

Aus der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Tübingen

Abteilung Poliklinik für Kieferorthopädie

Ärztlicher Direktor: Professor Dr. B. Koos

**Vergleich der Präzision von unterschiedlichen
Modellscannern (Licht- und Laserscanner) bei
verschiedenen Entwicklungsstadien und Fehlbildungen
des Gebisses**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Martin Ferdinand Erhard Jurisch
aus

Mönchengladbach

2023

Dekan:	Professor Dr. B. Pichler
1. Berichterstatter:	Professor Dr. B. Koos
2. Berichterstatter:	Professor Dr. F. Hüttig
Tag der Disputation:	13.09.2023

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Material und Methode	11
2.1 Umfang und Einteilung	11
2.2 Auswahl der Patientenmodelle	13
2.3 Versuchsvorbereitende Maßnahmen	14
2.4 Messpunkte / Messstrecken	15
2.5 Messgeräte und Verfahren	22
2.7 Statistik	24
3. Ergebnisse	25
3.1 Äußere Messstrecken	27
3.1.1 Messwerte der 2. Dentition	27
3.1.2 Messwerte der Oberkiefermodelle mit bilateralen Spalten	32
3.2 Innere Messstrecken	37
3.2.1 Messwerte der 2. Dentition	37
3.2.2 Messwerte der 1. Dentition	41
3.2.3 Messwerte bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten	45
3.3 Messstrecken ohne Begrenzung	50
3.3.1 Messwerte der 2. Dentition	50
3.3.2 Messwerte bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten	54
3.4 Messwerte der Prüfkörper	58
4. Diskussion	59
4.1 Auswahl der Patientenmodelle	60
4.2 Modellherstellung und Lagerung	61
4.3 Prüfkörper	62
4.4 Datenerhebung und Datenauswertung	63
4.5 Modellvermessung	64

4.6 Diskussion der Ergebnisse	65
5. Schlussfolgerung	68
6. Zusammenfassung	69
7. Literaturverzeichnis	70
8. Anhang	76
8.1 Messergebnisse Handmessung 2. Dentition	76
8.2 Messergebnisse Zirkonzahn 2. Dentition	78
8.3 Messergebnisse 3Shape 2. Dentition	80
8.4 Messergebnisse Handmessung spätes Wechselgebiss	82
8.5 Messergebnisse Zirkonzahn spätes Wechselgebiss	84
8.6 Messergebnisse 3Shape spätes Wechselgebiss	86
8.7 Messergebnisse Handmessung frühes Wechselgebiss	88
8.8 Messergebnisse Zirkonzahn frühes Wechselgebiss	90
8.9 Messergebnisse 3Shape frühes Wechselgebiss	92
8.10 Messergebnisse Handmessung 1. Dentition	94
8.11 Messergebnisse Zirkonzahn 1. Dentition	95
8.12 Messergebnisse 3Shape 1. Dentition	96
8.13 Messergebnisse Handmessung unilaterale Spalten	97
8.14 Messergebnisse Zirkonzahn unilaterale Spalten	98
8.15 Messergebnisse 3Shape unilaterale Spalten	99
8.16 Messergebnisse Handmessung bilaterale Spalten	100
8.17 Messergebnisse Zirkonzahn bilaterale Spalten	101
8.18 Messergebnisse 3Shape bilaterale Spalten	102
8.19 Messergebnisse Handmessung Prüfkörper „2 Stümpfe“	103
8.20 Messergebnisse Zirkonzahn Prüfkörper „2 Stümpfe“	103

8.21 Messergebnisse 3Shape Prüfkörper „2 Stümpfe“	103
8.22 Messergebnisse Handmessung Prüfkörper „Inlay“	104
8.23 Messergebnisse Zirkozahn Prüfkörper „Inlay“	104
8.24 Messergebnisse 3Shape Prüfkörper „Inlay“	104
9. Tabellenverzeichnis	105
10. Abbildungsverzeichnis	107
11. Erklärung zum Eigenanteil	111
12. Danksagung	112

1. Einleitung

Eine erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Hierzu werden Informationen aus Fotos, Röntgenbildern, klinischer Untersuchung und Modellen entnommen. Alle daraus gewonnenen Informationen beeinflussen Art und Ablauf der kieferorthopädischen Behandlung. Ein entscheidender Punkt dabei ist eine präzise Modellanalyse. Zusätzlich zur klinischen Befunderhebung bietet die Modellanalyse dem Behandler die Beurteilung und Ermittlung von dentalen Stellungsfehlern und daraus folgenden Platzmissverhältnissen im Zahnbogen.

Die herkömmliche und immer noch weit verbreitete Methode, Gipsmodelle mittels einer Schieblehre und anderen Analyse-Werkzeugen, wie zum Beispiel des Korkhaus Bestecks, zu vermessen, hat sich seit vielen Jahren bewährt. Wie andere Gebiete der Zahnmedizin unterliegt auch die Kieferorthopädie dem Wandel der Zeit. Dieser macht sich besonders deutlich in der zunehmenden Digitalisierung des gesamten kieferorthopädischen Behandlungsablaufs bemerkbar (Tallarico, 2020). Die schnell fortschreitende Weiterentwicklung digitaler Technologien beschleunigt den Umbruch von plastischen zu digitalen Modellen und computergestützten Analysen (Hou et al., 2020). Auch die Entwicklung und Einführung neuer Behandlungsverfahren, wie zum Beispiel die Verwendung von Alignern, sorgen für eine immer stärkere Nutzung digitaler Ressourcen (Carvalho et al., 2019). Ebenso zeigen Studien auf, dass zum Beispiel von Patientenseite die Akzeptanz der digitalen Abformung höher als die der herkömmlichen Alginatabformung ist (Mangano et al., 2018; Burhardt et al., 2016). Durch Computersoftware kann bei digitalen Modellen eine Verschiebung der Zähne simuliert und das Ziel der Behandlung visuell dargestellt werden (Weinstein et al., 2021). Gerade im Bereich der Kieferorthopädie, die neben der Herstellung eines optimalen funktionellen Gebisses vor allem auch einen hohen ästhetischen Aspekt in sich trägt, ist es für Patienten ein Gewinn und Motivation ihr Behandlungsergebnis bereits zu Beginn visuell dargestellt zu bekommen. Ein weiterer Vorteil der Digitalisierung ist, dass die Modelle nur noch virtuellen

Speicherplatz einnehmen und in der Summe günstiger sind als herkömmliche Gipsmodelle (Peluso et al., 2004). Dies ist besonders im Hinblick auf die Aufbewahrungspflicht von Gipsmodellen, welche nach § 630f Abs. 3 BGB und § 12 Abs. 1 MBO der BZÄK mindestens 10 Jahre nach Behandlungsabschluss beträgt, eine wesentliche Erleichterung für Praxen und Kliniken. Ein ebenfalls erwähnenswerter Nutzen digitaler Modelle liegt im vereinfachten interdisziplinären Austausch. Dieser geht deutlich schneller vonstatten, und auch die Gefahr einer Beschädigung beim Transport von Gipsmodellen wird umgangen (Dalstra und Melsen, 2009; Alcañiz et al., 1998).

Sowohl die herkömmliche Modellanalyse, wie auch die digitale, bieten zudem dem Behandler die Möglichkeit die Patientengebisse extraoral aus allen Blickwinkeln zu betrachten und zu beurteilen. Dienlich hierzu können Markierungen auf den Modellen sein. Während ein Entfernen dieser Markierungen auf Gipsmodellen sehr vorsichtig geschehen muss, um Beschädigungen zu vermeiden, zum Beispiel mit einem Abdampfgerät, können Markierungen auf einem digitalen Modell in der Software beliebig oft verändert oder gelöscht werden.

Es gilt sowohl für herkömmliche Gipsmodelle als auch für digitale Modelle, dass ihr Informationsgehalt umso größer ist, je umfassender die Abformung erfolgt. Wichtig ist, neben den Zahnbögen auch anatomische Strukturen wie Bandansätze, den Tuberbereich und vor allem Konturen im Gaumenbereich möglichst genau abzuformen, da diese bei der Modellanalyse zur Orientierung genutzt werden. Somit ist eine erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung nach wie vor von einer korrekten Abformung abhängig. Sind alle erforderlichen Strukturen erkennbar abgeformt und die Modelle regelkonform getrimmt bzw. gesockelt, so kann eine dreidimensionale Auswertung der Modelle durchgeführt werden.

Für die klassische Modellanalyse am Gipsmodell können viele Hilfsmittel, wie zum Beispiel Lineal, Messzirkel oder Schieblehre, verwendet werden. Im Laufe der Zeit haben neue Entwicklungen immer wieder gezeigt, dass schon früh der Wunsch entstand, die Modellanalyse einerseits immer genauer durchführen zu können und andererseits durch neue Hilfsmittel zu vereinfachen. So wurden

immer wieder neue technische Systeme entwickelt: 1962 nutzte Le Bret (Le Bret, 1962) den von Korkhaus entwickelten Symmetrographen, um Kiefermodelle zu vermessen. White und Hobbs (White und Hobbs, 1977) beschrieben 1977 das Problem einer exakten Bestimmung der Zahnbogenlänge und führten ihre Messungen mit einer durchsichtigen Plastikscheibe mit vorgezeichneten Bögen durch. Ein weiterer Versuch, die Wiedergabe von Kiefermodellen zu verbessern, war die Stereophotogrammetrie (Schenk et al., 1986).

Der erste Schritt zur Digitalisierung von Patientenmodellen war die Verwendung und Vermessung von Fotokopien. Deren Genauigkeit war jedoch nicht zufriedenstellend, wie Schirmer und Wiltshire (Schirmer und Wiltshire, 1997) 1997 in ihrer Studie beschrieben. Allerdings wurde schon hier darauf verwiesen, dass sie ein probates Mittel zum Vergleich von Modellen vor und nach einer Behandlung waren. Als Weiterentwicklung der Fotokopien folgte die Verwendung von digitalen Fotografien (Rosetto et al., 2009) und der Holographie (Miras und Sander, 1993; Redlich et al., 2008; Rydén et al., 1982; Martensson und Rydén, 1992; Romeo, 1995). Bei der Holographie werden die Modelle laserphotographisch erfasst und rekonstruiert. Dadurch entsteht eine dreidimensionale Wiedergabe des Objektes, die man Hologramm nennt (Miras und Sander, 1993). Mit der Holographie war erstmals eine dreidimensionale Speicherung und Wiedergabe von Patientenmodellen möglich.

Alle oben genannten Verfahren hatten zum Ziel, die Nachteile der herkömmlich verwendeten Gipsmodelle, wie den hohen Lagerungsaufwand und die Frakturgefahr, zu beheben.

Auch wenn ein vollständiger digitaler Workflow mittlerweile möglich ist (Christensen, 2017; van der Meer et al., 2016), ist das gängigste Verfahren zur Erzeugung digitaler Modelle immer noch ein vorhandenes Gipsmodell mittels eines Modellscanners zu digitalisieren, alternativ können Abformungen eingescannt werden. Hierzu können im Wesentlichen zwei Arten von Scannern unterschieden werden: Streifenlichtscanner und Laserscanner. Darüber hinaus existieren noch Tastscanner, die wesentlich präziser, aber kostspieliger und langsamer sind und daher weniger Verwendung finden.

Mit der Einführung von Intraoral-Scannern konnte der Schritt der konventionellen Abformung mittels Alginats oder Silikon umgangen werden. Carmadella et al. (Camardella et al., 2017) fanden heraus, dass bei dieser Form der Digitalisierung die Genauigkeit der Messungen zwar noch im klinisch akzeptablen Bereich liegt, ihre Reproduzierbarkeit bei einigen Parametern jedoch unzureichend ist. Song und Kim (Song und Kim, 2020) konnten zeigen, dass intraorale Scanner bei mit Brackets beklebten Zähnen mitunter große Diskrepanzen aufweisen. Ein bedeutendes Problem dieser Abformmethode besteht, gerade in der Kieferorthopädie, darin, dass es mit den zurzeit verfügbaren Systemen nicht möglich ist, den gesamten Kiefer auf einmal zu erfassen. Daraus ergibt sich, dass die Software die Einzelaufnahmen mittels Rechenprozessen zu einem Gesamtmodell zusammenfügen muss, wodurch sich Fehler oder Ungenauigkeiten potenzieren können (Passos et al., 2019; Schmidt et al., 2020). Mittels der digitalen Volumetomografie können ebenfalls 3D-Datensätze von Kiefern erzeugt werden. Studien haben dargelegt, dass es zwischen DVT-erzeugten Modellen und 3D-gescannten keine signifikanten Genauigkeitsunterschiede gibt (da Silva-Dantas et al., 2019; Xiao et al., 2019). Frühere Studien zeigten auf, dass die digitale Modellvermessung der analogen bereits ebenbürtig war (Quimby et al., 2004; Zilberman et al., 2003; Naidu et al., 2009; Bell et al., 2003; Murugesan und Sivakumar, 2020; Czarnota et al., 2016; Sousa et al., 2012) oder die gemessenen Differenzen keine klinische Relevanz aufwiesen (Fleming et al., 2011; Stevens et al., 2006; Hayashi et al., 2013). Jedoch ist ein häufig beschriebenes Problem der digitalen Modellvermessung die Schwierigkeit, einzelne Messpunkte auf den virtuellen Modellen zu ermitteln (Hayashi et al., 2015; Grünheid et al., 2014; Sjogren et al., 2010; Houston, 1983; Stevens et al., 2006). Weitere Studien stellten außerdem fest, dass es in Bezug auf die Messstrecken Diskrepanzen in der Genauigkeit von digitalen Messungen gab (Santoro et al., 2003; Leifert et al., 2009). Darüber hinaus muss zum Vergleich immer eine Methode als Goldstandard festgelegt werden (Grünheid et al., 2014). Dies war in der Vergangenheit meist die analoge Messung mithilfe einer Schieblehre oder eines Messzirkels (im Folgenden nur noch „analoge Messung“ genannt). Allerdings werden auch hier mögliche Schwierigkeiten bei

der Modellanalyse beschrieben. So kann die analoge Messung zum Beispiel beim versuchten Anlegen an den approximalen Kontaktpunkt zweier Zähne durch die Bauweise der Schieblehre an ihre natürlichen Grenzen kommen (Grünheid et al., 2014). Ein solches Problem kann bei der Vermessung von digitalen Modellen nicht auftreten, da an jeden sichtbaren Bildpunkt auch ein Messpunkt gesetzt werden kann. Dies führt zu der Überlegung, dass die digitale Messung bei bestimmten Messstrecken genauer als die analoge Messung ist.

Das Ziel der vorliegenden Studie war zu prüfen, wie es sich mit der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der digitalen Messung bei verschiedenen Entwicklungsstadien des Gebisses respektive Fehlbildungen mit bilateralen oder unilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten verhält.

Mit der Verwendung von Modellen unterschiedlicher Entwicklungsstadien oder von Säuglingen mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten, sowie zwei industriell gefertigten Prüfkörpern, sollten gegebenenfalls Schwierigkeiten bei der Messung bestimmter Strecken auf virtuellen Modellen aufgedeckt werden. Die zwei Prüfkörper wurden aus Titan Grad 4 nach DIN EN ISO-Norm 12836 (CPM-Precision GmbH, Hirschberg, Deutschland) hergestellt und dienten als Referenzmodelle. Im Gegensatz zu den Kiefermodellen sind die tatsächlichen Abmessungen dieser Prüfkörper aufgrund des Herstellungsprozesses bekannt. Die Maße der Prüfkörper konnten somit beim Vergleich der verschiedenen Messmethoden als Goldstandard dienen.

Im Zuge dessen sollte überprüft werden, ob sich die digitale Modellanalyse für eine bestimmte Art von Gebissen besser oder schlechter eignet.

Ebenso konnte durch die unterschiedlichen Modelle und die dadurch differenten Messstrecken kontrolliert werden, ob Diskrepanzen in der Genauigkeit der digitalen Messungen auftreten.

Um eventuelle durch die Scanmethode verursachte Differenzen offenzulegen, wurden zwei verschiedene Modellscanner zur Digitalisierung der Modelle verwendet, zum einen der Laserlichtscanner R700 der Firma 3Shape (Kopenhagen, Dänemark) und zum anderen der Streifenlichtscanner S600 der Firma Zirkonzahn (Gais/Südtirol, Italien).

Bei einem Laser-Scan wird Laserlicht auf ein Modell gestrahlt und von seiner Oberfläche reflektiert. Das entstehende Streumuster wird von einem optischen Sensor erfasst und per Triangulationsverfahren ein digitaler Datensatz des gescannten Modells erstellt. Das Funktionsprinzip eines Streifenlichtscanners ähnelt dem des Laser-Scanners. Das zu scannende Objekt verformt die Streifen des Lichts und macht so die Oberfläche für eine Kamera sichtbar. Das digitale Modell wird ebenfalls durch Triangulationsberechnungen erstellt. (Kuo und Miller, 2003).

Die verwendete Software 3D-Tool stammt von der Firma 3D-Tool GmbH und Co. KG (Weinheim, Deutschland). Die Software zeigt die zuvor beim Scannen erstellte STL-Datei als 3D-Modell und bietet neben anderen Funktionen die Möglichkeit die Strecke von einem Bildpunkt zu einem anderen Bildpunkt zu messen. 3D-Tool ist keine spezifische kieferorthopädische Software. Sie hat jedoch in verschiedenen Studien ihre Tauglichkeit für kieferorthopädische oder andere vergleichbare Messungen im medizinischen Bereich bewiesen (Jacob et al., 2015; Felter et al., 2021; Woehl et al., 2018).

In der von Felter et al. (Felter et al., 2021) durchgeführten Studie wurden 80 in der kieferorthopädischen Modellanalyse geschulten Probanden drei Aufgaben gestellt, die sie mit zwei nicht-kieferorthopädischen Software Programmen (3D Viewer und 3D-Tool) durchführen mussten. Anschließend wurde ihnen ein Fragebogen ausgeteilt, in dem sie die Handhabung der Software bewerten sollten. Die erzielten Ergebnisse beschreiben Felter et al. als zufriedenstellend. Jacob et al. (Jacob et al., 2015) nutzten die Software 3D Tool, um einen extraoralen Scanner und zwei intraorale Scanner miteinander zu vergleichen. Zu diesem Zweck wurden fünf Messstrecken im Unterkiefer festgelegt, der Inter-Molaren-Abstand, der Inter-Canini-Abstand, die einseitige Kieferbogenlänge, die Eckzahnhöhe und die Prämolarenbreite. Das Ergebnis dieser Studie war eine vergleichbare Genauigkeit aller drei Scanner.

