et al. führten zweimalige Messungen an den Modellen durch, wobei bei der zweiten Messung nur noch fünf zufällig ausgewählte Modelle erneut vermessen wurden [94]. Bell et al. führten eine achtmalige Wiederholung der fünfzehn Messungen durch [13]. Schirmer et. al führten seine Messungen mit zwei unabhängigen Untersuchern durch [114]. Motohashi et al. wiederholten die Bestimmung der Parameter fünf Mal und Tomassetti et. al wiederholten sie drei Mal [91, 135]. Bei Quimby et. al wurden 10 Modelle zweimal vermessen um die Genauigkeit zu analysieren. Mit zwei

Untersuchern, 50 Modellen und zweimaligem Vermessen versuchten sie die Frage nach der Reproduzierbarkeit zu klären und zuletzt mit 10 Untersuchern, 10 Modellen und zweimaligem Messen die Effektivitätsfrage zu beantworten [107].

In der folgenden Tabelle werden die Studienunterschiede und -gemeinsamkeiten noch einmal in der Übersicht dargestellt.

	Modelle	Digitale Hilfsmittel	Manuelle Hilfsmittel	Messpunkte	Messvorgang
Eigene Studie	132 Modelle von 66 Patienten mit unilateralem post. Kreuzbiss (Milch./Wechselgebiss)	Ortho Proof, CT basiertes einscannen von Abdrücken	- Digitale Schieblehre - Bernklaubesteck, - Geometriedreieck - Lineal	Parameter im Oberkiefer, Unterkiefer und zur Bestimmung der Bisslage (Gesamt: 16 Parameter)	Manuell: Fünf Wiederholungen à fünf Durchgängen an fünf verschiedenen Tagen Digital: Einmaliges messen
Mullen et. al	30 Modelle mit adulter Dentition	- emodel - Version 6.0 - Geo Digm Corb - Chanhassen - Minn	Digitale Schieblehre	- Boltendiskrepanz - Bogenlänge OK und UK	zweimaliges Messen, beim zweiten Mal nur fünf zufällig ausgewählte Modelle erneut vermessen
Bell et. al	22 Modelle	Biostereometrische Technik mit C3D-builder (Software)	Digitale Schieblehre	6 anatomische Punkte mit 15 Messpunkten pro Modell	achtmaliges vermessen der Punkte pro Modell mit mind. Einem Pausentag
Schirmer et. al	100 zufällig ausgewählte Modelle mit einem permanenten Gebisszustand mit Klasse I Verzahnung und kleinen Malokklusionen (Engständen, Rotationen und Diastema)	Photokopien (photostat maschine (Xerox 5017)) mit digitaler Schieblehre	Digitale Schieblehre	Zahnbreite von 6-6	zwei Unabhängige Untersucher
Motohashi et. al		3D CAD/CAM System	Digitale Schieblehre	Zahnbreite von 7-7	fünfmalige Wiederholung
Quimby et. al	10 oder 50 Modelle	Computerbasiertes digitales Modell	Digitale Schieblehre		- 10 Modelle wurden zweimal vermessen - Zwei Untersucher vermessen 50 Modelle zweimal - 10 Untersucher vermessen 10 Modelle zweimal
Tomassetti et. al	22 Modelle (11 vor der und 11 nach der Behandlung) in gutem Zustand	-Quick Cap -Hamilton Arch Tooth System -Ortho Cad	Digitale Schieblehre	Boltendiskrepanz	dreimalige Wiederholung

Tabelle 19: Vergleich des Studienaufbaus in den zitierten Untersuchungen [13, 91, 94, 107, 114, 135]

### **5.3 Diskussion der Ergebnisse**

Die Werte der transversalen Breiten im Oberkiefer waren beim Vergleich der Gruppen statistisch nicht signifikant und auch der Vergleich innerhalb der Gruppe war statistisch nicht signifikant. Genauso verhielt es sich auch bei der Ermittlung der statistischen Signifikanzen der transversalen Breiten im Unterkiefer.

Bei der Bestimmung der Zahnbogenlängen im Oberkiefer waren weder zwischen den Gruppen noch innerhalb der Gruppen statistische Signifikanzen zu verzeichnen.

Die Ergebnisse der Zahnbogeninklinationen im Oberkiefer sind statistisch ebenfalls nicht signifikant. Es fällt jedoch auf, dass der Maximalwert der manuellen Messung durchschnittlich Schnitt um circa  $10^\circ$  höher liegt als der digitale Wert. Bei der Bestimmung der Zahnbogeninklination mit der manuellen Messmethode wurde ein Geometriedreieck mittig zwischen die Oberkieferfrontzähne und an die distale Randleiste des letzten Zahnes im ersten Quadranten angelegt. Das Lineal wurde ebenfalls mittig zwischen die Oberkieferfrontzähne und an die distale Randleiste des letzten Zahnes im zweiten Quadranten angelegt. Auf Höhe des Lineals konnten die Winkelgrade abgelesen werden. Erschwert wurde diese Messmethode jedoch bei schwierigen anatomischen Situationen. Das mittige Anlegen des Geometriedreiecks war besonders schwierig bei großem Diastema, fehlenden mittleren Schneidezähnen, was im Wechselgebiss vorkommen kann, bei mittleren Schneidezähnen, die sich noch im Durchbruch befinden und zuletzt bei stark verschachtelten Zähnen. So kann es beim Vermessen der Zahnbogeninklination im Einzelfall durchaus zu Genauigkeitsfehlern kommen. Bei der digitalen Messmethode ist von solchen Ergebnisschwankungen nicht auszugehen, da hier die Mitte genau markiert werden kann und auf keinen Fall während des Messvorgangs verrutscht.