Woehl et al. (Woehl et al., 2018) nutzten 3D-Tool zur 3D-Analyse von Osteosynthesematerial bei Patienten mit SLAC- und SNAC-Wrist mittels CT-Scans.

Arbeitshypothesen

Die klassische analoge Modellanalyse ist seit vielen Jahren Standard in der Kieferorthopädie. Mit zunehmender Digitalisierung wird dieses herkömmliche Verfahren jedoch nach und nach aus dem Klinikalltag gedrängt. Auch wenn die digitale Modellanalyse schon seit einigen Jahren existiert und Studien mindestens ihre Gleichwertigkeit gegenüber der analogen Modellanalyse bewiesen haben, bleiben auf ihrem Gebiet noch immer Fragen unbeantwortet. Im Vorfeld dieser Studie wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Unterschiedliche Entwicklungsstadien, respektive Fehlbildungen wie uni- oder bilaterale Lippen-Kiefer-Gaumenspalten, des Gebisses haben keine direkten Auswirkungen auf die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der digitalen Modellvermessung im Vergleich zur analogen Vermessung.
2. Es besteht kein Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Längen und Lagen der Messstrecken und der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der digitalen Modellvermessung über eine als signifikant einzustufende Messdifferenz von 0,5 mm.
3. Die unterschiedlichen optischen Scanmethoden (Laserlicht und Streifenlicht) haben keinen Einfluss auf die Genauigkeit der digitalen Modelle.
4. Die digitale Messung ist im Vergleich zur manuellen, analogen Messung mit einer Schieblehre nicht präziser.

2. Material und Methode

2.1 Umfang und Einteilung

Für die Studie wurden insgesamt 100 Einzelkiefer aus fünf verschiedenen Entwicklungsstadien, teils mit unterschiedlichen Fehlbildungen, vermessen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1. Zusammensetzung der vermessenen Modellarten

Entwicklungsstadium	Anzahl
2. Dentition	10 Modellpaare
Spätes Wechselgebiss	10 Modellpaare
Frühes Wechselgebiss	10 Modellpaare
1. Dentition	10 Modellpaare
Bilaterale Spalten	10 Oberkiefermodelle
Unilaterale Spalten	10 Oberkiefermodelle

Die Anzahl der Modelle orientierte sich an vergleichbaren Studien in denen sie sich als anerkannt und ausreichend erwies (Liu et al., 2021; Asquith et al., 2007; Czarnota et al., 2016; Jiménez-Gayosso et al., 2018; Nawi et al., 2018; Radeke et al., 2014).

Die Modelle wurden sowohl manuell mit einer digitalen Schieblehre der Firma Mitutoyo, Model Nr. CD-15APX (Mitutoyo, Kawasaki, Japan) - im Folgenden nur noch „analoge Messung“ genannt - und digital mit der Software „3D-Tool“ der Firma 3D-Tool GmbH und Co. KG (Weinheim, Deutschland) vermessen.

Die hier verwendeten Modelle stammen aus kieferorthopädischen Behandlungen in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen. Alle Modelle wurden mit Codes versehen und anonymisiert, sodass keine Rückschlüsse auf Patientendaten gezogen werden

konnten. Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen genehmigt (Projektnr. 543/2017BO2).

Des Weiteren wurden zwei unterschiedliche Prüfkörper nach DIN EN ISO-Norm 12836 von der Firma CPM-Precision GmbH (Hirschberg, Deutschland) produziert und als Referenzmesskörper verwendet. Dabei handelte es sich um einen Prüfkörper für Kronen und Brücken, der eine positive Geometrie besitzt, sowie um den Prüfkörper für Inlays, der eine Inlaykavität simuliert und somit eine negative Geometrie aufweist. Auf die verwendeten Messstrecken wird im Abschnitt „2.4 Messpunkte/Messstrecken“ eingegangen.

Die DIN EN ISO-Norm 12836 enthält neben den beiden verwendeten Prüfkörpern noch einen dritten Prüfkörper in Kugelform, der in dieser Arbeit nicht verwendet wurde. Bei dieser Form hätte jedoch nur eine Messstrecke, nämlich der Durchmesser, gemessen werden können. Da diese Kugel aufgrund ihrer Geometrie nicht wiederholbar an denselben Punkten zu messen gewesen wäre, wurde auf diesen Prüfkörper bewusst verzichtet. Weitere Prüfkörper sind in der DIN EN ISO-Norm 12836, auf die sich diese Studie bewusst stützt, nicht enthalten.

Abbildung 1. Prüfkörper „2 Stümpfe“

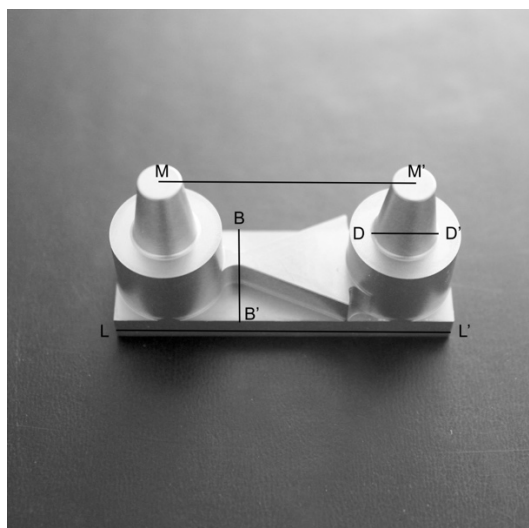
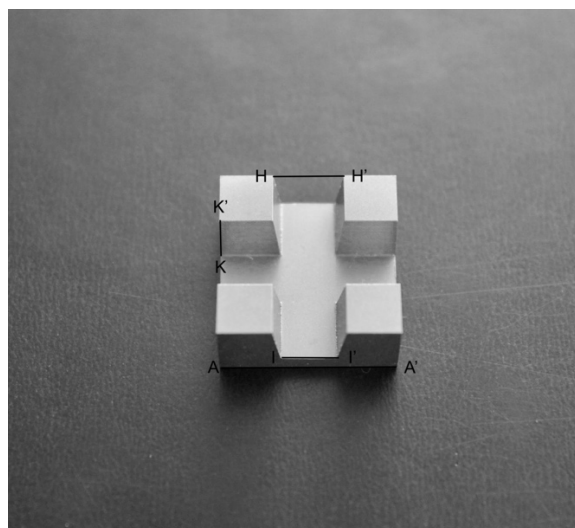


Abbildung 2. Prüfkörper „Inlay“



Als Modellscanner wurden der Laserscanner R700 der Firma 3Shape (3Shape, Kopenhagen, Dänemark), sowie der optische Streifenlichtscanner S600 der Firma Zirkonzahn (Zirkonzahn, Gais Südtirol, Italien), verwendet.

2.2 Auswahl der Patientenmodelle

Die Modelle wurden nach den oben beschriebenen Entwicklungsstadien, respektive Fehlbildungen, ausgewählt.

Dabei wurde darauf geachtet, dass keine Beschädigungen an den Gipsmodellen vorlagen und alle für die Messungen relevanten Punkte deutlich dargestellt waren.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Patientenmodelle, auf denen bezüglich ihres Entwicklungsstadiums Anomalien der durchgebrochenen Zähne vorlagen. Gemessen wurde nur an den Zähnen, die mindestens bis zu ihrer maximalen mesio-distalen Breite durchgebrochen waren oder das für die Messung der transversalen Zahnbogenbreite notwendige okklusale Relief deutlich zu erkennen war. Es war darauf zu achten, dass neben den Zahnbögen auch die vestibulären und lingualen beziehungsweise palatinalen Bereiche der Alveolarfortsätze deutlich abgeformt waren, da anatomische Strukturen, wie zum Beispiel die Tubera maxillae, die Gaumenfalten oder die Raphe palatina mediana, wichtige Orientierungspunkte für die spätere Modellanalyse darstellen.

Im Einzelnen galten für die jeweiligen Gruppen der bezahnten Gebisse folgende Auswahlkriterien:

- Für die 2. Dentition wurden nur Modelle verwendet, bei denen jeweils im Ober- und im Unterkiefer alle bleibenden Zähne vom 2. Molaren auf der einen Seite bis zum 2. Molaren auf der kontralateralen Seite mindestens bis zu ihrer maximalen mesio-distalen Breite durchgebrochen waren.
- Als spätes Wechselgebiss wurden Modelle definiert, bei denen sich die Prämolaren und/oder Eckzähne im Durchbruch befanden und alle

anderen bleibenden Zähne, bis auf die 2. Molaren, bereits vollständig durchgebrochen waren.

- Als frühes Wechselgebiss galten solche, bei denen die bleibenden Sechsjahrmolaren durchgebrochen, sowie die bleibenden Schneidezähne durchgebrochen waren oder aber sich mindestens im Zahnwechsel befanden und die übrigen Milchzähne noch vorhanden waren.
- Für die 1. Dentition wurden nur Modelle vollständig bezahnter Gebisse verwendet.
- Die Modelle der bilateralen und unilateralen Spalten wurden entsprechend ihrer Fehlbildung ausgewählt. Hier war die anatomisch vollständige Abformung der Weich- und Hartgewebsstrukturen Voraussetzung für die Aufnahme in diese Studie.

2.3 Versuchsvorbereitende Maßnahmen

Alle ausgewählten Modelle wurden mit Silikon (Dublisil 30, Dreve Dentamid GmbH, Unna, Deutschland) dubliert. Aus den Dublierformen wurden neue Gipsmodelle hergestellt (Moldano Modellhartgips, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland), um eventuellen Divergenzen ihrer Oberflächen durch unterschiedliche Gipsarten vorzubeugen.

Anschließend wurden die Modelle zur besseren Orientierung nach Raphe-Median-Ebene, Tuberebene und Okklusionsebene getrimmt (Schopf, 2008), um bessere Voraussetzungen für die Modellanalyse zu schaffen.

Die Referenzmesskörper wurden digital nach den Vorgaben der DIN EN-ISO-Norm 12836 entworfen und anschließend von der Firma CPM-Precision GmbH (Hirschberg, Deutschland) aus Titan Grad 4 gefräst.

Die verwendeten dentalen Modellscanner sind vor den jeweiligen Scanverfahren nach ihren Herstellerangaben eingestellt und kalibriert worden.

2.4 Messpunkte / Messstrecken

2. Dentition und Wechselgebisse

Bei Modellen des frühen und späten Wechselgebisses, sowie denen der 2. Dentition, wurden, soweit möglich, folgende Strecken gemessen:

Tabelle 2. Definition der Messpunkte und Messstrecken bei Modellen der 2. Dentition und Wechselgebisse

Parameter	Abkürzung	Definition
Mesiodistaler Durchmesser	MDD-x	Der größte mesio-distale Durchmesser eines Zahnes
Stützzonen	SZ li/re	Distanz von der Distalfläche des lateralen Incisivus zur Mesialfläche des 1. Molaren desselben Quadranten
Vordere Zahnbogenbreite Oberkiefer	VZB OK	Distanz vom tiefsten Punkt mittig der Hauptfissur des 1. Prämolaren zum tiefsten Punkt mittig der Hauptfissur des kontralateralen 1. Prämolaren
Hintere Zahnbogenbreite Oberkiefer	HZB OK	Distanz vom Schnittpunkt der Hauptfissur mit der nach bukkal auslaufenden Fissur am 1. Molaren zum Schnittpunkt der Hauptfissur mit der nach bukkal auslaufenden Fissur am kontralateralen 1. Molaren
Vordere Zahnbogenbreite Unterkiefer	VZB UK	Distanz vom vestibulären Kontaktpunkt zwischen dem 1. und 2. Prämolaren der einen Seite zum vestibulären Kontaktpunkt zwischen dem 1. und 2. Prämolaren der anderen Seite
Hintere Zahnbogenbreite Unterkiefer	HZB UK	Distanz von der Spitze des mittleren bukkalen Höckers des 1. Molaren der einen Seite zur Spitze des mittleren bukkalen Höckers des 1. Molaren der anderen Seite

MDD-x Mesiodistaler Durchmesser eines Zahnes (x), **SZ li/re** Stützzone links/rechts, **VZB OK** Vordere Zahnbogenbreite Oberkiefer, **HZB OK** Hintere Zahnbogenbreite Oberkiefer, **VZB UK** Vordere Zahnbogenbreite Unterkiefer, **HZB UK** Hintere Zahnbogenbreite Unterkiefer

Abbildung 3. Messstrecken im Oberkiefer eines Modells der 2. Dentition

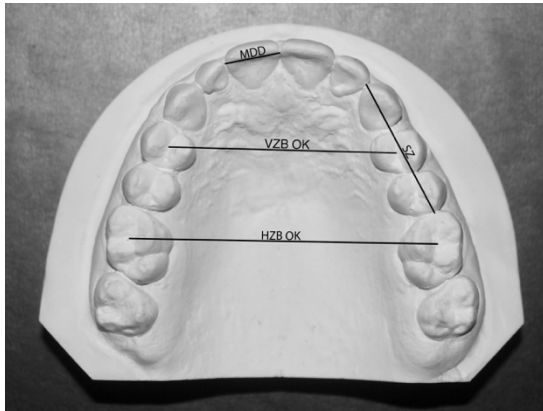
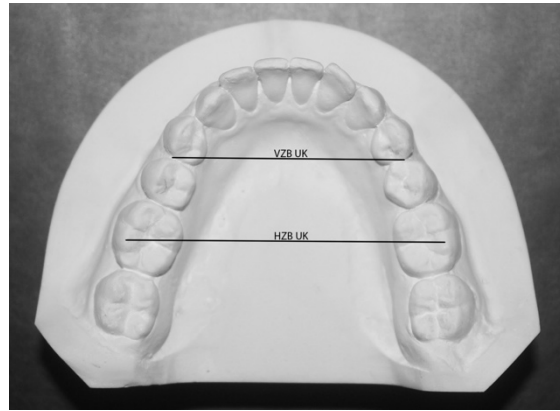


Abbildung 4. Messstrecken im Unterkiefer eines Modells der 2. Dentition



MDD-x Mesiodistaler Durchmesser eines Zahnes (x), **SZ li/re** Stützzone links/rechts, **VZB OK** Vordere Zahnbogenbreite Oberkiefer, **HZB OK** Hintere Zahnbogenbreite Oberkiefer, **VZB UK** Vordere Zahnbogenbreite Unterkiefer, **HZB UK** Hintere Zahnbogenbreite Unterkiefer

Um mehr Messstrecken generieren zu können, wurden bei Modellen des frühen Wechselgebisses die Milchzähne in die Messung des mesiodistalen Durchmessers miteinbezogen. Bei Modellen des späten Wechselgebisses wurden hingegen nur die bleibenden Zähne vermessen.

1. Dentition

Für die Messungen an den Modellen der 1. Dentition wurde die Milchzahnanalyse nach Dausch-Neumann durchgeführt (Nötzel und Schultz, 2009). Hierzu wurden folgende Strecken gemessen:

Tabelle 3. Definition der Messstrecken und Messpunkte bei Modellen der 1. Dentition

Parameter	Abkürzung	Definition
Vordere Zahnbogenbreite	VZB OK/UK	Distanz vom Milcheckzahn des einen Quadranten zum Milcheckzahn des gegenüberliegenden Quadranten, gemessen im Bereich des Tuberculum dentale
Hintere Zahnbogenbreite	HZB OK/UK	Distanz vom marginalen Ende der am 2. Milchmolaren nach oralen ziehenden Querfissur der einen Seite zum marginalen Ende der nach oral ziehenden Querfissur des kontralateralen 2. Milchmolaren
Vordere Zahnbogenhöhe	VZH OK/UK	Distanz der Labialfläche der mittleren Incisiven lotrecht auf die Verbindungslinie der VZB (Innerhalb des jeweiligen Kiefers)
Hintere Zahnbogenhöhe	HZH OK/UK	Distanz der Labialfläche der mittleren Incisiven lotrecht auf die Verbindungslinie der HZB (Innerhalb des jeweiligen Kiefers)

VZB OK/UK Vordere Zahnbogenbreite Oberkiefer/Unterkiefer, **HZB OK/UK** Hintere Zahnbogenbreite Oberkiefer/Unterkiefer, **VZH OK/UK** Vordere Zahnbogenhöhe Oberkiefer/Unterkiefer, **HZH OK/UK** Hintere Zahnbogenhöhe Oberkiefer/Unterkiefer

Abbildung 5. Messstrecken in einem Oberkiefermodell der 1. Dentition

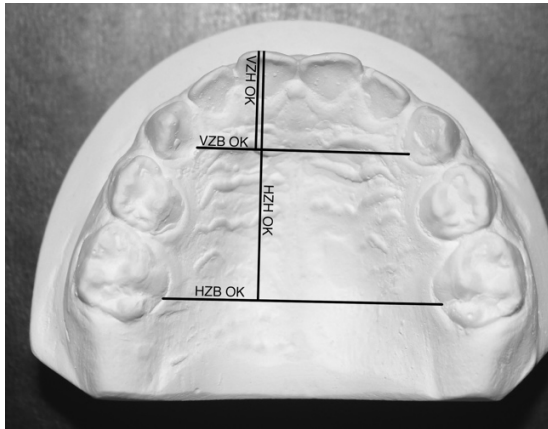
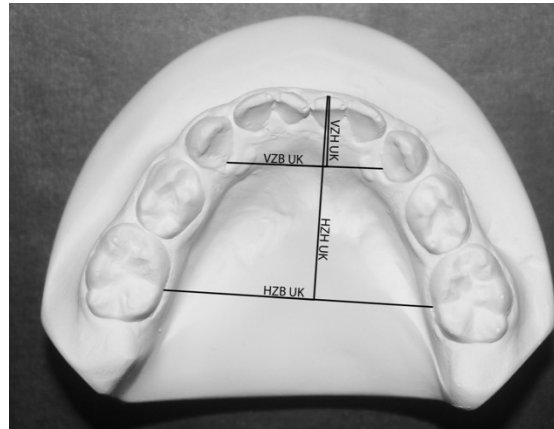


Abbildung 6. Messstrecken in einem Unterkiefermodell der 1. Dentition



VZB OK/UK Vordere Zahnbogenbreite Oberkiefer/Unterkiefer, **HZB OK/UK** Hintere Zahnbogenbreite Oberkiefer/Unterkiefer, **VZH OK/UK** Vordere Zahnbogenhöhe Oberkiefer/Unterkiefer, **HZH OK/UK** Hintere Zahnbogenhöhe Oberkiefer/Unterkiefer

Bilaterale Spaltmodelle

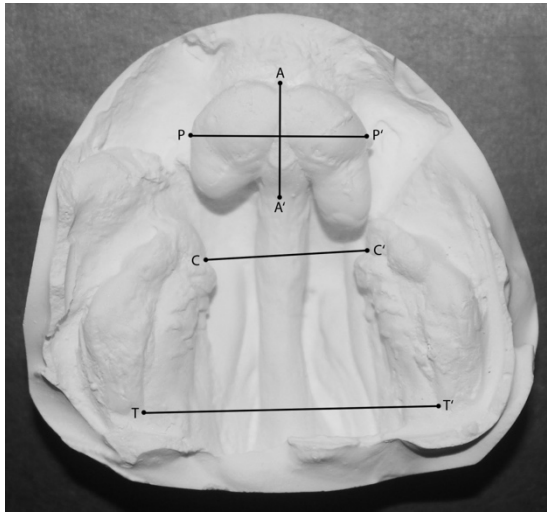
Die Messungen an den bilateralen Spaltmodellen orientierten sich an den von Heidbüchel festgelegten Messstrecken zur Vermessung bilateraler Spaltmodelle von Säuglingskiefern (Heidbüchel et al., 1998a; Heidbüchel et al., 1998b).