Die Ergebnisse der Gaumenbogentiefen zeigen beim Vergleich zwischen den Gruppen keine statistischen Signifikanzen. Beim Vergleich innerhalb der manuellen Gruppe tritt jedoch eine statistische Signifikanz ( $p < 0,05$ ) auf. Ursache dafür kann die sehr komplexe Messung sein, denn bei der Bestimmung der Gaumentiefe wurde das Bernklaubesteck zur Hilfe genommen. Zunächst mussten die Referenzpunkte am Modell mit dem spitzen Druckbleistift eingezeichnet werden. Die Kunststoffplatte des Bernklaubestecks wurde parallel zur Okklusionsebene ausgerichtet. Die in sagittaler

Richtung verlaufende rote Linie wurde parallel zur Raphe mediana ausgerichtet, eine im 90°-Winkel dazu verlaufende Linie diente als Verlängerung des Referenzpunktes. Die Referenzpunkte liegen in der Zentralfossa des ersten, zweiten Milchmolaren und des Sechsjahrmolaren. In dem Schnittpunkt beider Linien erfolgte der Einschub eines Messstabs durch die dafür vorgesehene Aussparung. Die Länge des Messstabes repräsentiert nun die Gaumentiefe. Mithilfe der Schieblehre kann die Tiefe vermessen werden. Die Schieblehre wurde mit einem Schenkel auf die Platte gelegt und mit dem zweiten Schenkel an die Spitze des Messstabes angelegt. Die Beschreibung zeigt deutlich, dass bereits kleine Fehler zu Messungenauigkeiten führen können. Besonders schwierig ist die exakte Bestimmung der Okklusionsebene, hierbei können verlängerte Frontzähne oder Eckzähne das Anlegen der Kunststoffplatte erschweren. Zur Bestimmung der Bisslage dienten die Mitterverschiebung, der Overjet und der Overbite. Hier war keine statistische Signifikanz der Ergebnisse zwischen und innerhalb der Gruppen zu verzeichnen.

Im Studienvergleich mit den vorstehend bereits angegebenen Autoren gibt es ähnliche statistische Signifikanzen der Ergebnisse, obwohl im Vergleich zur vorliegenden Studie zum Teil auch andere Parameter erhoben wurden.

Die Ergebnisse von Mullen et al. waren im Bezug auf die Boltendiskrepanz statistisch nicht signifikant [94]. Die vermessene Zahnbogenlänge zeigte zwischen den Gruppen eine statistische Signifikanz, die klinisch jedoch nicht relevant ist [94]. Bell et al. zeigen in ihrer Studie, dass es keine statistischen Signifikanzen zwischen und innerhalb der Gruppen gibt [13]. Und auch Motohashi et. al, Quimby et. al und Tomassetti et. al bewiesen mit ihrer Studie, dass der Vergleich zwischen den manuellen und digitalen Messungen keine statistische Signifikanz aufweist [91, 107, 135]. Einzige Ausnahme stellt die Studie von Schirmer et al. dar. Es lagen statistisch signifikante Ergebnisse zwischen den Gruppen bei 20 von 24 vermessenen Zähnen vor [114]. Es stellt sich heraus, dass die verwendeten Photokopien als Grundlage für die computergestützten Systeme nicht vergleichbar mit der manuellen Methode sind, da ein dreidimensionales Modell mithilfe der Photographie zweidimensional dargestellt wird. Hierbei gehen wichtige Informationen verloren oder werden falsch projiziert.

#### ***5.4 Zusammenfassung des Studienvergleichs***

Unabhängig von der Anzahl der Modelle, die in die Studie mit einbezogen sind, dem Messvorgang und der Parameterauswahl entsprechen digitale dreidimensionale computergestützte Modellanalysen in ihrer Genauigkeit den manuellen Verfahren. Aus der eigenen Studie geht hervor, dass besonders bei komplexen Messvorgängen eine digitale Vermessung die Analyse erleichtert, auch wenn sie in ihrer Genauigkeit dem bekannten manuellen Verfahren nicht überlegen ist.

Unabhängig vom gewählten Studienaufbau und den Parametern zeigen die statistischen Analysen zwischen den Gruppen keine statistischen Signifikanzen. Manuelle und digitale Modellanalysen sind damit hinsichtlich der Genauigkeit vergleichbar.

Vergleichsergebnisse zwischen den Gruppen statistisch nicht signifikant und damit in ihrer Präzision identisch.

## 6 Zusammenfassung

Im Rahmen einer retrospektiven Untersuchung mit standardisiertem Studienaufbau wurden 132 Modelle zur Vermessung herangezogen. Alle vorliegenden Modelle weisen einen unilateralen posterioren Kreuzbiss auf und sind zeitlich in die späte Michgebiss- und die erste Wechselgebissphase einzuordnen. Die gesamte Modellanzahl lässt sich 66 Patienten zuordnen. Es stammen jeweils zwei Modelle von einem Patienten, ein Anfangsmodell (Modell 1) und ein Schlussmodell (Modell 2), welches den Zustand nach einem Jahr Therapie repräsentiert. Alle Modelle wurden bezüglich der Modellanalyse identisch vermessen. Die digitale Messung erfolgte einmal, die manuelle Messung wurde fünfmal wiederholt, wobei ein Messvorgang fünf Durchgänge beinhaltete. Die Zeitabstände zwischen den fünf Messungen wurden zufällig gewählt, sie mussten jedoch mindestens einen Tag betragen.

Die digitale Vermessung der Modelle erfolgte durch eine dreidimensionale Digitalisierung und Visualisierung. Mit Hilfe eines Computertomographen wurden digitale Modelle erstellt und anschließend mit der Analysesoftware „Digimodel“ (Firma Ortho Proof) ausgewertet. An den entstandenen digitalen Modellen wurden die festgelegten Parameter bestimmt.

Die manuelle Messung der Modelle erfolgte mit Hilfe einer digitalen Schieblehre, einem Bernklaubesteck, einem Geometriedreieck und Lineal.

Für die Modellanalyse werden Referenzpunkte festgelegt, welche bestimmten anatomischen Strukturen entsprechen. Insgesamt wurden 16 maxilläre und mandibuläre Parameter festgelegt.