Tabelle 4. Definition der Messpunkte und Messstrecken an Oberkiefern mit bilateralen Spalten

Parameter	Abkürzung	Definition
Länge der Prämaxilla	A-A'	Strecke vom ventralsten Punkt der Prämaxilla zum dorsalsten Punkt der Prämaxilla
Breite der Prämaxilla	P-P'	Distanz zwischen den lateralsten Punkten der Prämaxilla
Anteriore Kieferbogenbreite	C-C'	Größe der anterioren Spaltbreite
Posteriore Kieferbogenbreite	T-T'	Strecke vom posterioren Ende des Tuber maxillae zum Ende des kontralateralen Tuber maxillae

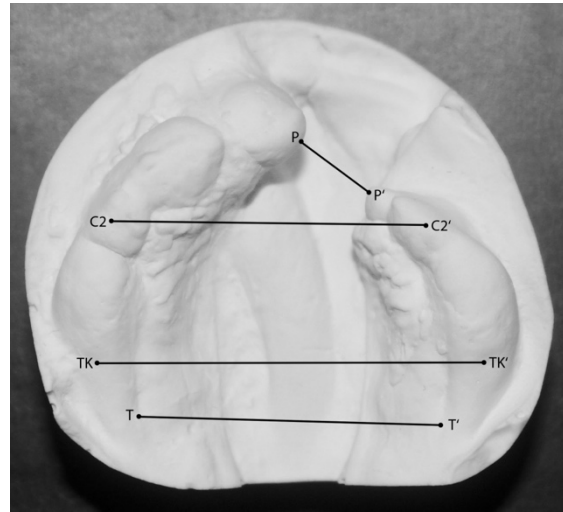
A ventralster Punkt der Prämaxillakontur, **A'** dorsalster Punkt der Prämaxillakontur, **P** und **P'** lateralste Punkte der Prämaxillakontur in Verlängerung der Kieferkammlinie, **C** und **C'** Anfangspunkte der Spalten in Verlängerung der Kieferkammlinie, **T** und **T'** posteriores Ende des Tuber maxillae

Abbildung 7. Messstrecken an Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten



A ventralster Punkt der Prämaxillakontur, **A'** dorsalster Punkt der Prämaxillakontur, **P** und **P'** lateralste Punkte der Prämaxillakontur in Verlängerung der Kieferkammlinie, **C** und **C'** Anfangspunkte der Spalten in Verlängerung der Kieferkammlinie, **T** und **T'** posteriores Ende des Tuber maxillae

Abbildung 8. Messstrecken an Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten



P und **P'** Spaltränder der Alveolarkammlinie, **T** und **T'** Foveola palatina, **C2** und **C2'** Schnittpunkt vom lateralen Sulcus (distal der Eckzahnanlagen) und der Alveolarkammlinie, **TK** und **TK'** Übergang der Alveolarkammlinie zum Umriss der Tuberositas maxillaris

Unilaterale Spaltmodelle

Die Messungen an den unilateralen Spaltmodellen orientierten sich an den von Braumann festgelegten Messstrecken zur Vermessung unilateraler Spaltmodellen von Säuglingskiefern (Braumann et al., 2003).

Tabelle 5. Definition der Messpunkte und Messstrecken an Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten

Parameter	Abkürzung	Definition
Anteriore Spaltbreite	P-P'	Geringste Distanz zwischen den einzelnen Spalträndern
Posteriore Spaltbreite	T-T'	Distanz der Foveola palatina der einen Seite zur Foveola palatina der kontralateralen Seite
Anteriore Alveolarkammbreite	C2-C2'	Strecke vom Schnittpunkt des anterolateralen Sulcus mit dem Alveolarkamm der einen Seite zum Schnittpunkt des anterolateralen Sulcus mit dem Alveolarkamm der kontralateralen Seite
Posteriore Alveolarkammbreite	TK-TK'	Strecke vom Schnittpunkt des Alveolarkamms mit der auslaufenden Linie der Tuberositas maxillaris der einen Seite zum Schnittpunkt des Alveolarkamms mit der auslaufenden Linie der Tuberositas maxillaris der anderen Seite

P und *P'* Spaltränder der Alveolarkammlinie, *T* und *T'* Foveola palatina, *C2* und *C2'* Schnittpunkt vom lateralen Sulcus (distal der Eckzahnanlagen) und der Alveolarkammlinie, *TK* und *TK'* Übergang der Alveolarkammlinie zum Umriss der Tuberositas maxillaris

Prüfkörper

Bei der Vermessung der Referenzmesskörper wurde darauf geachtet, mit den zuvor genannten Messungen vergleichbare Strecken zu messen.

Tabelle 6. Definition der Messpunkte und Messstrecken am Prüfkörper „2 Stümpfe“

Abkürzung	Definition
B-B'	Breite der Basis
L-L'	Länge der Basis
D-D'	Breite des Stumpfes
M-M'	Distanz vom Mittelpunkt des einen Stumpfes zum Mittelpunkt des kontralateralen Stumpfes

Tabelle 7. Definition der Messpunkte und Messstrecken am Prüfkörper „Inlay“

Abkürzung	Definition
A-A'	Breite der Basis
I-I'	Untere Breite der Kavität
H-H'	Obere Breite der Kavität
K-K'	Tiefe der Kavität

2.5 Messgeräte und Verfahren

Zunächst wurden die einzelnen Modelle mit einer digitalen Schieblehre Model Nr. CD-15APX (Mitutoyo, Kawasaki, Japan), die eine Genauigkeit von 0,01mm aufweist, vermessen.

Abbildung 9. Schieblehre Model Nr. CD-15APX



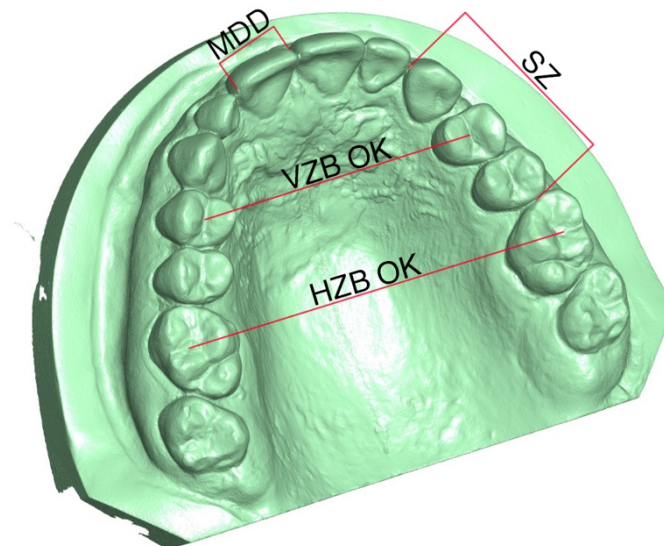
Anschließend wurden alle Modelle digitalisiert. Bei den dazu verwendeten dentalen Modellscannern handelte es sich um den Laserscanner R700 der Firma 3Shape (3Shape, Kopenhagen, Dänemark), sowie um den optischen Streifenlichtscanner S600 Arti der Firma Zirkonzahn (Zirkonzahn, Gais Südtirol, Italien).

Tabelle 8. Technische Daten der verwendeten Scanner nach Herstellerangaben

	3 Shape R700	Zirkonzahn S600 Arti
Kameras	2 Kameras mit 1,3 Megapixeln	2 Kameras
Lichttechnologie	Roter Laser	Optischer Streifenlichtscanner
Genauigkeit	20 Mikrometer	< 10 Mikrometer
Gipsmodell-Scanzeit	90 Sekunden	< 28 Sekunden

In diesem Schritt wurde jedes Modell nach den zugehörigen Herstellerangaben jeweils einmal mit dem Laserscanner und dem Streifenlichtscanner eingescannt. Anschließend wurden die einzelnen Datensätze der Modelle in die Software „3D-Tool“ der Firma 3D-Tool GmbH und Co. KG (Weinheim, Deutschland) geladen und dort digital vermessen.

Abbildung 10. Beispiel für in der Software 3D-Tool vermessenes 3D-Modell



MDD Mesio-Distaler-Durchmesser, **SZ** Stützzone, **VZB OK** Vordere Zahnbogenbreite Oberkiefer, **HZB OK** Hintere Zahnbogenbreite Oberkiefer

Da die Vermessung nicht verblindet erfolgte, wurden alle Messungen, sowohl analog als auch digital, im Abstand von jeweils mindestens vier Wochen zweimal wiederholt, sodass jedes Modell insgesamt neunmal vermessen wurde. Durch den zeitlichen Abstand wurde eine Erinnerung des Vermessers an vorherige Ergebnisse ausgeschlossen.

Die Referenzmesskörper wurden direkt bei ihrer Herstellung von der Firma CPM-Precision GmbH (Hirschberg, Deutschland) mit einem Hochleistungsindustriescanner vermessen, sodass die Daten ihrer genauen Abmessungen vorlagen. Anschließend wurden die beiden Referenzmesskörper mit dem Laserscanner R700 und dem Streifenlichtscanner S600 Arti erneut digitalisiert und in der Software „3D-Tool“ vermessen. Zusätzlich wurden sie wie die Gipsmodelle analog vermessen. Die Messungen wurden sowohl an den physischen als auch an den digitalen Referenzmesskörpern, im Abstand von mindestens vier Wochen zweimal wiederholt.

2.7 Statistik

Die in dieser Studie gemessenen Strecken und Streckendifferenzen wurden als quantitative Größen anhand von Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie den Quartilen beschreibend dargestellt. Mittels Kolmogorov-Smirnov-Tests fand eine Überprüfung auf Normalverteilung statt. Insbesondere nach der Bewertung von Normalverteilungsplots konnten die Verteilungen als normal angesehen werden. Somit wurden für die weitere Analyse parametrische Verfahren eingesetzt.

Zunächst wurden die drei Verfahren „Hand“, „Zirkonzahn“ und „3Shape“ mittels Varianzanalyse für Messwiederholungen in den gemessenen Strecken auf signifikante Unterschiede geprüft. Zusätzlich erfolgte eine Korrelationsanalyse. In der Kombination beider Verfahren konnten Rückschlüsse auf die Übereinstimmung gezogen werden. Des Weiteren wurden paarweise Bland-Altman-Analysen durchgeführt, die eine zusätzliche Bewertung der

Übereinstimmung der drei Verfahren ermöglichen. Außerdem konnte anhand dieser evaluiert werden, ob die Güte der Übereinstimmung von der Höhe der Messwerte bedingt wird.

Die Testung fand zweiseitig statt. Hier wurde ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde gelegt. Eine Alpha-Adjustierung für multiples Testen fand nicht statt. Somit hat die statistische Auswertung deskriptiven Charakter. Die wissenschaftliche Kongruenz wird durch die zitierte Literatur untermauert (Bell et al., 2003; Bootvong et al., 2010; Camardella et al., 2017; El-Zanaty et al., 2010; Keating et al., 2008; Zilberman et al., 2003) Für die Durchführung der statistischen Berechnungen wurde IBM SPSS Statistics 26 (SPSS Inc. an IBM Company, Chicago, IL) eingesetzt.

3. Ergebnisse

Für einen übersichtlichen Vergleich der verschiedenen Messmethoden wurden zunächst bei verschiedenen Modellen vergleichbare Messstrecken ausgewählt (vgl. Tabelle 9). Dabei wurden Messstrecken, die auch in anderen Modellgruppen vorhanden sind, wie zum Beispiel Zahnbreiten, nur von einer für diese Messstrecke exemplarischen Modellgruppe ausgesucht.

Hierzu wurde festgelegt, dass eine Differenz von 0,5 mm als signifikant und klinisch relevant gilt (Bell et al., 2003).

Legende zu den Tabellen der deskriptiven Statistik

Für die nachstehenden Tabellen der deskriptiven Statistik gelten folgende Erklärungen:

Die Fallzahl der Messungen wird durch N angegeben. Mittelwert und Standardabweichung bedürfen keiner weiteren Erklärung. Minimum und Maximum geben den jeweils kleinsten bzw. größten gemessenen Wert wieder.

Die Perzentile befinden sich bei 25%, 50% und 75%, wobei die 50. Perzentile den Medianwert darstellt.

Darüber hinaus werden folgende Abkürzungen für die einzelnen Messmethoden verwendet: h=Handmessung, z=Zirkonzahn, s=3Shape.

Tabelle 9. Auflistung der verglichenen Messstrecken (Wechselgebisse entfallen)

	Äußere Messstrecken	Innere Messstrecken	Messstrecken ohne Begrenzung
2. Dentition	MDD: 11, 12, 16, 21, 22, 26, 31, 32, 36, 41, 42, 46	SZ OK_re, SZ OK_li, SZ UK_re, SZ UK_li	VZB_OK, HZB_OK, VZB_UK, HZB_UK
1. Dentition		OK_VZB, OK_HZB, UK_VZB, UK_HZB	
Bilaterale Spaltmodelle	A-A', P-P'		
Unilaterale Spaltmodelle		P-P'	T-T', C2-C2', TK-TK'
Prüfkörper „2Stümpfe“	B-B', L-L', D-D'		M-M'
Prüfkörper „Inlay“		I-I', H-H'	K-K'

MDD Mesiodistaler Durchmesser eines Zahnes, **SZ OK/UK li/re** Stützzone links/rechts, **VZB OK** Vordere Zahnbogenbreite Oberkiefer, **HZB OK** Hintere Zahnbogenbreite Oberkiefer, **VZB UK** Vordere Zahnbogenbreite Unterkiefer, **HZB UK** Hintere Zahnbogenbreite Unterkiefer, **VZH OK/UK** Vordere Zahnbogenhöhe Oberkiefer/Unterkiefer, **HZH OK/UK** Hintere Zahnbogenhöhe Oberkiefer/Unterkiefer, **A** ventralster Punkt der Prämaxillakontur, **A'** dorsalster Punkt der Prämaxillakontur, **P** und **P'** lateralste Punkte der Prämaxillakontur in Verlängerung der Kieferkammlinie, **C** und **C'** Anfangspunkte der Spalten in Verlängerung der Kieferkammlinie, **T** und **T'** posteriores Ende des Tuber maxillae, **P** und **P'** Spaltränder der Alveolarkammlinie, **T** und **T'** Foveola palatina, **C2** und **C2'** Schnittpunkt vom lateralen Sulcus (distal der Eckzahnanlagen) und der Alveolarkammlinie, **TK** und **TK'** Übergang der Alveolarkammlinie zum Umriss der Tuberositas maxillaris, **B-B'** Breite der Basis, **L-L'** Länge der Basis, **D-D'** Breite des Stumpfes, **M-M'** Distanz vom Mittelpunkt des einen Stumpfes zum Mittelpunkt des kontralateralen Stumpfes, **I-I'** Untere Breite der Kavität, **H-H'** Obere Breite der Kavität, **K-K'** Tiefe der Kavität

3.1 Äußere Messstrecken

3.1.1 Messwerte der 2. Dentition

Tabelle 10 zeigt die an den Modellen der 2. Dentition innerhalb einzelner Messmethoden gemessenen Strecken, sowie die zwischen ihnen erzielten Differenzen.

Der Medianwert der äußeren Messstrecken in der 2. Dentition betrug für die Handmessung 7,28 mm. Für Zirkonzahn lag der Medianwert bei 7,38 mm. Der Medianwert von 3Shape lag bei 7,42 mm (vgl. Tabelle 10). Die Quartile der Messungen in der 2. Dentition sind in Abbildung 11 dargestellt. Die Differenzen der Medianwerte sind in einem Box Plot dargestellt (vgl. Abb. 12). Sie lagen zwischen 0,08 mm (Differenz Hand-Zirkonzahn) und 0,05 mm (Differenz Zirkonzahn-3Shape).

Tabelle 10. Deskriptive Statistik äußere Messstrecken 2. Dentition

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Hand (h)	120	7,95	2,16	4,59	11,77	5,98	7,28	10,10
Zirkonzahn (z)	120	8,02	2,16	4,69	11,70	6,03	7,38	10,21
3Shape (s)	120	7,98	2,23	4,61	11,72	6,00	7,42	10,23
Differenz h-z	120	-0,07	0,12	-0,37	0,35	-0,14	-0,08	0,01
Differenz h-s	120	-0,03	0,19	-0,82	0,35	-0,17	-0,02	0,11
Differenz z-s	120	0,04	0,16	-0,69	0,39	-0,06	0,05	0,13
Mittelwert h, z	120	7,98	2,16	4,64	11,73	5,99	7,31	10,17
Mittelwert h, s	120	7,96	2,19	4,60	11,69	5,96	7,34	10,21
Mittelwert z, s	120	8,00	2,20	4,65	11,69	5,99	7,38	10,23

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, *N* Fallzahl der Messungen

Abbildung 11 zeigt die graphische Darstellung der Quartile, sowie das jeweilige Minimum und Maximum, der einzelnen Messmethoden bezogen auf die Länge [mm] der äußeren Messstrecken in der 2. Dentition. Abbildung 12 zeigt die Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei den äußeren Messstrecken der 2. Dentition.