Die statistische Analyse der komplexen vermessenen Parameter ergibt zwischen der manuellen und digitalen Methode keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Beide Methoden sind somit prinzipiell gleichwertig hinsichtlich der Messgenauigkeit.

Die digitale Analyse zeigt jedoch insbesondere bei komplexen Vermessungen wie der Zahnbogeninklination und der Gaumenbogentiefe gegenüber dem manuellen Vorgehen deutliche Vorteile und zwar sowohl hinsichtlich des Zeitaufwand, Messgerätaufwand und Dokumentation.

Computergestützte Systeme vereinfachen somit in wissenschaftlichen Studien und in der klinischen Modellanalyse das Messverfahren deutlich, sind jedoch nicht präziser zu bewerten, vorausgesetzt ein exaktes technisches Vorgehen.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Abraham J.E. and Alexander S.A. (1997) Overview of anterior and posterior crossbites in children, *N Y State Dent J*, 63(2): p. 36- 38.
2. Admund A., Holm, A.K. and Lindqvist B. (1980) Grinding of unilateral limited movement crossbite in the primary dentition--a pilot study, *Tandlakartidningen*, 72(8): p. 452- 6.
3. Alcaniz M. et al. (1998) An advanced system for the simulation and planning of orthodontic treatment, *Med Image Anal*, 2(1): p. 61- 77.
4. Angle E. (1908) *Behandlung der Okklusionsanomalien der Zähne*, Übersetzung von Grünberg J, redigiert von Oppenheim A, Meusser H, Berlin.
5. Angle E. (1899) Classification of malocclusion, *Dental Cosmos* 41: p. 148- 264, 350- 357.
6. Angle E. (1913) *Die Okklusionsanomalien der Zähne*, Verlag H. Meusser, Berlin.
7. Angle E. (1900) Treatment of malocclusion of the teeth and fractures of the maxillae. Angle's system S.S., White Dental Manufacturing Co., Philadelphia.
8. Ayoub A.F. et al. (1997) A three-dimensional imaging system for archiving dental study casts: a preliminary report, *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 12(1): p. 79- 84.
9. Bay R.(1955) *Handbuch der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Bd. 5*. In: Häupel K., Meyer W., Schuchard K.,Urban und Schwarzenberg, München Berlin.
10. Beerendonk H. (1951) *Dentalschieblehre*, Prospekt Fa. Seitz und Haag/Fa. Dentarum, Pforzheim Gießen.
11. Behlfelt, K. (1990) Enlarged tonsils and the effect of tonsillectomy. Characteristics of the dentition and facial skeleton. Posture of the head, hyoid bone and tongue. Mode of breathing, *Swed Dent J Suppl* 72: p. 1- 35.
12. Behlfelt K. et al. (1989) Dentition in children with enlarged tonsils compared to control children, *Eur J Orthod* 11(4): p. 416- 429.

13. Bell A., Ayoub A.F. and Siebert P. (2003) Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models, *J Orthod* 30(3): p. 219- 223.
14. Bell R.A. and LeCompte E.J. (1981) The effects of maxillary expansion using a quad-helix appliance during the deciduous and mixed dentitions. *Am J Orthod* 79(2): p. 152- 161.
15. Bernklau K. (1953) Neue Hilfsmittel in der kieferorthopädischen Befunderhebung *Fortschr Kieferorthop* 14: p. 55- 62.
16. Bjerklin K.(2000) Follow-up control of patients with unilateral posterior cross-bite treated with expansion plates or the quad-helix appliance, *J Orofac Orthop* 61(2): p. 112- 124.
17. Bolton W.(1962) The clinical application of a tooth-size analysis, 20. Brin I, Ben-Bassat Y, Blustein, *Am J Orthod* 48: p. 504- 529.
18. Bolton W. (1958) Disharmony in tooth size and its relation in the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod* 28: p. 113- 130.
19. Boysen B. et al. (1992) Three-dimensional evaluation of dentoskeletal changes after posterior cross-bite correction by quad-helix or removable appliances, *Br J Orthod* 19(2): p. 97- 107.
20. Brin I. et al. (1996) Skeletal and functional effects of treatment for unilateral posterior crossbite, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109(2): p. 173- 179.
21. Carabelli, G. (1844) *Systematisches Handbuch der Zahnheilkunde*, Wien.
22. Clifford F.O. (1971) Cross-bite correction in the deciduous dentition: principles and procedures, *Am J Orthod* 59(4): p. 343- 349.
23. Coombes A.M. et al. (1991) A mathematical method for the comparison of three-dimensional changes in the facial surface. *Eur J Orthod* 13(2): p. 95- 110.
24. Costalos P.A. et al. (2005) Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128(5): p. 624- 629.
25. Dauro Douglas Oliveira A.C.d.O.R., Maria Eugênia de Lima Drummond and Mariele Cristina Garcia Pantuzo A.M.Q.L. (2007) Confiabilidade do uso de modelos digitais tridimensionais como exame auxiliar ao diagnóstico ortodôntico: um estudo piloto.

26. Dausch-Neumann D. (1970) The crossbite, Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl Gesamte 54(1): p. 87- 93.
27. Day A.J. and Foster T.D. (1971) An investigation into the prevalence of molar crossbite and some associated aetiological conditions, Dent Pract Dent Rec 21(11): p. 402- 410.
28. De Vis H., De Boever J.A. and Van Cauwenberghe P. (1984) Epidemiologic survey of functional conditions of the masticatory system in Belgian children aged 3-6 years, Community Dent Oral Epidemiol 12(3): p. 203- 207.
29. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie (1996) Statement regarding early orthodontic treatment, J Orofac Orthop 57: 381-383.
30. Diedrich, P. (2000) Kieferorthopädie I Orofaciale Entwicklung und Diagnostik. Praxis der Zahnheilkunde, Urban und Fischer Verlag, München Jena.
31. Diedrich, P. (2000) Kieferorthopädie II Therapie, Praxis der Zahnheilkunde, Urban und Fischer Verlag, München Jena.
32. Drescher, D. (1994) Kephalemetrie und Profilanalyse, In: Schmuth G Praxis der Zahnheilkunde, Kieferorthopädie I, Urban und Schwarzenberg Verlag, München Wien Baltimore, Bd. 11.
33. Dröschel H, Sajer K (1977) Über die Anwendung der Wahrscheinlichkeitstabellen von Moyers. Inf. Orthodont Kieferorthop. 9: p. 241.
34. Eckstein, W. (1974) Holographie in der Kieferorthopädie. Studie und Nachuntersuchungen kieferorthopädisch behandelter Patienten mit Multiband-Technik, Med Diss, Ulm.
35. Egermark-Eriksson I. (1982) Malocclusion and some functional recordings of the masticatory system in Swedish schoolchildren, Swed Dent J 6(1): p. 9- 20.
36. Egermark-Eriksson I. et al. (1990) A longitudinal study on malocclusion in relation to signs and symptoms of cranio-mandibular disorders in children and adolescents, Eur J Orthod 12(4): p. 399- 407.
37. Ehmer U. (2000) Klassifikation der kieferorthopädischen Befunde, In: P Diedrich, Praxis der Zahnheilkunde, Kieferorthopädie I, Orofaciale Entwicklung und Diagnostik, Urban und Fischer Verlag, München Jena.

38. Ehmer U. and Wegener A. (1993) The validity of the degrees of asymmetry in computer-supported analyses of the frontal x-ray image, *Fortschr Kieferorthop* 54(3): p. 134- 142.
39. Erdinc A.E., Ugur T. and Erbay E. (1999) A comparison of different treatment techniques for posterior crossbite in the mixed dentition, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116(3): p. 287- 300.
40. Faber R.D. (1978) The differential diagnosis and treatment of crossbites, *Dent Clin North Am* 25(1): p. 53- 68.
41. Ficarelli J.P. (1978) A brief review of maxillary expansion, *J Pedod* 3(1): p. 29- 35.
42. Fischer-Brandies H. (1995) *Kieferorthopädische Modellanalyse*, Hanser Verlag, München Wien.
43. Garner L.D. and Butt M.H. (1985) Malocclusion in black Americans and Nyeri Kenyans, An epidemiologic study, *Angle Orthod* 55(2): p. 139- 146.
44. Gebauer U. (1977) Electronic measuring and calculating devices for arcogrammetric model diagnosis and for the interpretation of teleradiographs, *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 87(11): p. 1170- 1180.
45. Grünberg J. (1912) The symmetroscope: an apparatus for measuring the symmetry or assymetry of dental arches, *Dental Cosmos* 54: p. 490- 491.
46. Gysi A.(1895) Die geometrische Konstruktion eines menschlichen oberen bleibenden normalen Gebisses mittlerer Größe, *Schweiz Vjchr Zahnheilk* 5: 1- 18.
47. Hannuksela A.et al. (1988) Treatment of crossbite in early mixed dentition. *Proc Finn Dent Soc* 84(3): p. 175- 182.
48. Harrison J.E. and Ashby D. (2001) Orthodontic treatment for posterior crossbites, *Cochrane Database Syst Rev*: p. CD000979.
49. Häupl K. (1959) *Kieferorthopädie*, Berlinische Verlagsanstalt, Berlin.
50. Heikinheimo K. and Salmi K. (1987) Need for orthodontic intervention in five-year-old Finnish children, *Proc Finn Dent Soc* 83(4): p. 165- 169.
51. Henry R.J. (1993) Slow maxillary expansion: a review of quad-helix therapy during the transitional dentition, *ASDC J Dent Child* 60(4): p. 408- 413.

52. Hense W. (1984) Nachuntersuchung kieferorthopädisch behandelter Patienten mit dem Modellmessgerät und dem Computerprogramm "Modell", Med. Diss, Bonn.
53. Herber C. (1907) Die Konstruktion des normalen Kiefers, Z Zahnärztl Orthop 1: 129- 143.
54. Herbst E. (1910) Atlas und Grundriss der zahnärztlichen Orthopädie, Verlag JF Lehmann, München
55. Hermanson H., Kurol J. and Ronnerman A. (1985) Treatment of unilateral posterior crossbite with quad-helix and removable plates, A retrospective study, Eur J Orthod 7(2): p. 97- 102.
56. Herren P. and Jordi-Guilloud T. (1973) Quantitative determination of the dental arch by polygon measurement in the ideal and anomalous arch, SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 83(6): p. 682- 709.
57. Herren P., Schmoker R., and Jordi T. (1973) Arch shape and space balance determined by arcogramme technique, Trans Eur Orthod Soc: p. 61- 73.
58. Hesse, K.L. et al. (1997) Changes in condylar position and occlusion associated with maxillary expansion for correction of functional unilateral posterior crossbite, Am J Orthod Dentofacial Orthop 111(4): p. 410- 418.
59. Hicks, E.P. (1978) Slow maxillary expansion. A clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force, Am J Orthod 73(2): p. 121- 141.
60. Hoffmann-Axthelm W. (2000) Lexikon der Zahnmedizin, Verlag Urban und Fischer, München Jena.
61. Hoppe-Walter G. (2006) Prospektive klinische Studie zur Therapie des unilateralen Kreuzbisses mittels Gaumennahterweiterung, Medizinische Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster.
62. Hultcrantz E. et al. (1991) The influence of tonsillar obstruction and tonsillectomy on facial growth and dental arch morphology, Int J Pediatr Otorhinolaryngol 22(2): p. 125- 134.
63. Infante P.F. (1976) An epidemiologic study of finger habits in preschool children, as related to malocclusion, socioeconomic status, race, sex, and size of community, ASDC J Dent Child 43(1): p. 33- 38.