Abbildung 11. Verteilung der Messwerte bei äußeren Messstrecken in der 2. Dentition bezogen auf die jeweilige Messmethode

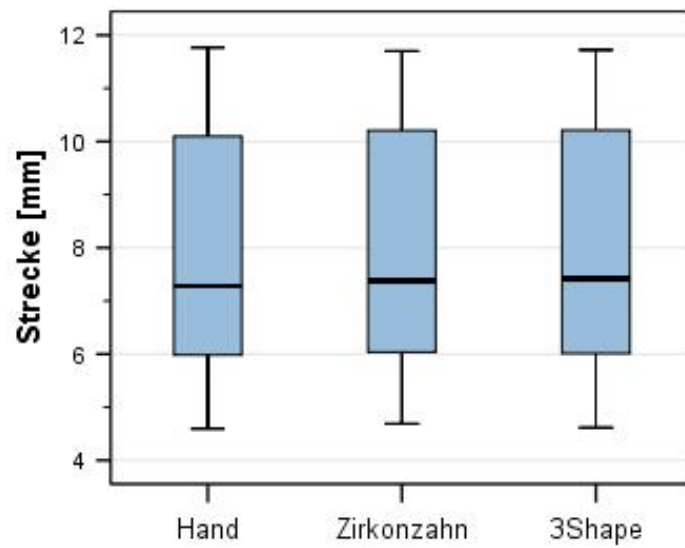
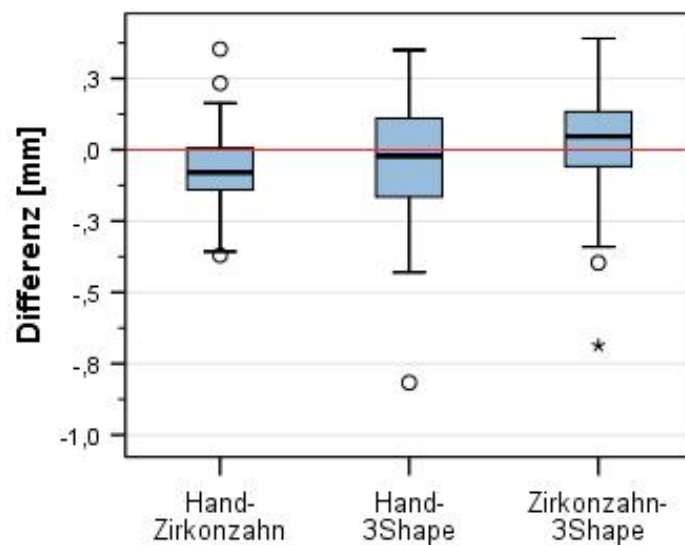


Abbildung 12. Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei äußeren Messstrecken in der 2. Dentition



Zwischen den einzelnen Messmethoden innerhalb der äußeren Messstrecken der 2. Dentition zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Betrachtet man die Medianwerte der Differenzen, so lagen die größten Diskrepanzen zwischen Hand und Zirkonzahn mit 0,08 mm und zwischen Zirkonzahn und 3Shape mit 0,05 mm vor. Zwischen Hand und 3Shape lag der Medianwert der Differenz bei 0,02 mm. Dabei fiel die Messung mit Zirkonzahn größer aus als die Messung mit 3Shape und die Messung mit 3Shape größer als die Messung per Hand. Daraus lässt sich ableiten, dass mit den digitalen Verfahren bei den äußeren Messstrecken innerhalb der 2. Dentition immer etwas größer als mit der Hand gemessen wurde. Alle Differenzen lagen jedoch im klinisch nicht relevanten Bereich.

Die Abbildungen 13-15 zeigen die Bland-Altman Analysen zwischen den einzelnen Messmethoden.

Abbildung 13. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Äußere Messstrecken 2. Dentition)

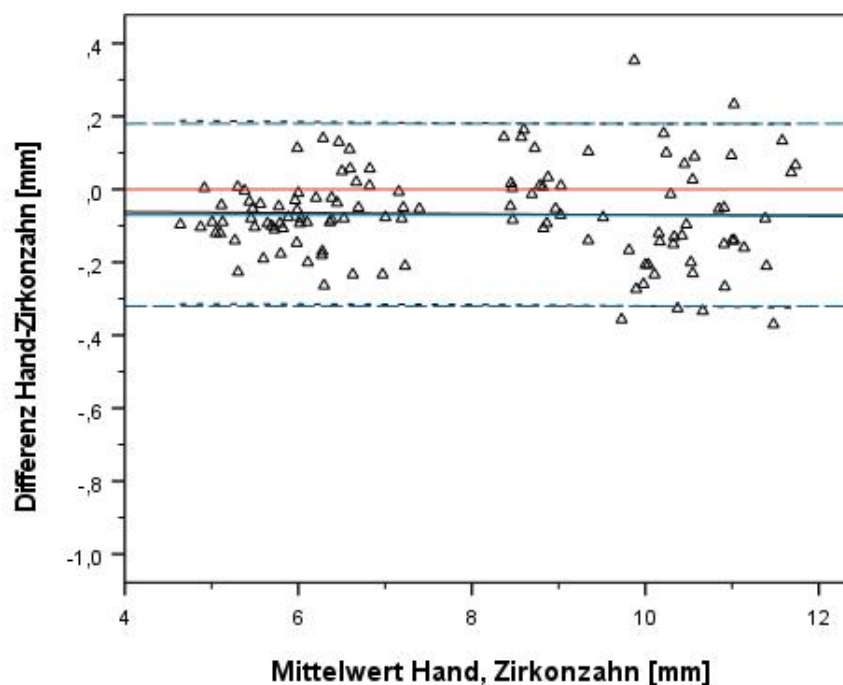


Abbildung 14. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Äußere Messstrecken 2. Dentition)

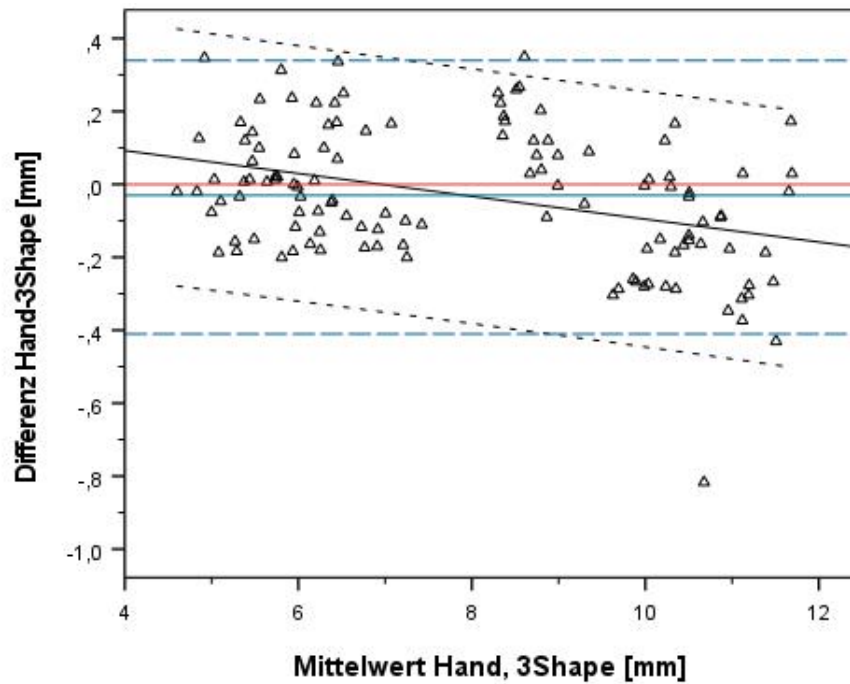
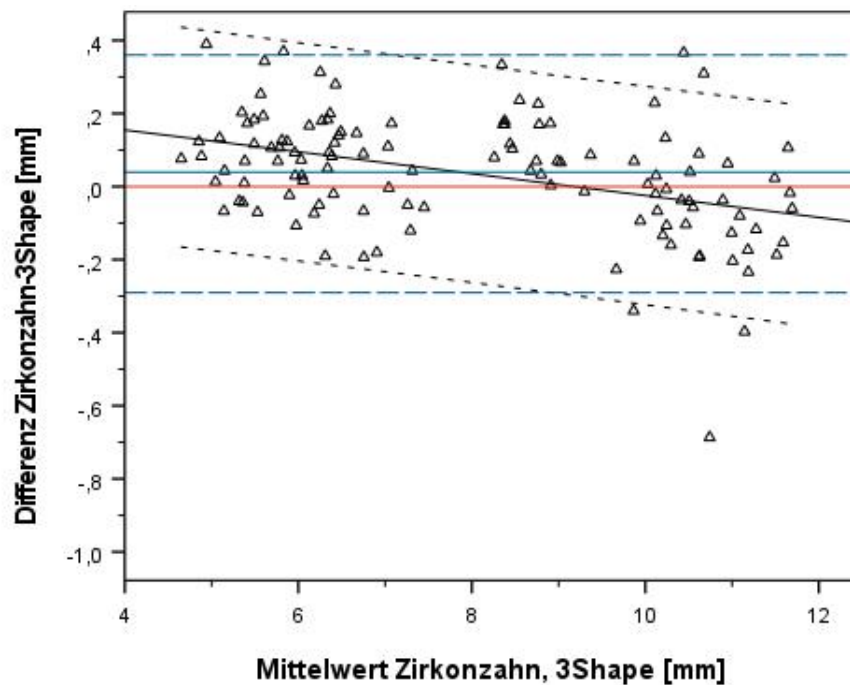


Abbildung 15. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Messung mit Zirkonzahn und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Äußere Messstrecken 2. Dentition)



Die Limits of Agreement (blaue gestrichelte Linien) lagen im Bland-Altman Plot für die Differenz zwischen Handmessung und Zirkonzahn im oberen Bereich bei 0,18 mm und im unteren Bereich bei -0,32 mm. Für die Differenz zwischen Handmessung und 3Shape lagen sie bei 0,34 mm und -0,41 mm. Bei der Differenz zwischen Zirkonzahn und 3Shape befanden sich die Limits of Agreement bei 0,36 mm und -0,29 mm.

Betrachtet man die Bland-Altman Analyse, lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messmethoden feststellen. Ebenso zeigt sich auch mit Zu- oder Abnahme des Mittelwerts kein deutlicher Einfluss auf die Differenzen.

3.1.2 Messwerte der Oberkiefermodelle mit bilateralen Spalten

In Tabelle 11 sind die Mittelwerte der gemessenen Strecken bei den bilateralen Spalten innerhalb der einzelnen Messmethoden, sowie die zwischen ihnen erzielten Differenzen, analog zur Tabelle der 2. Dentition dargestellt.

Der Medianwert der äußeren Messstrecken bei bilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten betrug für die Handmessung 14,08 mm. Für Zirkonzahn lag der Medianwert bei 13,73 mm. Der Medianwert von 3Shape lag bei 14,33 mm (vgl. Tabelle 11). Die Differenzen der Medianwerte sind in einem Box Plot dargestellt (vgl. Abb. 17). Sie lagen zwischen 0,16 mm (Differenz Hand-3Shape) und 0,04 mm (Differenz Zirkonzahn-3Shape).

Tabelle 11. Deskriptive Statistik äußere Messstrecken bilaterale Lippen-Kiefer-Gaumenspalten

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Hand (h)	20	14,39	3,37	9,49	19,31	11,06	14,08	17,97
Zirkonzahn (z)	20	14,36	3,29	9,97	19,40	11,32	13,73	17,93
3Shape (s)	20	14,61	3,20	9,62	19,31	11,65	14,33	17,91
Differenz h-z	20	0,02	0,80	-0,83	3,01	-0,36	-0,15	0,15
Differenz h-s	20	-0,22	0,41	-1,48	0,28	-0,35	-0,16	0,03
Differenz z-s	20	-0,24	0,84	-3,10	0,48	-0,68	0,04	0,28
Mittelwert h, z	20	14,38	3,31	9,73	19,15	11,36	13,86	17,97
Mittelwert h, s	20	14,50	3,28	9,56	19,31	11,31	14,20	17,96
Mittelwert z, s	20	14,49	3,22	9,80	19,26	11,57	13,93	17,92

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, *N* Fallzahl der Messungen

Abbildung 16 zeigt die graphische Darstellung der Quartile, sowie das jeweilige Minimum und Maximum, der einzelnen Messmethoden bezogen auf die Länge [mm] der äußeren Messstrecken an Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten. Abbildung 17 zeigt die Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei den äußeren Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten.

Abbildung 16. Verteilung der Messwerte bei äußeren Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten bezogen auf die jeweilige Messmethode

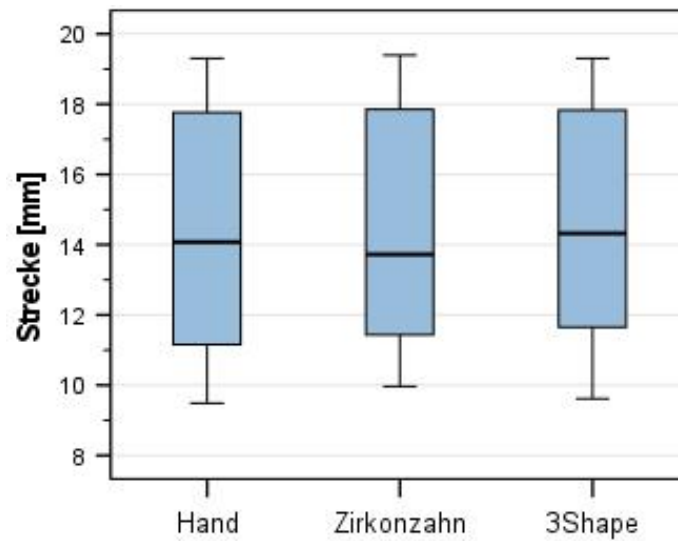
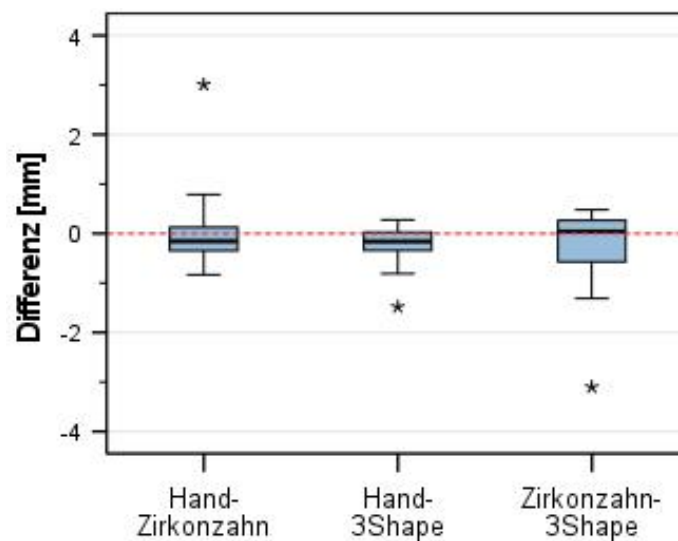


Abbildung 17. Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei äußeren Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten



Zwischen den einzelnen Messmethoden innerhalb der äußeren Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Betrachtet man die Medianwerte der Differenzen, so lagen die größten Diskrepanzen zwischen Hand und 3Shape mit 0,16 mm und zwischen Hand und Zirkonzahn mit 0,15 mm vor. Zwischen

Zirkonzahn und 3Shape lag der Medianwert ihrer Differenz bei 0,04 mm. Somit fiel die Messung mit 3Shape nur geringfügig größer aus als die Messung mit Zirkonzahn. Daraus lässt sich ableiten, dass mit den digitalen Verfahren bei den äußeren Messstrecken in Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten immer etwas größer als mit der Hand gemessen wurde. Alle Differenzen lagen jedoch im klinisch nicht relevanten Bereich.

Die Abbildungen 18-20 zeigen die Bland-Altman Analysen zwischen den einzelnen Messmethoden.

Abbildung 18. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Äußere Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten)

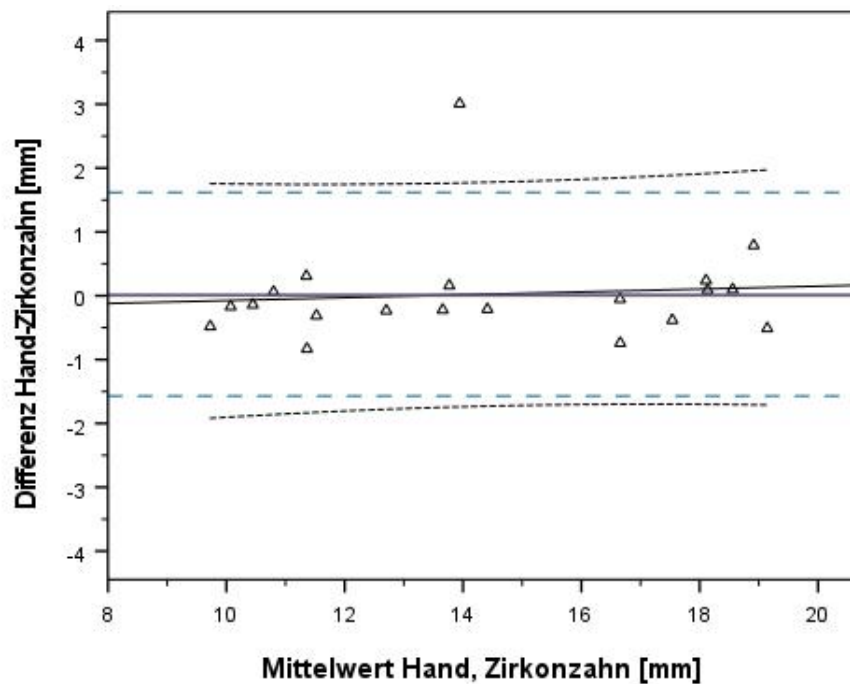


Abbildung 19. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Äußere Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten)

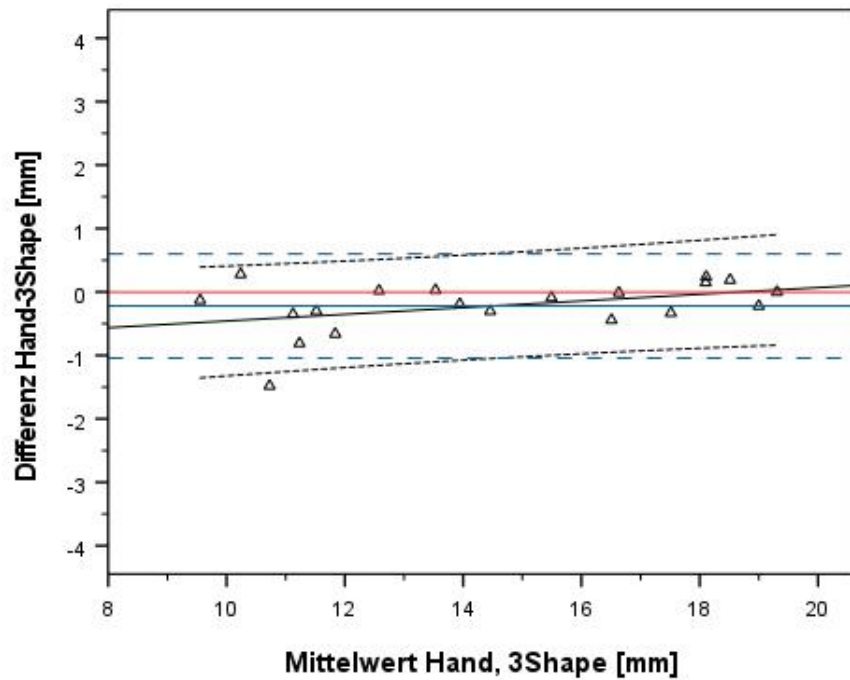
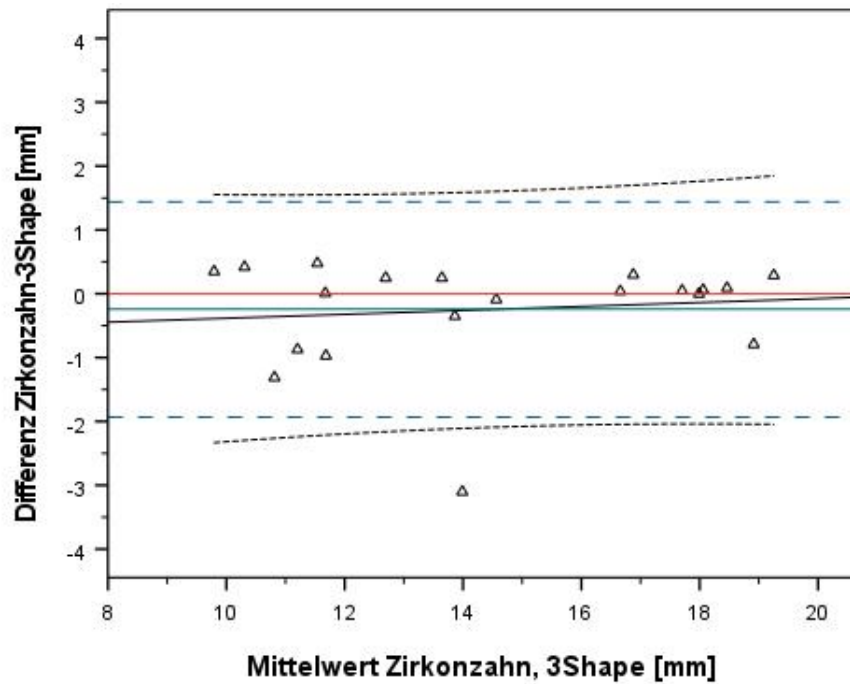


Abbildung 20. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Messung mit Zirkonzahn und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Äußere Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit bilateralen Spalten)



Die Limits of Agreement lagen im Bland-Altman Plot für die Differenz zwischen Hand und Zirkonzahn im oberen Bereich bei 1,62 mm und im unteren Bereich bei -1,57 mm. Für die Differenz zwischen Hand und 3Shape lagen sie bei 0,60 mm und -1,04 mm. Bei der Differenz zwischen Zirkonzahn und 3Shape befanden sich die Limits of Agreement bei 1,44 mm und -1,93 mm.

Betrachtet man die Bland-Altman Analyse, lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messmethoden feststellen. Ebenso zeigt sich auch mit Zu- oder Abnahme des Mittelwerts kein Einfluss auf die Differenzen.

3.2 Innere Messtrecken

3.2.1 Messwerte der 2. Dentition

Der Medianwert der inneren Messtrecken bei Modellen der 2. Dentition betrug für die Handmessung 21,49 mm. Für Zirkonzahn lag der Medianwert bei 21,7 mm. Der Medianwert von 3Shape liegt bei 21,9 mm (vgl. Tabelle 12). Die Differenzen der Medianwerte sind in einem Box Plot dargestellt (vgl. Abb. 22). Sie lagen zwischen 0,21 mm (Differenz Handmessung-3Shape) und 0,03 mm (Differenz Zirkonzahn-3Shape).

Tabelle 12. Deskriptive Statistik innere Messtrecken 2. Dentition

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Hand (h)	40	21,33	1,13	18,77	23,47	20,72	21,49	22,17
Zirkonzahn (z)	40	21,52	1,14	19,12	23,55	20,86	21,70	22,40
3Shape (s)	40	21,53	1,06	19,13	23,36	20,76	21,90	22,35
Differenz h-z	40	-0,19	0,25	-0,81	0,41	-0,36	-0,20	-0,01
Differenz h-s	40	-0,21	0,24	-0,62	0,43	-0,37	-0,21	-0,04
Differenz z-s	40	-0,01	0,26	-0,44	0,73	-0,23	-0,03	0,11
Mittelwert h, z	40	21,43	1,13	18,98	23,51	20,80	21,60	22,25
Mittelwert h, s	40	21,43	1,09	18,95	23,41	20,76	21,68	22,19
Mittelwert z, s	40	21,53	1,09	19,16	23,40	20,80	21,81	22,38

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, *N* Fallzahl der Messungen

Abbildung 21 zeigt die graphische Darstellung der Quartile, sowie das jeweilige Minimum und Maximum, der einzelnen Messmethoden bezogen auf die Länge [mm] der inneren Messstrecken in der 2. Dentition.

Abbildung 22 zeigt die Differenzen ihrer Medianwerte zwischen den einzelnen Messmethoden bei der 2. Dentition.

Abbildung 21. Verteilung der Messwerte bei inneren Messstrecken in der 2. Dentition bezogen auf die jeweilige Messmethode

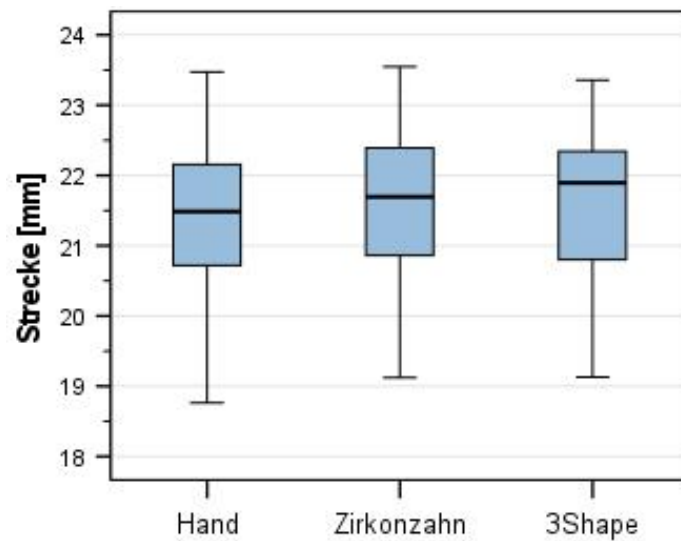
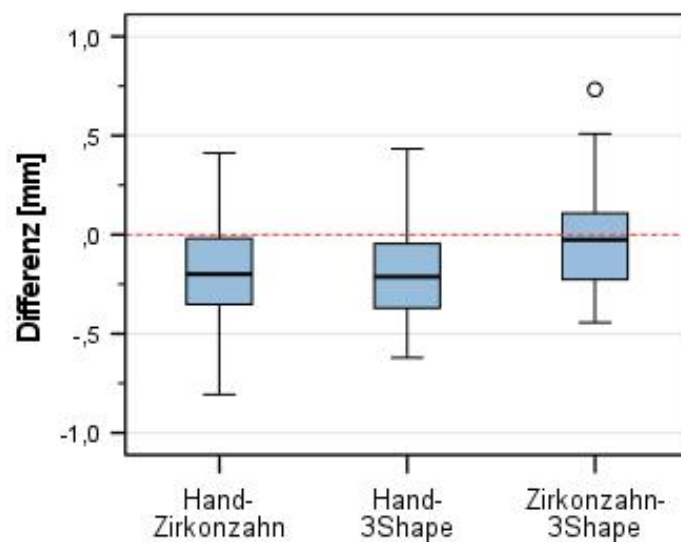


Abbildung 22. Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei inneren Messstrecken in der 2. Dentition



Zwischen den einzelnen Messmethoden innerhalb der inneren Messstrecken bei Modellen der 2. Dentition zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Betrachtet man die Medianwerte der Differenzen, so lagen die größten Diskrepanzen zwischen Hand und 3Shape mit 0,21 mm und zwischen Hand und Zirkonzahn mit 0,2 mm vor. Zwischen Zirkonzahn und 3Shape lag der Medianwert ihrer Differenz bei 0,03 mm. Die Messung mit 3Shape war somit nur geringfügig größer als die Messung mit Zirkonzahn. Daraus lässt sich ableiten, dass mit den digitalen Verfahren bei den inneren Messstrecken in der 2. Dentition wieder etwas größer als mit der Hand gemessen wurde. Alle Differenzen lagen jedoch im klinisch nicht relevanten Bereich.

Die Abbildungen 23-25 zeigen die Bland-Altman Analysen zwischen den einzelnen Messmethoden.

Abbildung 23. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken 2. Dentition)

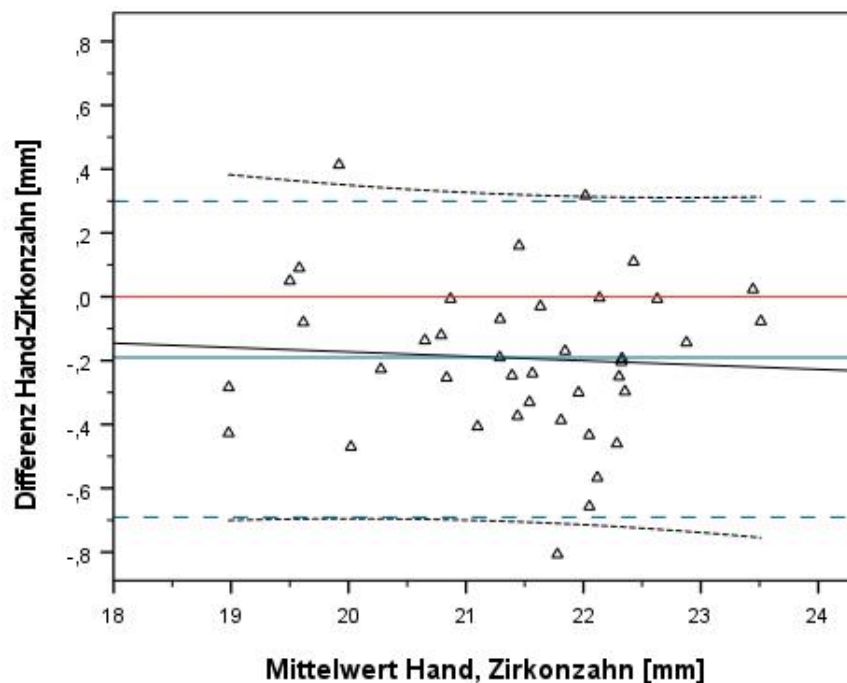


Abbildung 24. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken 2. Dentition)

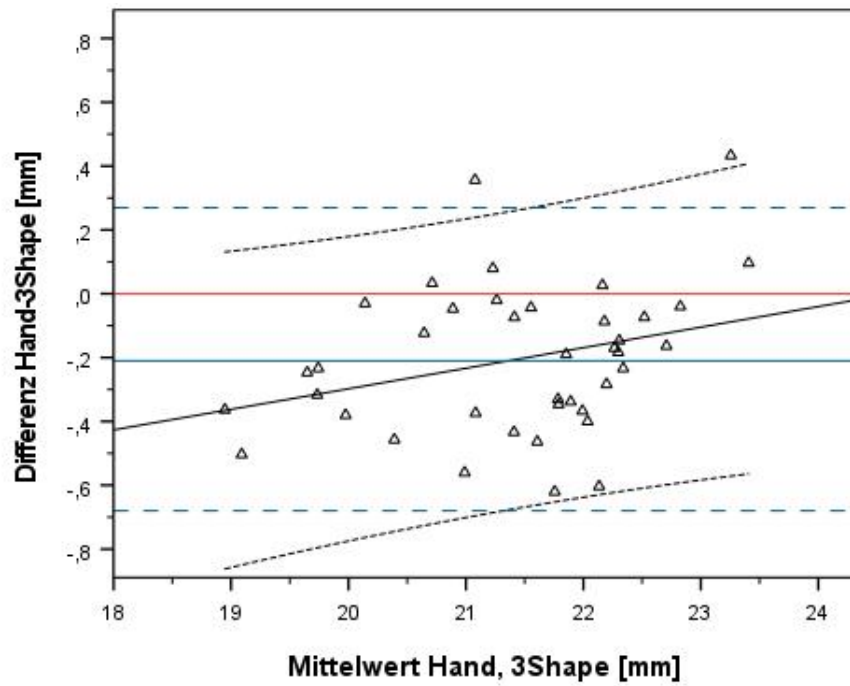
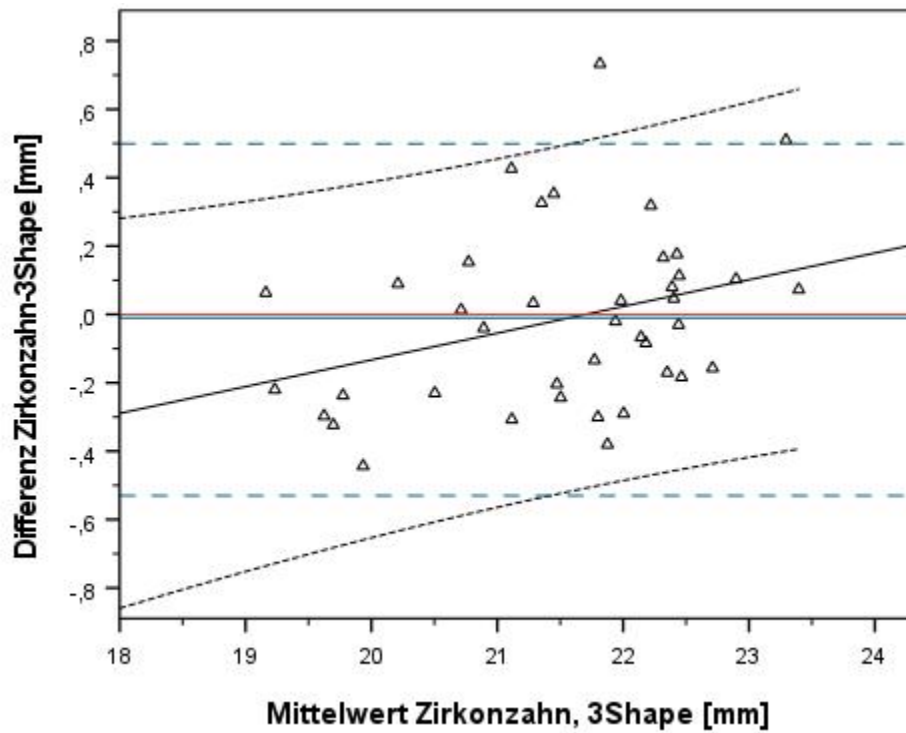


Abbildung 25. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Messung mit Zirkonzahn und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken 2. Dentition)



Die Limits of Agreement lagen im Bland-Altman Plot für die Differenz zwischen Handmessung und Zirkonzahn im oberen Bereich bei 0,30 mm und im unteren Bereich bei -0,69 mm. Für die Differenz zwischen Handmessung und 3Shape lagen sie bei 0,27 mm und -0,68 mm. Bei der Differenz zwischen Zirkonzahn und 3Shape befanden sich die Limits of Agreement bei 0,50 mm und -0,53 mm.

Betrachtet man die Bland-Altman Analyse, lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messmethoden feststellen. Ebenso zeigt sich auch mit Zu- oder Abnahme des Mittelwerts kein Einfluss auf die Differenzen.

3.2.2 Messwerte der 1. Dentition

Der Medianwert der inneren Messstrecken bei der 1. Dentition betrug für die Handmessung 25,21 mm. Für Zirkonzahn lag der Medianwert bei 25,14 mm. Der Medianwert von 3Shape lag bei 25,1 mm (vgl. Tabelle 13). Die Differenzen der Medianwerte sind in einem Box Plot dargestellt (vgl. Abb. 27). Sie lagen zwischen 0,04 mm (Differenz Zirkonzahn-3Shape) und 0,02 mm (Differenz Hand-3Shape).

Tabelle 13. Deskriptive Statistik innere Messstrecken 1. Dentition

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Hand (h)	40	24,62	5,14	16,66	35,00	20,23	25,21	28,82
Zirkonzahn (z)	40	24,61	5,10	16,62	34,94	20,16	25,14	28,84
3Shape (s)	40	24,64	5,08	16,63	34,99	20,29	25,10	28,74
Differenz h-z	40	0,01	0,20	-0,52	0,72	-0,09	-0,01	0,11
Differenz h-s	40	-0,02	0,18	-0,51	0,39	-0,11	0,02	0,10
Differenz z-s	40	-0,03	0,26	-1,13	0,56	-0,10	-0,04	0,12
Mittelwert h, z	40	24,61	5,12	16,64	34,97	20,23	25,17	28,82
Mittelwert h, s	40	24,63	5,11	16,67	35,00	20,36	25,16	28,76
Mittelwert z, s	40	24,62	5,09	16,67	34,97	20,31	25,12	28,78

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, *N* Fallzahl der Messungen

Abbildung 26 zeigt die graphische Darstellung der Quartile, sowie das jeweilige Minimum und Maximum, der einzelnen Messmethoden bezogen auf die Länge [mm] der inneren Messstrecken in der 1. Dentition.

Abbildung 27 zeigt die Differenzen ihrer Medianwerte zwischen den einzelnen Messmethoden bei der 1. Dentition.