64. Infante, P.F. (1975) Malocclusion in the deciduous dentition in white, black, and Apache indian children, *Angle Orthod* 45(3): p. 213- 218.
65. Ingervall B., Seeman L. and Thilander B. (1972) Relation between combined widths of incisors and dimensions of the dental arches, *Scand J Dent Res* 80(3): p. 181- 188.
66. IZARD G. (1930) *Lehrbuch Orthodontie*.
67. Johannsdottir B., P.J. Wisth and T.E. Magnusson (1997) Prevalence of malocclusion in 6-year-old Icelandic children, *Acta Odontol Scand* 55(6): p. 398- 402.
68. Karwetzky R. (1969) Der Modelltisch, ein Behelf für Winkelspiegelaufnahmen. *Fortschr Kieferorthop* 30: p. 241- 244.
69. Kennedy D.B. and Osepchook B. (2005) Unilateral posterior crossbite with mandibular shift: a review, *J Can Dent Assoc* 71(8): p. 569- 573.
70. Kenworthy C.R. and Sheats R.D. (2001) A bonded functional ramp to aid in asymmetric expansion of unilateral posterior crossbites, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119(3): p. 320- 322.
71. Kerosuo H. et al. (1991) Occlusal characteristics in groups of Tanzanian and Finnish urban schoolchildren, *Angle Orthod*, 61(1): p. 49- 56.
72. Keß K., Kolbowski J. (1990) Computergestützte dreidimensionale Modellanalyse, *Prakt. Kieferorthop*. 4: p. 213- 218.
73. Kinast, H. (1977) Indikationsstellung durch Kombination verschiedener Einzelbefunde mittels elektronischer Datenverarbeitung, *Fortschr Kieferorthop* 38: p. 367- 390.
74. Kisling E. and Krebs G. (1976) Patterns of occlusion in 3-year-old Danish children, *Community Dent Oral Epidemiol*, 4(4): p. 152- 159.
75. Klink-Heckmann U. and Bredy E. (1990) *Kieferorthopädie*, Johann Ambrosius Barth, Berlin.
76. Körbig, T. (1932) *Über die Entwicklung und Symptomatologie des Kreuzbisses*, in *Med Diss*, Erlangen.
77. Körbitz A. (1909) *Kursus der Orthodontie*, nach J.A.W van Loog, Verlag Berliner Zahnärztliche Poliklinik, Berlin

78. Körbitz, A. (1909) Neue Gesichtspunkte zur diagnostischen Beurteilung unregelmäßiger Zahnbögen, *Z Zahnärztl Orthop* 3: p. 266- 278.
79. Korkhaus G. (1928) Der Symmetrievergleich in der orthodontischen Diagnostik, *Z Zahnärztl Orthop* 18: p. 83- 87.
80. Korkhaus G. (1926) Ein neuer orthopädischer Zirkel, *Z Zahnärztl Orthop* 20: p. 41- 60.
81. Korkhaus G. (1939) Handbuch der Zahnheilkunde Bd.4, In: Partsch C., Bruhn C., Kantorowicz A., Bergmann, München.
82. Korkhaus G. (1931) Orthometer, *Fortschr Orthod* 1: p. 302- 303.
83. Kuroda T. et al. (1996) Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110(4): p. 365- 369.
84. Kuro J. and Berglund L. (1992) Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bites in the primary dentition, *Eur J Orthod* 14(3): p. 173- 179.
85. Kutin G. and Hawes R.R. (1969) Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions, *Am J Orthod* 56(5): p. 491- 504.
86. Lam P.H., Sadowsky C. and Omerza F. (1999) Mandibular asymmetry and condylar position in children with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 115(5): p. 569- 575.
87. Lew K.K. and Foong W.C. (1993) Horizontal skeletal typing in an ethnic Chinese population with true Class III malocclusions, *Br J Orthod* 20(1): p. 19- 23.
88. Lindner A. (1989) Longitudinal study on the effect of early interceptive treatment in 4-year-old children with unilateral cross-bite, *Scand J Dent Res* 97(5): p. 432- 438.
89. Magnusson T.E. (1976) An epidemiologic study of occlusal anomalies in relation to development of the dentition in Icelandic children. *Community Dent Oral Epidemiol* 4(3): p. 121- 128.
90. Miras D. and Sander F.G. (1993) Die Genauigkeit von Hologrammen im Vergleich zu anderen Modellvermessungen, *Fortschr Kieferorthop.* 54: p. 203- 217.

91. Motohashi N. and Kuroda T. (1999) A 3D computer-aided design system applied to diagnosis and treatment planning in orthodontics and orthognathic surgery. *Eur J Orthod* 21(3): p. 263- 274.
92. Moyers R. (1973) *Handbook of Orthodontics*. 3rd Edition, Year Book, Medical Publishers, Chicago
93. Moyers R.E., Van der Linden F.p.g.m., Riolo M.L. and Mc Namara J.A. (1976) Standards of human occlusal development, in *Monogr. 5. Center of Human Growth and Development*, The University of Michigan.
94. Mullen S.R. et al. (2007) Accuracy of space analysis with emodels and plaster models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132(3): p. 346- 352.
95. Narwrath K. (1968) Neue Tabelle zur Breitenbestimmung seitlicher Ersatzzähne. *Zahnärztl. Welt* 69: p. 395.
96. Nötzel F., Schulze C. (2001) *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik*, Dt. Zahnärzterverl., DÄV-Hanser, München.
97. O'Byrn B.L. et al. (1995) An evaluation of mandibular asymmetry in adults with unilateral posterior crossbite, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107(4): p. 394- 400.
98. Ortho Cast I., *Orthodontic Study Model and Lab Supplies*
99. Oulis C.J. et al. (1994) The effect of hypertrophic adenoids and tonsils on the development of posterior crossbite and oral habits, *J Clin Pediatr Dent* 18(3): p. 197- 201.
100. Pelosi M., Joel S.D., Levine S.W. and Lorie B.J. (2004) Digital models: An introduction, *Seem Orthod* 10: p. 226- 238.
101. Petron S., Bond mark L. and Soderfeldt B. (2003) A systematic review concerning early orthodontic treatment of unilateral posterior crossbite, *Angle Orthod* 73(5): p. 588- 596.
102. Pfaff W. (1921) *Lehrbuch der Orthodontie für Studierende und Zahnärzte*. 1921, Leipzig.
103. Pont A. (1909) Der Zahn-Index in der Orthodontie, *Z Zahnärztl Orthod* 3: 306- 321.
104. Proffit W. (2000) Treatment of orthodontic problems in preadolescent children. In: Proffit WR, ed. *Contemporary Orthodontics* p. 435- 439, St. Louis.

105. Proffit W. and Fields H. (2000) Contemporary Orthodontics p. 435- 439, St. Louis: Mobsy.
106. Purcell P.D. (1984) The crossbite, J Mich Dent Assoc 66(2): p. 69- 73.
107. Quimby M.L. et al. (2004) The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models, Angle Orthod 74(3): p. 298- 303.
108. Ranta R. (1988) Treatment of unilateral posterior crossbite: comparison of the quad-helix and removable plate, ASDC J Dent Child 55(2): p. 102- 104.
109. Ryden H., Bjelkhagen H. and Martensson B. (1982) Tooth position measurements on dental casts using holographic images, Am J Orthod, 1982 81(4): p. 310-313.
110. Sander F.G. (1989) Die Verwendung der Holografie in der Kieferorthopädie für die Modellanalyse, prakt. Kieferorthop. 3: p. 145.
111. Sandikcioglu M. and Hazar S.(1997) Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition, Am J Orthod Dentofacial Orthop 111(3): p. 321- 327.
112. Schenk H.J. (1986) Kieferorthopädische Modellanalyse mit Hilfe verschiedener Verfahren der Koordinatenmesstechnik, Fortschr Kieferorthop 47: p. 67-75.
113. Schenk H.J. (1981) Kieferorthopädische Modellanalyse mit Hilfe der Nahstereophotometrie, Med. Diss., Berlin.
114. Schirmer U.R. and Wiltshire W. A. (1997) Manual and computer-aided space analysis: a comparative study, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 112(6): p. 676- 680.
115. Schlömer R. (1984) Der Einfluss des Lutschens und des Beruhigungssaugers auf das Milchgebiss, in Fortschr Kieferortho 45: 128-140.
116. Schmuth G. (1994) Kieferorthopädie, Thieme Verlag, Stuttgart New York.
117. Schmuth G.P. (1987) Crossbite - an analysis of 1600 patients, Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl 75(2): p. 148- 153.
118. Schmuth G.P. (1955) Ein orthodontisches Visiermesskreuz. Öst Z Stomatol 52 p: 660- 661.
119. Schnitzer E.v. (1975) Mitteilung
120. Schopf P. (2000) Curriculum Kieferorthopädie, Quintessenz Verlag: Berlin Chicago London Rio de Janeiro Tokio.

121. Schroder U. and Schroder I. (1984) Early treatment of unilateral posterior crossbite in children with bilaterally contracted maxillae, *Eur J Orthod* 6(1): p. 65- 69.
122. Schulze C. (1993) *Lehrbuch der Kieferorthopäde, Band I, Einführung in die Kieferorthopädie, Anamnese und Befunderhebung unter besonderer Berücksichtigung der Modellanalyse*, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Chicago, London, Rio de Janeiro, Tokio.
123. Schwaninger B., Schmidt R.L. and Hurst R.V. (1977) Holography in dentistry, *J Am Dent Assoc* 95(4): p. 814- 817.
124. Schwarz A. (1926) Kopfhaltung und Kiefer, in *Ztschr f Stomatol* 5: 669-744.
125. Schwarz A. (1961) *Lehrgang der Gebissregulierung*, Urban und Schwarzenberg, Wien.
126. Schwarze C. (1968) Ist die Mesialwanderung der Seitenzähne messbar? *Dtsch Zahnärztl Z* 23.
127. Sohmura T. et al. (2000) Use of an ultrahigh-speed laser scanner for constructing three-dimensional shapes of dentition and occlusion, *J Prosthet Dent* 84(3): p. 345- 352.
128. Stahl A.N.F. (1965) *Besteck für das Sockeln von Kiefermodellen*, Prospekt Fa. Seitz und Haag, Gießen.
129. Tham P. (1953) Photogrammetric application in dentistry photogramm. *Eng* 19, 668.
130. Thilander B. and Lennartsson B. (2002) A study of children with unilateral posterior crossbite, treated and untreated, in the deciduous dentition--occlusal and skeletal characteristics of significance in predicting the long-term outcome, *J Orofac Orthop* 63(5): p. 371- 383.
131. Thilander B. and Myrberg N. (1973) The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren, *Scand J Dent Res* 81(1): p. 12- 21.
132. Thilander, B., et al., Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment need in children and adolescents in Bogota, Colombia. An epidemiological study related to different stages of dental development. *Eur J Orthod*, 2001. 23(2): p. 153- 167.

133. Thilander B. et al. (2002) Prevalence of temporomandibular dysfunction and its association with malocclusion in children and adolescents: an epidemiologic study related to specified stages of dental development, *Angle Orthod* 72(2): p. 146- 154.
134. Thilander B., Wahlund S. and Lennartsson B. (1984) The effect of early interceptive treatment in children with posterior crossbite, *Eur J Orthod* 6(1): p. 25- 34.
135. Tomassetti J.J. et al. (2001) A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method. *Angle Orthod* 71(5): p. 351- 357.
136. Tonn, P. (1937) Über die mesio-distalen Zahnbreiten-Relationen der Zähne des Oberkiefers zu den entsprechenden des Unterkiefers bei normaler und annormaler Okklusion, in *Med. Diss., Berlin*.
137. Van der Linden F.P. et al. (1972) Three-dimensional analysis of dental casts by means of the optocom, *J Dent Res* 51(4): p. 1100.
138. Weise W. (1992) *Kieferorthopädische Kombinationstherapie*, Urban und Schwarzenberg, München Wien Baltimore.
139. Woodside D.G. et al. (1991) Mandibular and maxillary growth after changed mode of breathing, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 100(1): p. 1- 18.
140. Yamamoto K. et al. (1991) Measurements of dental cast profile and three-dimensional tooth movement during orthodontic treatment, *IEEE Trans Biomed Eng* 38(4): p. 360- 365.
141. Yamamoto K. et al. (1989) Optical measurement of dental cast profile and application to analysis of three-dimensional tooth movement in orthodontics. *Front Med Biol Eng* 1(2): p. 119- 130.
142. Zielinsky W. (1911) Über die Verbesserung unserer Methoden zur exakten Bestimmung horizontaler Lagerungsanomalien am Gebiss und die Erleichterung der vorzunehmenden Untersuchungen durch Anwendung des "Orthometers". *Z Zahnärztl Orthop* 5: p. 467- 477.
143. Zilberman O., Huggare J.A. and Parikakis K.A. (2003) Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle Orthod* 73(3): p. 301- 306.