Abbildung 26. Verteilung der Messwerte bei inneren Messstrecken in der 1. Dentition bezogen auf die jeweilige Messmethode

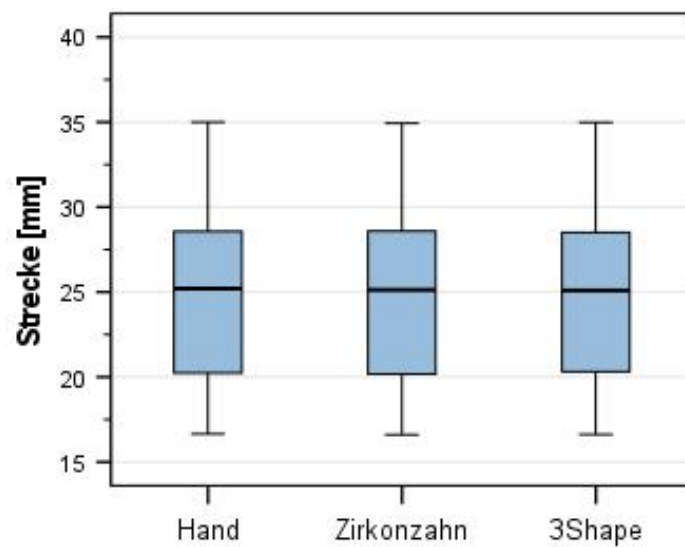
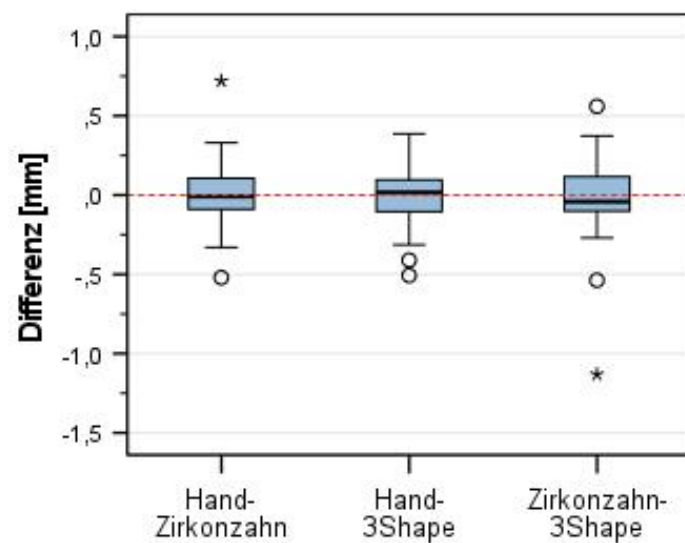


Abbildung 27. Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei inneren Messstrecken in der 1. Dentition



Zwischen den einzelnen Messmethoden innerhalb der inneren Messstrecken bei Modellen der 1. Dentition zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Betrachtet man die Medianwerte der Differenzen, so lagen die größten Diskrepanzen zwischen Zirkonzahn und 3Shape mit 0,04 mm und zwischen Hand und 3Shape mit 0,02 mm vor. Zwischen Hand und Zirkonzahn lag der Medianwert ihrer Differenz bei 0,01 mm. Somit fiel die Messung mit 3Shape geringfügig größer aus als die Handmessung. Alle Differenzen lagen jedoch im klinisch nicht relevanten Bereich.

Die Abbildungen 28-30 zeigen die Bland-Altman Analysen zwischen den einzelnen Messmethoden.

Abbildung 28. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken 1. Dentition)

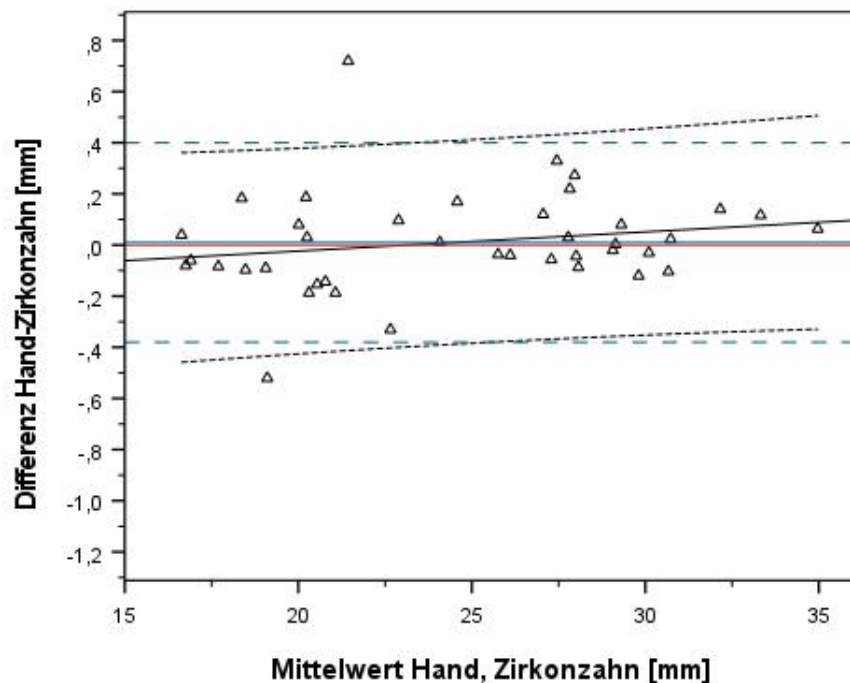


Abbildung 29. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken 1. Dentition)

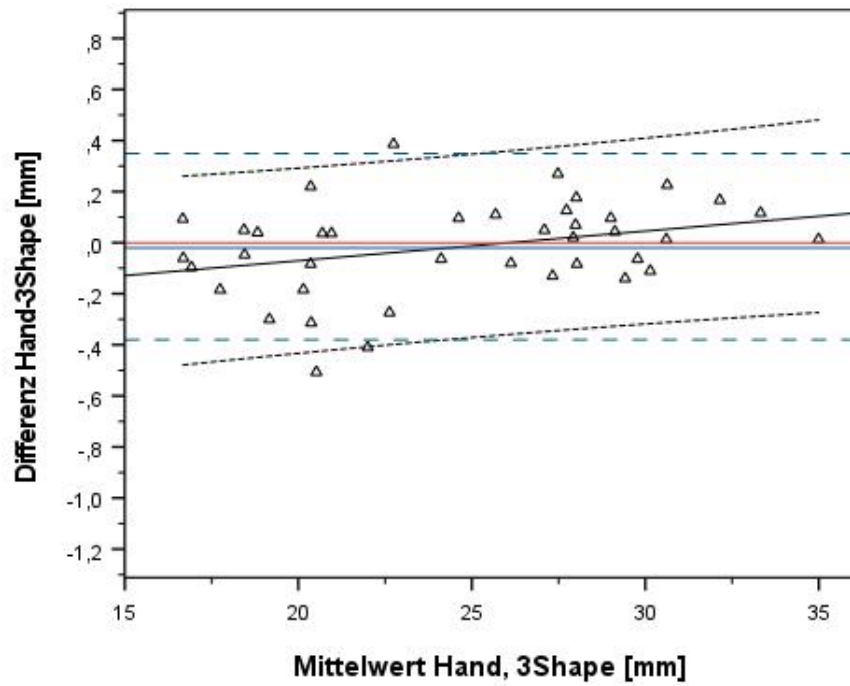
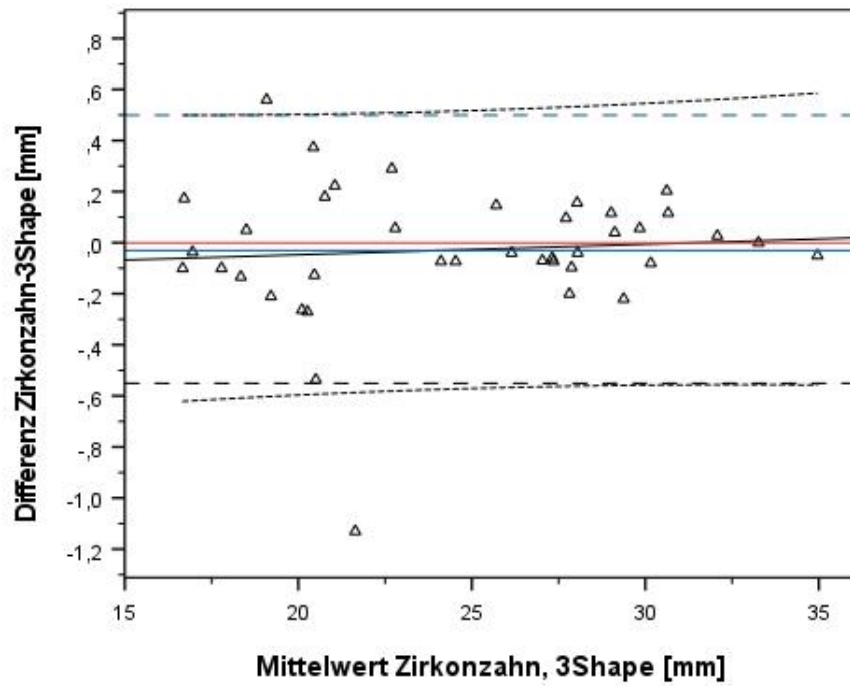


Abbildung 30. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken 1. Dentition)



Die Limits of Agreement lagen im Bland-Altman Plot für Handmessung-Zirkonzahn im oberen Bereich bei 0,40 mm und im unteren Bereich bei -0,38 mm. Für Handmessung-3Shape lagen sie bei 0,35 mm und -0,38 mm. Bei Zirkonzahn-3Shape befanden sich die Limits of Agreement bei 0,50 mm und -0,55 mm.

Betrachtet man die Bland-Altman Analyse, lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messmethoden herausstellen. Ebenso zeigt sich auch mit Zu- oder Abnahme des Mittelwerts kein Einfluss auf die Differenzen.

3.2.3 Messwerte bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten

Der Medianwert der inneren Messstrecken bei unilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten betrug für die Handmessung 7,24 mm. Für Zirkonzahn lag der Medianwert bei 7,28 mm. Der Medianwert von 3Shape lag bei 7,4 mm (vgl. Tabelle 14). Die Differenzen der Medianwerte sind in einem Box Plot dargestellt (vgl. Abb. 32). Sie lagen zwischen 0,11 mm (Differenz Handmessung-Zirkonzahn) und 0,06 mm (Differenz Zirkonzahn-3Shape).

Tabelle 14. Deskriptive Statistik innere Messstrecken unilaterale Lippen-Kiefer-Gaumenspalten

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Hand (h)	10	6,55	3,89	0,76	11,72	3,33	7,24	10,63
Zirkonzahn (z)	10	6,64	3,92	0,74	11,58	3,48	7,28	10,84
3Shape (s)	10	6,70	3,94	0,76	11,73	3,49	7,40	10,81
Differenz h-z	10	-0,09	0,16	-0,30	0,14	-0,26	-0,11	0,06
Differenz h-s	10	-0,16	0,20	-0,51	0,11	-0,36	-0,09	0,01
Differenz z-s	10	-0,06	0,22	-0,50	0,33	-0,14	-0,06	0,05
Mittelwert h, z	10	6,59	3,91	0,75	11,65	3,42	7,27	10,74
Mittelwert h, s	10	6,63	3,91	0,76	11,67	3,45	7,33	10,73
Mittelwert z, s	10	6,67	3,93	0,75	11,61	3,48	7,37	10,84

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, *N* Fallzahl der Messungen

Abbildung 11 zeigt die graphische Darstellung der Quartile, sowie das jeweilige Minimum und Maximum, der einzelnen Messmethoden bezogen auf die Länge [mm] der inneren Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten. Abbildung 31 zeigt die Differenzen ihrer Medianwerte zwischen den einzelnen Messmethoden bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten.

Abbildung 31. Verteilung der Messwerte bei inneren Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten bezogen auf die jeweilige Messmethode

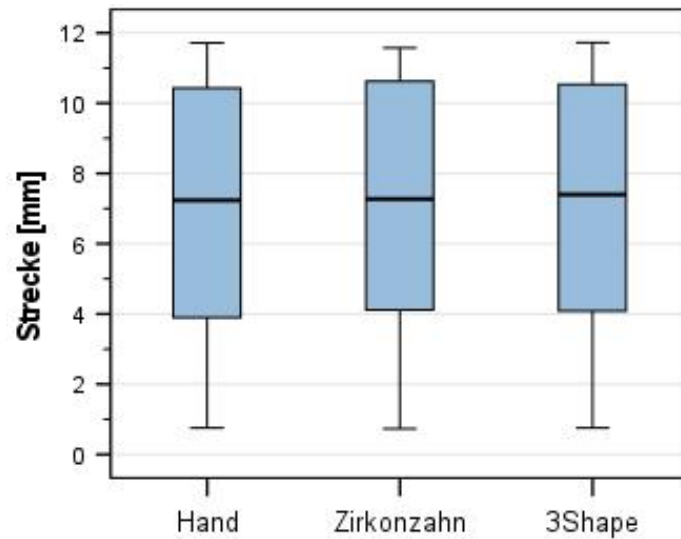
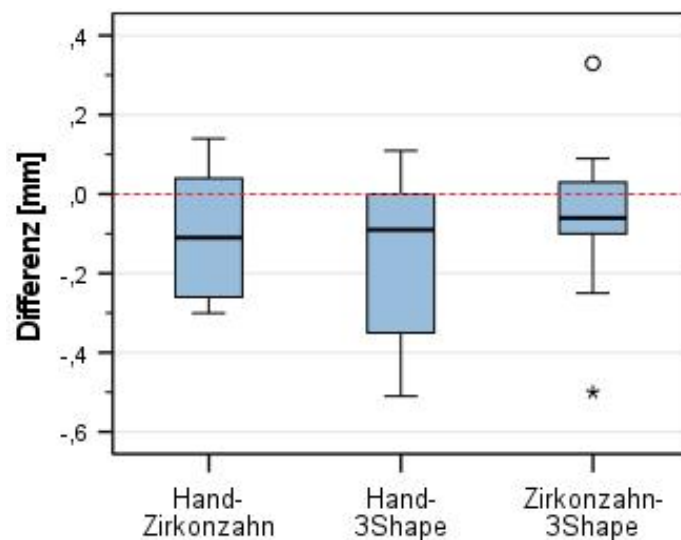


Abbildung 32. Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei inneren Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten



Zwischen den einzelnen Messmethoden innerhalb der inneren Messstrecken bei Modellen des Oberkiefers mit unilateralen Spalten zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Betrachtet man die Medianwerte der Differenzen, so lagen die größten Diskrepanzen zwischen Hand und Zirkonzahn mit 0,11 mm und zwischen Hand und 3Shape mit 0,09 mm vor. Zwischen Zirkonzahn und 3Shape lag der Medianwert ihrer Differenz bei 0,06 mm. Die Messung mit 3Shape fiel somit größer aus als die Messung mit Zirkonzahn und die Handmessung. Daraus lässt sich ableiten, dass mit den digitalen Verfahren bei den inneren Messstrecken bei Modellen mit unilateralen Spalten immer etwas größer als mit der Hand gemessen wurde.

Die Abbildungen 33-35 zeigen die Bland-Altman Analysen zwischen den einzelnen Messmethoden.

Abbildung 33. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten)

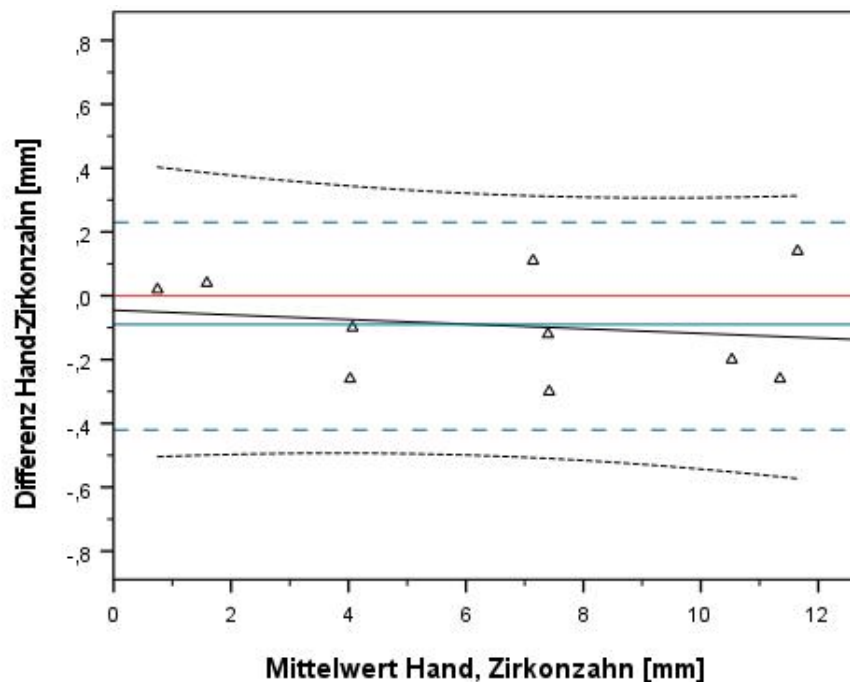


Abbildung 34. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten)

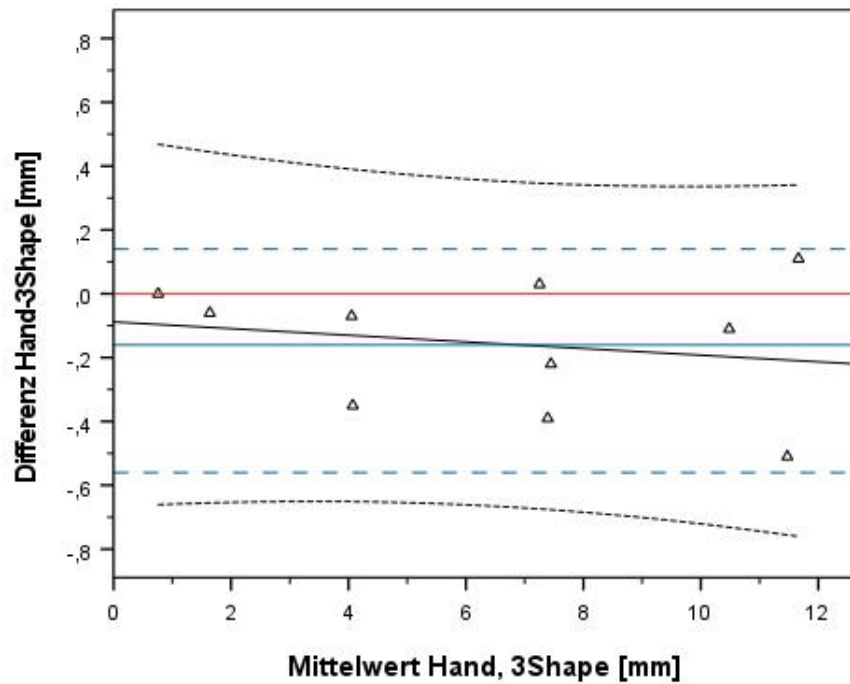
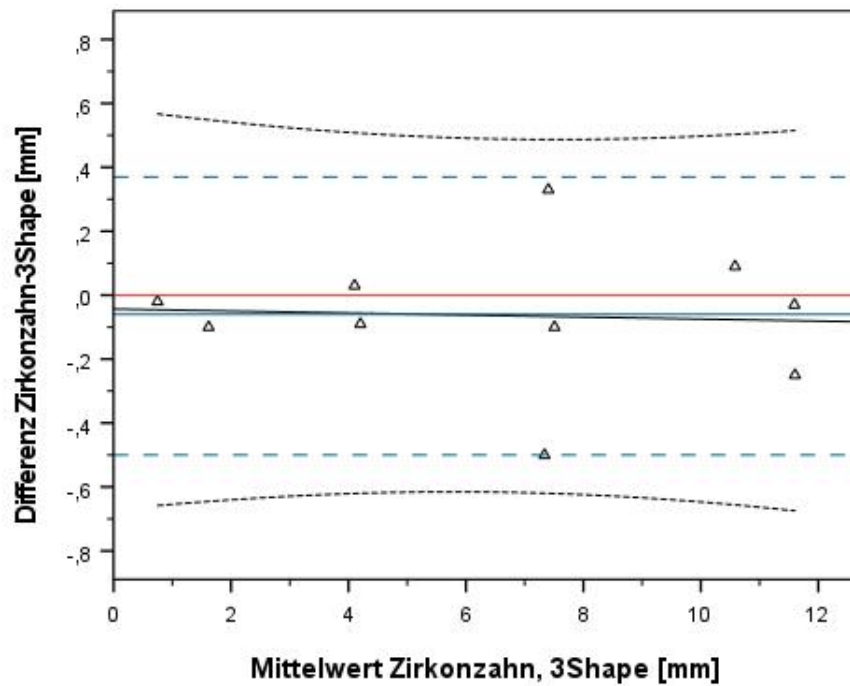


Abbildung 35. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Messung mit Zirkonzahn und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Innere Messstrecken bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten)



Die Limits of Agreement lagen im Bland-Altman Plot für Handmessung-Zirkonzahn im oberen Bereich bei 0,23 mm und im unteren Bereich bei -0,42 mm. Für Handmessung-3Shape lagen sie bei 0,25 mm und -0,56 mm. Bei Zirkonzahn-3Shape befanden sich die Limits of Agreement bei 0,37 mm und -0,50 mm.