## 8 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Ulrike Ehmer und Herrn PD Dr. Carsten Lippold für die Zustellung des Themas, sowie die kompetente Unterstützung und Hilfe beim Erstellen dieser Dissertation. Sie haben mir während der Erstellung meiner Arbeit immer tatkräftig und hilfsbereit zur Seite gestanden.

Bei Herrn PD Dr. Gholamreza Danesh möchte ich mich herzlich für die statistische Beratung und für die Hilfe bei der Auswertung meiner Ergebnisse bedanken.

Zusätzlich lieben Dank an Dr. Christian Kämper für die Korrektur und Formatierungshilfe bei der Erstellung meiner Arbeit.

Dankbar bin ich auch für die ständige Unterstützung meiner Eltern, die mir in der ganzen Zeit tatkräftig zur Seite standen.

## 9 Lebenslauf

### PERSÖNLICHE DATEN

Name	Meyer
Vorname	Svenja Irina
Geburtsdatum	29.12.1982
Geburtsort	Münster
Eltern	Mutter: Dr. Irina Meyer, geb. 02.10.1954, Zahnärztin, Fachzahnärztin für Kieferorthopädie Vater: Hans-Jürgen Meyer, geb. 14.02.1953, Diplom- Betriebswirt
Geschwister	Carde Meyer, geb. 27.12.1985, Studentin

### SCHULAUSSBILDUNG

1993 – 2002	Nottulner Gymnasium
22.06.2002	Abitur am Nottulner Gymnasium

### STUDIUM

04. 2003-10. 2003	Beginn des Studiums der Zahnmedizin in Ulm
10. 2003	Studienortwechsel nach Münster
10. 11. 2008	Staatsexamen an der Westfälischen Wilhelms Universität Münster Gesamtergebnis: gut

### BERUFLICHER WERDEGANG

01. 01. – 31.12.2009	Allgemeinzahnärztliches Jahr in der zahnärztlichen Praxis Dr. Melchheier in Olfen
01.01.2010	Beginn der kieferorthopädischen Weiterbildung am Universitätsklinikum Münster, Zahnklinik Abt. Kieferorthopädie

### EHRENAMTLICHE TÄTIGKEITEN

2001-2009	Jugendarbeit beim Provinzial-Verband westfälischer Reit- und Fahrvereine als Mitglied im JuST We Team (Jugendsprecherteamwestfalen)
2005-2009	Jugendsprecherin beim Provinzial-Verband westfälischer Reit- und Fahrvereine

### SONSTIGES

Hobbys	Dressurreiten, Ausbildung von Reitern und Pferden
--------	---

## 10 Anhang

### 10.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dysmorphologische Klassifikation transversale Dysgnathien .....	9
Tabelle 2: Zusammenfassung der untersuchten Parameter .....	33
Tabelle 3: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Oberkiefer manuell vs. digital .....	54
Tabelle 4: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	56
Tabelle 5: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	58
Tabelle 6: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	60
Tabelle 7: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogenlänge im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	62
Tabelle 8: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogeninklination im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	64
Tabelle 9: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Milchmolaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	66
Tabelle 10: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der zweiten Milchmolaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	68
Tabelle 11: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Molaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	70
Tabelle 12: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	72
Tabelle 13: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	74
Tabelle 14: Darstellung der Ergebnisse der mittlere Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	76

Tabelle 15: Darstellung der Ergebnisse der hinteren Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	78
Tabelle 16: Darstellung der Ergebnisse der Mittenverschiebung im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	80
Tabelle 17: Darstellung der Ergebnisse des horizontalen Überbiss manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	82
Tabelle 18: Darstellung der Ergebnisse der vertikalen Frontzahnstufe manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	84
Tabelle 19: Vergleich des Studienaufbaus in den zitierten Untersuchungen .....	90

## 10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der dreidimensionale kieferorthopädischer Befund nach E. v. Schnizer, Originalausschnitt aus der kieferorthopädischen Behandlungskarte (1939). In der Kopfleiste wurde links die Schneidezahnbreite (SI) und im Zahnkreuz rechts der Zahnbefund nach dem Status präsens eingetragen. ....	13
Abbildung 2: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell mit eingezeichneten Visierpunkten zum Bestimmen der Raphemedianlinie. ....	15
Abbildung 3: Kiefermodellpaar mit Orientierungsebenen. 1=Raphemedianebene, 2=Tuberebene, 3=Kauebene. ....	15
Abbildung 4: Overbite – Vertikale Frontzahnstufe .....	17
Abbildung 5: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCad	23
Abbildung 6: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCast	24
Abbildung 7: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCast	24
Abbildung 8: Softwarebeispiel der digitalen Modellanalyse von der Firma OrthoCast	24
Abbildung 9: Softwarebeispiel „E-Model“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Geo Digm .....	25
Abbildung 10: Softwarebeispiel „E-Model“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Geo Digm .....	25
Abbildung 11: Softwarebeispiel „Digimodel“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Orthoproof .....	26
Abbildung 12: Softwarebeispiel „Digimodel“ der digitalen Modellanalyse von der Firma Orthoproof [Hoppe- .....	26
Abbildung 13: Studienablauf: Modellanzahl mit Anzahl der Messungen .....	28
Abbildung 14: Ein Computertomograph der Firma Orthoproof .....	29
Abbildung 15: Ansicht eines Oberkiefermodells .....	30
Abbildung 16: Digitale Schieblehre .....	31
Abbildung 17: Bernklaubesteck (Platte mit Messstift) .....	31
Abbildung 18: Geometriedreieck mit farbigem Lineal für die Winkelmessung.....	31
Abbildung 19: Festlegung der Okklusionsebene in einem digitalen Unterkiefermodell.	32