Betrachtet man die Bland-Altman Analyse, lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messmethoden herausstellen. Ebenso zeigt sich auch mit Zu- oder Abnahme des Mittelwerts kein Einfluss auf die Differenzen.

3.3 Messstrecken ohne Begrenzung

3.3.1 Messwerte der 2. Dentition

Der Medianwert der Messstrecken ohne Begrenzung bei Modellen der 2. Dentition betrug für die Handmessung 35,75 mm. Für Zirkonzahn lag der Medianwert bei 35,83 mm. Der Medianwert von 3Shape lag bei 35,78 mm (vgl. Tabelle 15). Die Differenzen der Medianwerte sind in einem Box Plot dargestellt (vgl. Abb. 37). Sie lagen zwischen 0,01 mm (Differenz Handmessung-Zirkonzahn) und 0,06 mm (Differenz Handmessung-3Shape).

Tabelle 15. Deskriptive Statistik Messstrecken ohne Begrenzung 2. Dentition

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Hand (h)	70	37,67	8,05	21,32	53,32	32,18	35,74	45,33
Zirkonzahn (z)	70	37,54	8,09	21,21	53,65	31,71	35,83	44,84
3Shape (s)	70	37,49	8,16	21,40	54,16	31,52	35,78	45,01
Differenz h-z	70	0,12	0,49	-0,82	1,52	-0,20	0,01	0,38
Differenz h-s	70	0,17	0,60	-1,29	1,85	-0,21	0,06	0,47
Differenz z-s	70	0,05	0,40	-1,27	0,82	-0,15	0,04	0,29
Mittelwert h, z	70	37,60	8,07	21,27	53,49	31,92	35,86	45,23
Mittelwert h, s	70	37,58	8,10	21,36	53,74	31,82	35,79	45,27
Mittelwert z, s	70	37,52	8,12	21,31	53,91	31,57	35,78	45,12

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, *N* Fallzahl der Messungen

Abbildung 36 zeigt die graphische Darstellung der Quartile, sowie das jeweilige Minimum und Maximum, der einzelnen Messmethoden bezogen auf die Länge [mm] der Messstrecken ohne Begrenzung in der 2. Dentition.

Abbildung 37 zeigt die Differenzen ihrer Medianwerte zwischen den einzelnen Messmethoden bei der 2. Dentition.

Abbildung 36. Verteilung der Messwerte bei Messstrecken ohne Begrenzung in der 2. Dentition bezogen auf die jeweilige Messmethode

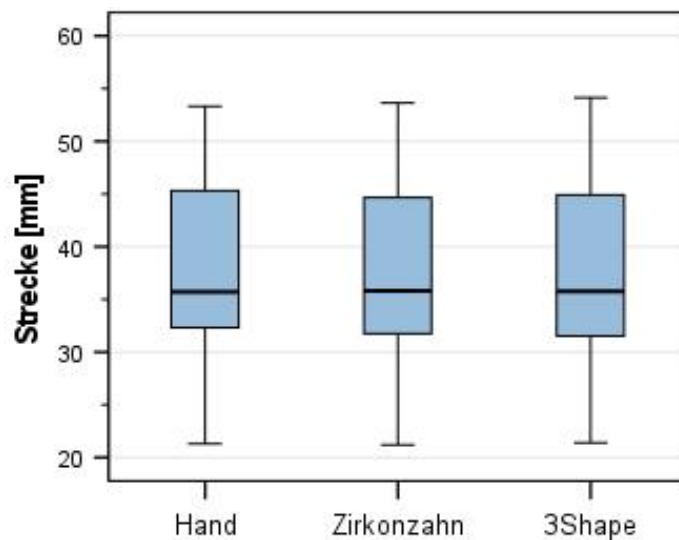
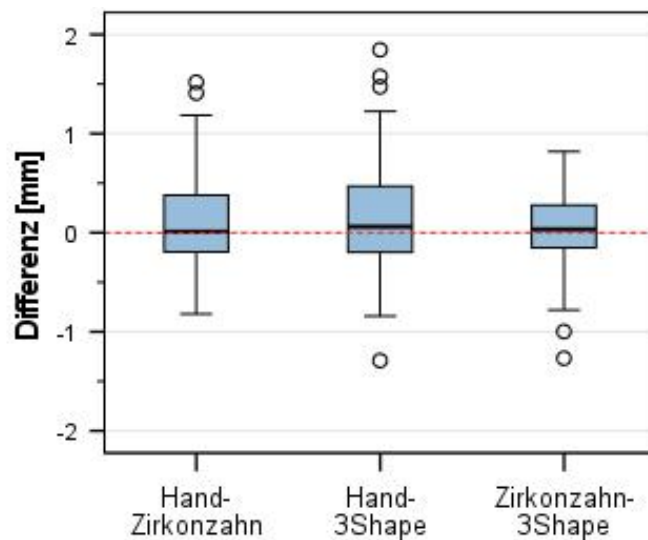


Abbildung 37. Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei Messstrecken ohne Begrenzung in der 2. Dentition



Zwischen den einzelnen Messmethoden innerhalb der Messstrecken ohne Begrenzung bei Modellen der 2. Dentition zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Betrachtet man die Medianwerte der Differenzen, so lagen die größten Diskrepanzen zwischen Hand und 3Shape mit 0,06 mm und zwischen Zirkonzahn und 3Shape mit 0,04 mm vor. Zwischen Hand und Zirkonzahn lag der Medianwert ihrer Differenz bei 0,01 mm. Somit fiel die Handmessung immer etwas größer aus als die Messung mit den digitalen Verfahren. Alle Differenzen lagen jedoch im klinisch nicht relevanten Bereich.

Die Abbildungen 38-40 zeigen die Bland-Altman Analysen zwischen den einzelnen Messmethoden.

Abbildung 38. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Messstrecken ohne Begrenzung 2. Dentition)

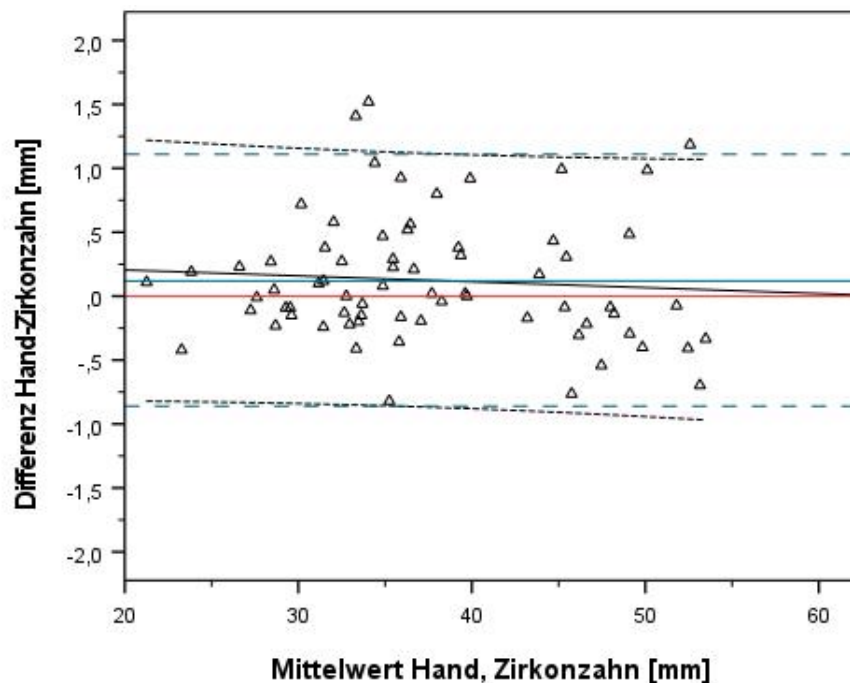


Abbildung 39. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Messstrecken ohne Begrenzung 2. Dentition)

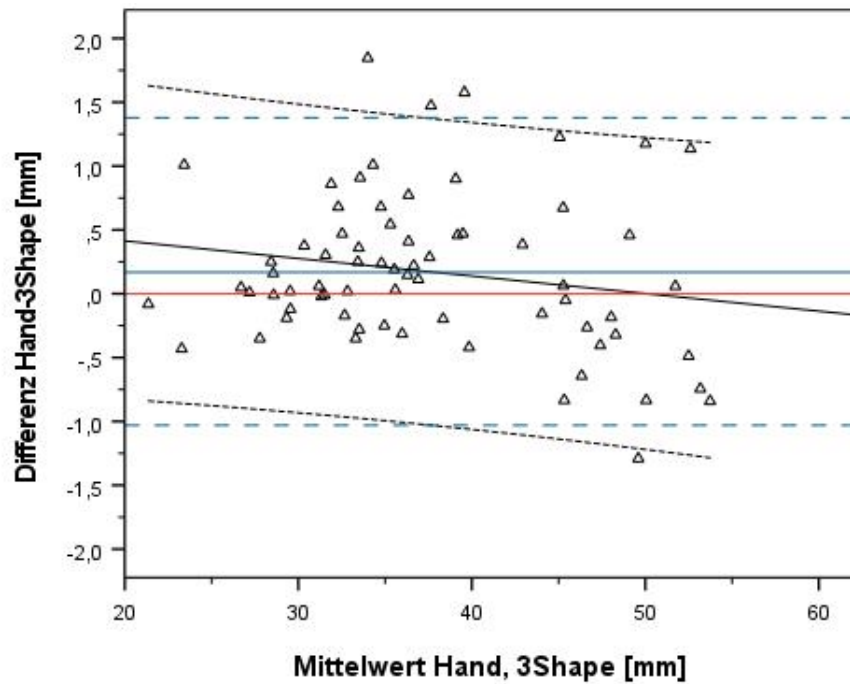
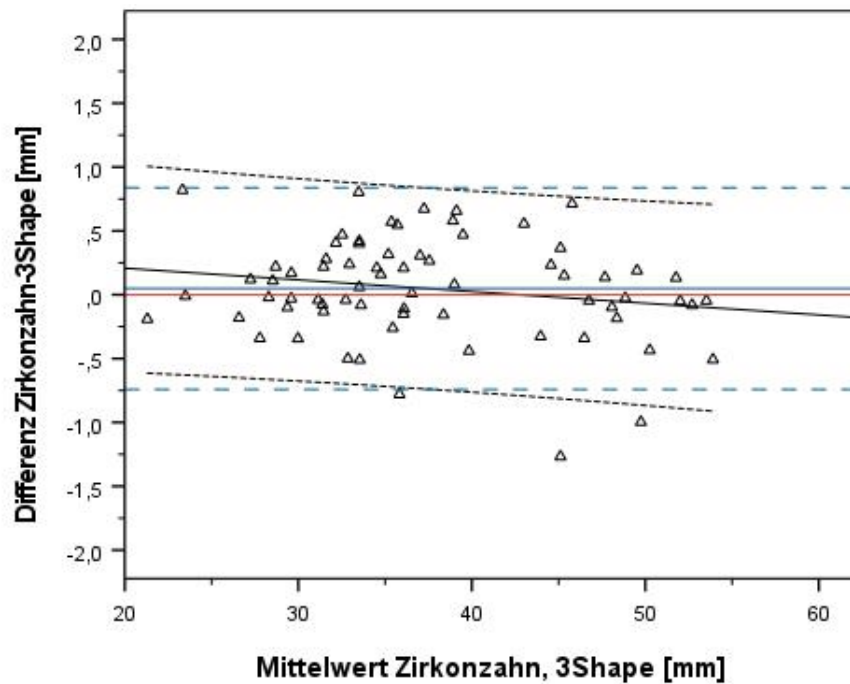


Abbildung 40. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Messung mit Zirkonzahn und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Messstrecken ohne Begrenzung 2. Dentition)



Die Limits of Agreement lagen im Bland-Altman Plot für Handmessung-Zirkonzahn im oberen Bereich bei 1,11 mm und im unteren Bereich bei -0,86 mm. Für Handmessung-3Shape lagen sie bei 1,38 mm und -1,03 mm. Bei Zirkonzahn-3Shape befanden sich die Limits of Agreement bei 0,84 mm und -0,74 mm.

Betrachtet man die Bland-Altman Analyse, lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messmethoden herausstellen. Ebenso zeigt sich auch mit Zu- oder Abnahme des Mittelwerts kein Einfluss auf die Differenzen.

3.3.2 Messwerte bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten

Der Medianwert der Messstrecken ohne Begrenzung bei unilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten betrug für die Handmessung 31,93 mm. Für Zirkonzahn lag der Medianwert bei 31,66 mm und der Medianwert von 3Shape lag bei 31,5 mm (vgl. Tabelle 16). Die Differenzen der Medianwerte sind in einem Box Plot dargestellt (vgl. Abb. 42). Sie lagen zwischen 0,01 mm (Differenz Handmessung-Zirkonzahn) und 0,07 mm (Differenz Zirkonzahn-3Shape).

Tabelle 16. Deskriptive Statistik Messstrecken ohne Begrenzung unilaterale Lippen-Kiefer-Gaumenspalten

	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Hand (h)	30	31,44	4,59	21,32	39,73	28,58	31,93	33,96
Zirkonzahn (z)	30	31,46	4,58	21,21	39,73	28,52	31,66	34,01
3Shape (s)	30	31,37	4,57	21,40	40,06	28,44	31,50	33,92
Differenz h-z	30	-0,02	0,27	-0,82	0,58	-0,16	-0,01	0,14
Differenz h-s	30	0,08	0,35	-0,43	1,01	-0,17	0,02	0,25
Differenz z-s	30	0,10	0,28	-0,44	0,82	-0,08	0,07	0,25
Mittelwert h, z	30	31,45	4,58	21,27	39,73	28,57	31,75	34,00
Mittelwert h, s	30	31,40	4,58	21,36	39,85	28,53	31,71	33,84
Mittelwert z, s	30	31,41	4,58	21,31	39,84	28,48	31,54	33,91

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, *N* Fallzahl der Messungen

Abbildung 41 zeigt die graphische Darstellung der Quartile, sowie das jeweilige Minimum und Maximum, der einzelnen Messmethoden bezogen auf die Länge [mm] der Messstrecken ohne Begrenzung bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten.

Abbildung 42 zeigt die Differenzen ihrer Medianwerte zwischen den einzelnen Messmethoden bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten.

Abbildung 41. Verteilung der Messwerte bei Messstrecken ohne Begrenzung bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten bezogen auf die jeweilige Messmethode

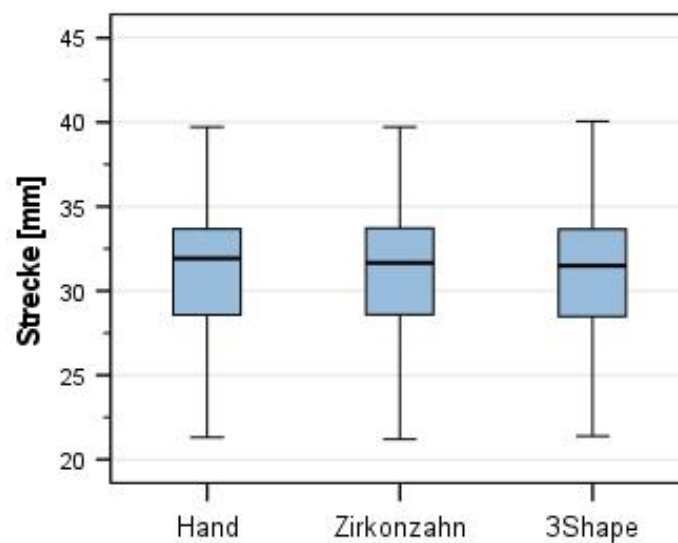
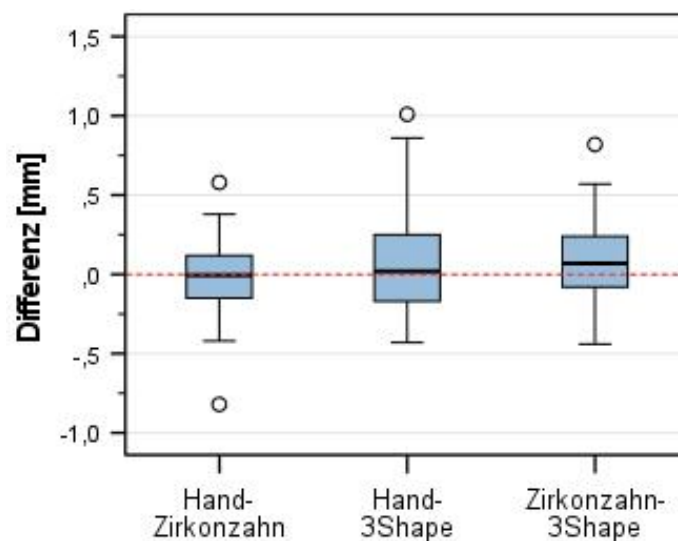


Abbildung 42. Differenzen zwischen den einzelnen Messmethoden bei Messstrecken ohne Begrenzung bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten



Zwischen den einzelnen Messmethoden innerhalb der Messstrecken ohne Begrenzung bei Modellen des Oberkiefers mit unilateralen Spalten zeigten sich keine signifikanten Differenzen. Betrachtet man die Medianwerte der Differenzen, so lagen die größten Diskrepanzen zwischen Zirkonzahn und 3Shape mit 0,07 mm und zwischen Hand und 3Shape mit 0,02 mm vor. Zwischen Hand und Zirkonzahn lag der Medianwert ihrer Differenz bei 0,01 mm. Somit wurde mit Zirkonzahn am größten gemessen, gefolgt von der Handmessung. Alle Differenzen lagen jedoch im klinisch nicht relevanten Bereich.