Abbildung 20: Oberkiefer in der Aufsicht: Dargestellt sind die transversalen Messstrecken für die Eckzahn-, Milchmolaren- und Molarenregion. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren. ....	34
Abbildung 21: Oberkiefermodell in der Aufsicht Messungen der interkanalen Distanz im Oberkiefer. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisive und Sechsjahrmolaren .....	35
Abbildung 22: Oberkiefermodell in der Frontansicht. Messung der transversalen Distanz des ersten Milchmolaren. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren. ....	35
Abbildung 23: Oberkiefermodell in der Frontansicht. Messung der transversalen Distanz des ersten Milchmolaren. Die Abbildung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren. ....	36
Abbildung 24: Oberkiefer in der Aufsicht: Die mediane Zahnbogenlänge u Zahnbogeninklination .....	37
Abbildung 25: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Zahnbogenlänge mit Hilfe der digitalen Schieblehre .....	38
Abbildung 26: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Zahnbogeninklination mit Hilfe von Geodreieck und Lineal .....	39
Abbildung 27: Oberkiefer in schräglateraler Aufsicht. Die Messung der Gaumenbogentiefe ist skizziert dargestellt. Die Darstellung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren. ....	40
Abbildung 28: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Gaumentiefe auf Höhe des ersten Milchmolaren mit Hilfe des Bernklaubestecks. .	41
Abbildung 29: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Gaumentiefe auf Höhe des zweiten Milchmolaren mit Hilfe des Bernklaubestecks. ....	41
Abbildung 30: Aufsicht auf ein Oberkiefermodell: Darstellung der manuellen Messung der Gaumentiefe auf Höhe des ersten Molaren mit Hilfe des Bernklaubestecks .....	42
Abbildung 31: Aufsicht auf die Messung der Gaumentiefe mit Hilfe von Bernklaubesteck und digitaler Schieblehre. ....	42

Abbildung 32: Unterkiefer in der Aufsicht. Die schematische Darstellung der Messung der Zahnbogenbreiten. Die Darstellung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren. ....	43
Abbildung 33: Aufsicht auf ein Unterkiefer Modell. Manuelle Messung der transversalen interkaninen Distanz mit Hilfe der digitalen Schieblehre. ....	44
Abbildung 34: Aufsicht auf ein Unterkiefer Modell. Manuelle Messung der transversalen Distanz zwischen dem ersten und zweiten Milchmolaren mit Hilfe der digitalen Schieblehre. ....	45
Abbildung 35: Aufsicht auf ein Unterkiefer Modell. Manuelle Messung der transversalen Distanz auf Höhe des distobukalen Höckers des ersten Molaren.....	45
Abbildung 36: Oberkiefer und Unterkiefermodell in der Frontalansicht. Die Mittenverschiebung ist schematisch dargestellt. Die Darstellung zeigt eine frühe Wechselgebissperiode mit permanenten mittleren Inzisivi und Sechsjahrmolaren. ....	46
Abbildung 37: Frontansicht von einem in Okklusion stehenden Oberkiefer und Unterkiefermodell Darstellung der manuellen Mittenverschiebung mit Hilfe der digitalen Schieblehre .....	47
Abbildung 38: Ein frühes Wechselgebiss dargestellt in einem medianen Sagittalschnitt. Der Overbite dient der Beschreibung der vertikalen Frontzahnbeziehung und der Overjet dient der Beschreibung der sagittalen Frontzahnrelation. ....	48
Abbildung 39: Darstellung der manuellen Overjetmessung mit Hilfe der digitalen Schieblehre. ....	49
Abbildung 40: Darstellung der manuellen Overjetmessung mit Hilfe der digitalen Schieblehre. ....	50
Abbildung 41: Darstellung der Overbitemessung an einem Unterkiefermodell mit Hilfe der digitalen Schieblehre. ....	51
Abbildung 42: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	55
Abbildung 43: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	57
Abbildung 44: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	59

Abbildung 45: Darstellung der Ergebnisse der hinteren Zahnbogenbreite im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	61
Abbildung 46: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogenlänge im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	63
Abbildung 47: Darstellung der Ergebnisse der Zahnbogeninklination im Oberkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	65
Abbildung 48: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Milchmolaren manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	67
Abbildung 49: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der zweiten Milchmolaren manuell vs digital (Modell 1 und 2) .....	69
Abbildung 50: Darstellung der Ergebnisse der Gaumenbogentiefe im Bereich der ersten Molaren manuell vs. digital (Modelle 1 und 2).....	71
Abbildung 51: Darstellung der Ergebnisse der interkaninen Distanz im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	73
Abbildung 52: Darstellung der Ergebnisse der vorderen Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. Digital (Modell 1 und 2) .....	75
Abbildung 53: Darstellung der Ergebnisse der mittleren Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	77
Abbildung 54: Darstellung der Ergebnisse der hinteren Zahnbogenbreite im Unterkiefer manuell vs. digital (Modell 1 und 2) .....	79
Abbildung 55: Darstellung der Ergebnisse der Mittellinienverschiebung manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	81
Abbildung 56: Darstellung der Ergebnisse des Overbite manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	83
Abbildung 57: Darstellung der Ergebnisse des Overbites manuell vs. digital (Modell 1 und 2).....	85