Die Abbildungen 43-45 zeigen die Bland-Altman Analysen zwischen den einzelnen Messmethoden.

Abbildung 43. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit Zirkonzahn bezogen auf die Größe der Messstrecke (Messstrecken ohne Begrenzung bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten)

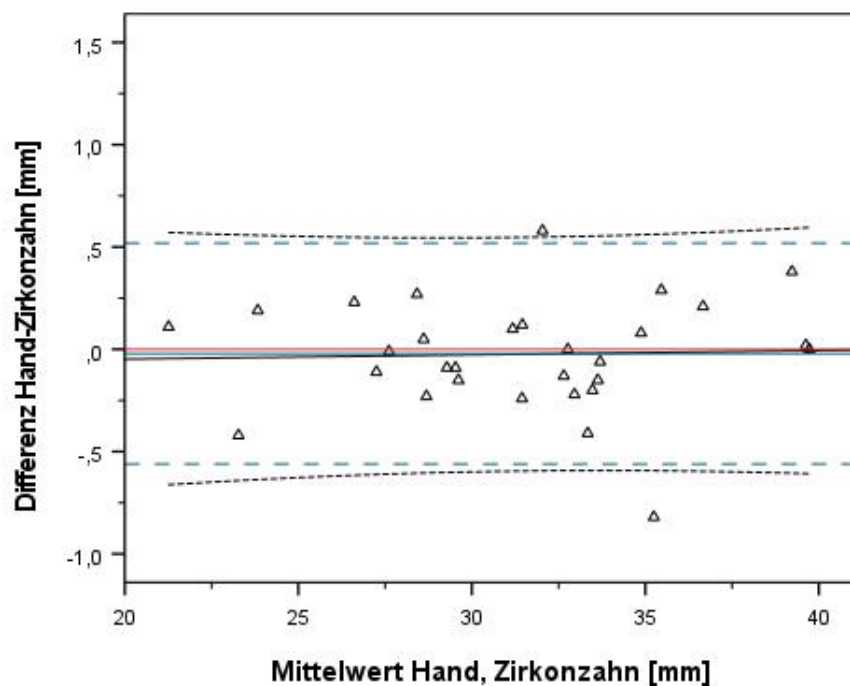


Abbildung 44. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Handmessung und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Messstrecken ohne Begrenzung bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten)

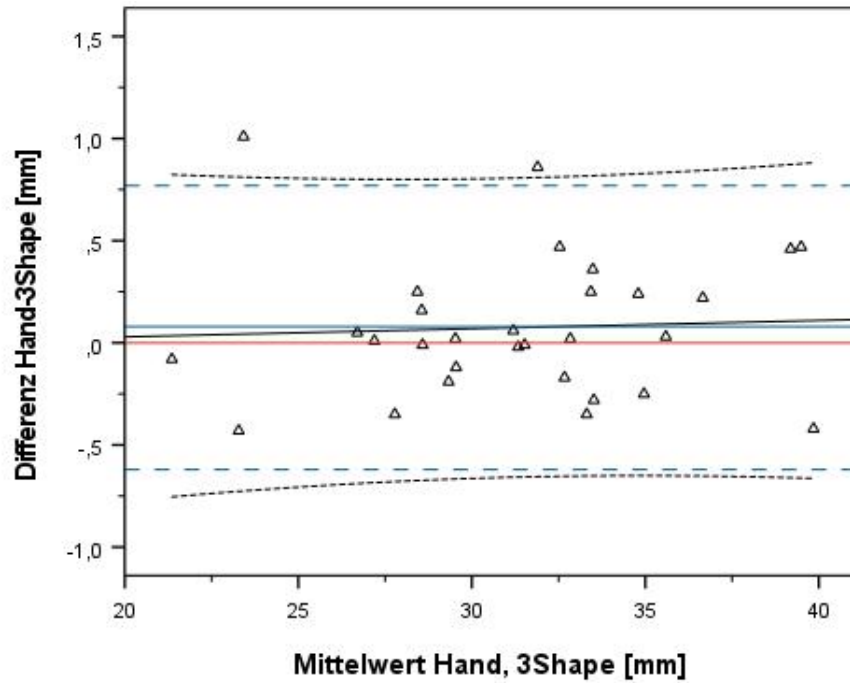
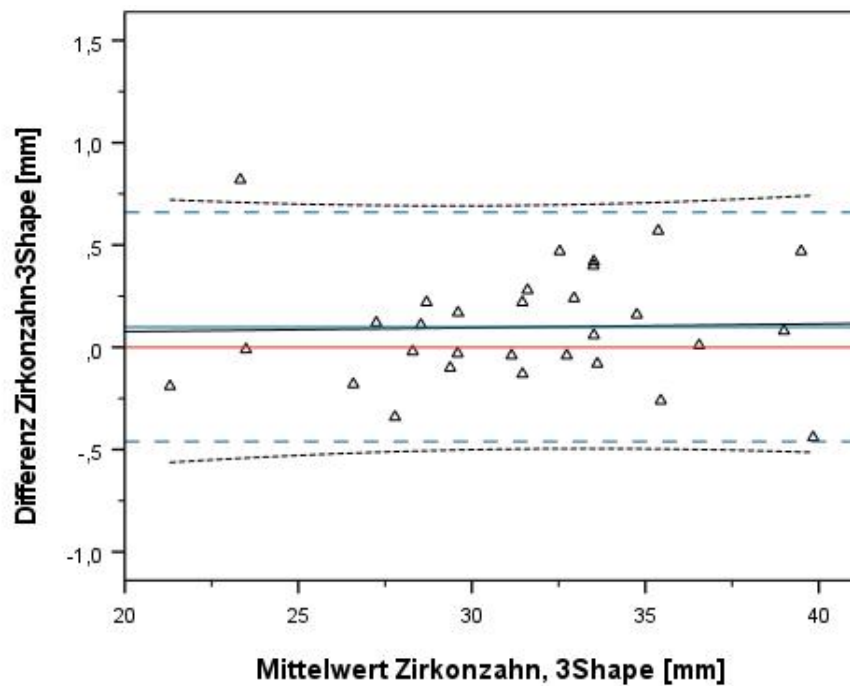


Abbildung 45. Bland-Altman-Plot zur Darstellung der Differenzen zwischen der Messung mit Zirkonzahn und der Messung mit 3Shape bezogen auf die Größe der Messstrecke (Messstrecken ohne Begrenzung bei Oberkiefermodellen mit unilateralen Spalten)



Die Limits of Agreement lagen im Bland-Altman Plot für Handmessung-Zirkonzahn im oberen Bereich bei 0,52 mm und im unteren Bereich bei -0,56 mm. Für Handmessung-3Shape lagen sie bei 0,77 mm und -0,62 mm. Bei Zirkonzahn-3Shape befanden sich die Limits of Agreement bei 0,66 mm und -0,46 mm.

Betrachtet man die Bland-Altman Analyse, lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messmethoden herausstellen. Ebenso zeigt sich auch mit Zu- oder Abnahme des Mittelwerts kein Einfluss auf die Differenzen.

3.4 Messwerte der Prüfkörper

Da die Anzahl der Prüfkörper für eine aussagekräftige statistische Auswertung zu gering war, wurden zunächst die Mittelwerte der gemessenen Werte für die einzelnen Strecken und Messmethoden gebildet. Mit diesen Mittelwerten wurde dann eine Differenz zur tatsächlichen Abmessung (Ist-Wert) gebildet (vgl. Tabelle 17). Dabei ist die Handmessung nur einmal am nächsten am Ist-Wert (Messstrecke M-M').

Tabelle 17. Mittelwerte der gemessenen Werte an den Prüfkörpern verglichen mit ihren tatsächlichen Abmessungen

	Äußere Messungen		Innere Messungen		Ohne Begrenzung		
	B-B'	L-L'	D-D'	I-I'	H-H'	K-K'	M-M'
Mittelwert Hand (h)	13,99	44,05	8,27	4,98	6,38	5,02	30,11
Mittelwert Zirkonzahn (z)	14,02	44,05	8,03	5	6,4	4,99	30,24
Mittelwert 3Shape (s)	14,04	44,02	7,98	5,02	6,48	4,99	30,17
Differenz h-Ist	-0,02	0,02	0,31	-0,03	-0,03	0,03	0,09
Differenz z-Ist	0,01	0,02	0,07	-0,01	-0,01	0	0,22
Differenz s-Ist	0,03	0,01	0,02	0,01	0,07	0	0,15
Ist-Wert	14,01	44,03	7,96	5,01	6,41	4,99	30,02

h Handmessung, *z* Messung mit Zirkonzahn, *s* Messung mit 3Shape, **B-B'** Breite der Basis, **L-L'** Länge der Basis, **D-D'** Breite des Stumpfes, **M-M'** Distanz vom Mittelpunkt des einen Stumpfes zum Mittelpunkt des kontralateralen Stumpfes, **I-I'** Untere Breite der Kavität, **H-H'** Obere Breite der Kavität, **K-K'** Tiefe der Kavität

4. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen der digitalen und der analogen Vermessung hinsichtlich ihrer Genauigkeit. Luu et al. kamen in ihrer systematischen Übersichtsarbeit auf das gleiche Ergebnis (Luu et al., 2012).

In der hier durchgeführten Studie hatte es keine Auswirkungen auf die Genauigkeit, ob die Modelle mit einem Laserscanner oder einem Streifenlichtscanner digitalisiert wurden. Gleichwohl ist zu erwähnen, dass die digitale Vermessung in der Regel größer ausfiel als die analoge. Die Differenzen lagen jedoch im klinisch nicht relevanten Bereich, welchen Bell et al. bei 0,5 mm festlegten (Bell et al., 2003). Die maximale gemessene Differenz lag zwischen der Handmessung und der Messung der mit 3Shape digitalisierten Modellen der 2. Dentition bei 0,21 mm (vgl. Tabelle 12).

Auch konnten bezüglich der unterschiedlichen Messstrecken keine klinisch relevanten Differenzen unter ihnen festgestellt werden. Die differente Lage der Messpunkte bei den unterschiedlichen Entwicklungsstadien und Fehlbildungen des Gebisses scheinen weder bei der digitalen noch bei der analogen Messung einen Einfluss auf die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu haben. Ein Unterschied bei größeren Messstrecken, wie es Zilberman et al. bei Zahnbogenbreiten feststellten, konnte in dieser Studie nicht beobachtet werden (Zilberman et al., 2003). Im Hinblick auf die geringen Differenzen zwischen den einzelnen Messungen wäre für zukünftige Studien zu überlegen die Größensignifikanz dieser unter den Grenzbereich der klinischen Relevanz von 0,5 mm zu verlegen. Die Aussage, dass die Vermessung von Gipsmodellen mittels einer digitalen Schieblehre die genaueste Methode ist, kann in dieser Studie nicht geteilt werden (Zilberman et al., 2003). Jiménez-Gayosso et al. kamen in ihrer Untersuchung ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die analoge Vermessung nicht exakter ist (Jiménez-Gayosso et al., 2018; Lippold et al., 2015).

Auffällig war der Vergleich der Messmethoden an den Prüfkörpern. Die Handmessung, welche in vorherigen Studien meist als Gold-Standard eingesetzt

wurde, hatte hier nur einmal die geringste Differenz zur tatsächlichen Abmessung (vgl. Tabelle 17). Die digitale Messung lag hingegen sechsmal näher am wahren Wert. Dabei spielte die Art des Scanners keine Rolle (2-mal 3Shape, 2-mal Zirkonzahn, 2-mal gleich). Zwar lagen alle Abweichungen, auch die der Handmessung, im klinisch nicht relevanten Bereich, so stellt sich trotzdem die Frage, ob die Handmessung in zukünftigen Genauigkeitsstudien noch als Gold-Standard eingesetzt werden sollte. Bei dieser Eindeutigkeit ist davon auszugehen, dass sich dieser Eindruck an weiteren Prüfkörpern fortsetzen würde. Frühere Studien kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die digitale Modellvermessung gegenüber der Genauigkeit einer analogen Vermessung keine Nachteile aufweist (Murugesan und Sivakumar, 2020; Nawi et al., 2018; Lippold et al., 2015).

Für den Erfolg einer kieferorthopädischen Behandlung ist eine präzise Modellanalyse erforderlich. Die Studie hat gezeigt, dass die digitale Vermessung der analogen mindestens ebenbürtig, wenn nicht sogar überlegen, ist. Es ist davon auszugehen, dass die digitale Vermessung die analoge aufgrund ihrer bereits einleitend beschriebenen Vorteile bald ersetzen könnte.

Im Nachfolgenden werden die einzelnen Methoden und Details dieser Untersuchung kritisch diskutiert.

4.1 Auswahl der Patientenmodelle

Für die Studie wurden insgesamt 100 Modelle und zwei Prüfkörper vermessen. Alle Patientenmodelle entstammten den Archiven der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen. Die Auswahl richtete sich dabei einzig und allein nach den jeweiligen Entwicklungsstadien, respektive Fehlbildungen. Es wurde darauf geachtet, dass alle Kiefer dem Alter entsprechend regelrecht bezahnt waren. Außerdem wurden keine Gipsmodelle mit Beschädigungen an studienrelevanten Zahn- oder Weichgewebsstrukturen ausgewählt (Camardella et al., 2017).

Das Geschlecht oder die Herkunft (Diwan und Elahi, 1990; Nummikoski et al., 1988) der Patienten, wie es in Studien, die ein Wachstum beobachteten, der Fall sein könnte, spielte in diesem Fall keine Rolle, da lediglich der gegenwärtige Zustand verglichen wurde und die Modelle der verschiedenen Entwicklungsstadien nicht von den selben Patienten stammten.

4.2 Modellherstellung und Lagerung

Alle Patientenmodelle wurden zwecks einer kieferorthopädischen Behandlung zu unterschiedlichen Zeiten hergestellt. Es konnte nicht sichergestellt werden, dass sowohl das Alginat für die Abdrücke, sowie der verwendete Gips stets dieselbe Zusammensetzung hatten. Um dadurch eventuell entstandene Unterschiede in Dimensionstreu und Abrasionsfestigkeit zu vermeiden, wurde jedes Modell für die Studie mit einem Silikon dubliert und anschließend mit dem gleichen Gips in der vom Hersteller empfohlenen Mischung ausgegossen. Da nach der Modellherstellung mindestens 2 Wochen gewartet wurden, spielte eine nachträgliche Expansion des Gipses für die Vermessung keine Rolle (Michalakis et al., 2009). Ebenso unerheblich für die Datenerhebung ist nach diesem Zeitraum eine nachträgliche Schrumpfung des Gipses, welche bis zu 14 Tage nach Herstellung gemessen werden kann (Michalakis et al., 2012).

Abformfehler, die durch eine muskulär bedingte Verformung der Mandibula bei Öffnungsbewegungen auftreten (Gates und Nicholls, 1981), spielten in dieser Studie keine relevante Rolle und wurden außer Acht gelassen.

Um Beschädigungen bei Transport und Lagerung zu vermeiden, wurden die Modelle zwischen den einzelnen Untersuchungen stoß- und bruchstabil verpackt. Es wurde darauf geachtet beim Vermessen keine Beschädigungen an den Gipsmodellen zu verursachen. Es ist aber davon auszugehen, dass jedes Anlegen der Schieblehre minimale Abrasionen des Gipses zur Folge hatte. Da diese sich bei vorsichtigem Arbeiten jedoch in einem nicht relevanten Rahmen bewegen, konnte dieser Faktor außer Acht gelassen werden (Peyton et al., 1952;

Schneider und Taylor, 1984; Lindquist et al., 2003; Lyon et al., 1987; Lindquist und Stanford, 2000).

4.3 Prüfkörper

Da ein Gipsmodell aus materialbedingten Gründen nie die tatsächlichen Maße des abgeformten Objekts wiedergeben kann, wurden zwei Prüfkörper aus Titan Grad 4 nach DIN EN ISO-Norm 12836 von der Firma CPM-Precision (Hirschberg, Deutschland) als Referenz hergestellt.

In unserer Untersuchung lagen die digitalen Messungen näher an den tatsächlichen Werten als die analoge Messung. Mit mehr Prüfkörpern hätte eine ausführlichere statistische Auswertung stattfinden können. Da sich diese Studie aber bewusst auf die DIN EN ISO-Norm 12836 stützt und diese bis auf eine Kugel nicht mehr Prüfkörper enthält, wurden auch keine weiteren Formen erfunden. Mehr Messstrecken abzugreifen, war aufgrund der Seitengleichheit der Prüfkörper nicht möglich bzw. nicht sinnvoll. Es ist zu diskutieren, ob bei einer höheren Anzahl von Prüfkörpern und somit auch von Messstrecken ein anderes Ergebnis zu Stande gekommen wäre. Da das Resultat jedoch eindeutig ausfiel (6:1), ist davon auszugehen, dass auch eine größere Fallzahl nicht zu einer Verschiebung zugunsten der Handmessung geführt hätte.

Die Oberfläche aus Titan ist den Gipsmodellen in Kantenstabilität und Abrasionsfestigkeit deutlich überlegen. Diese Nachteile konnten hier somit außer Acht gelassen werden. Allerdings musste die Oberfläche vor dem Scanvorgang mit einem Antireflexionsspray entspiegelt werden. Studien haben jedoch belegt, dass dies keine signifikante Auswirkung auf die Genauigkeit hat und die aufgetragene Schicht zu gering ist, um eine Relevanz bei der Vermessung zu spielen (Burde et al., 2016).

4.4 Datenerhebung und Datenauswertung

Für die manuelle Vermessung der Modelle wurde eine digitale Schieblehre Model Nr. CD-15APX (Mitutoyo, Kawasaki, Japan) als Hilfsmittel verwendet. Auf weitere Messinstrumente, wie zum Beispiel ein Korkhausbesteck, konnte verzichtet werden, da nur ein Vergleich von gemessenen Strecken und keine vollständige Modellanalyse durchgeführt wurde. Außerdem fanden bereits 1995 Shellhart et al. heraus, dass die Fehlerrate beim Messen mittels eines Stechzirkels signifikant höher ist (Shellhart et al., 1995).

Die verwendeten Scanner wurden vor den Scanvorgängen nach ihren jeweiligen Herstellerangaben kalibriert. Die digitale Vermessung wurde mit der Software „3D-Tool“ der Firma 3D-Tool GmbH und Co. KG (Weinheim, Deutschland) durchgeführt. Hier konnten die Ergebnisse von Felter et al. geteilt werden (Felter et al., 2021). Obwohl es sich um kein speziell für den kieferorthopädischen Bereich entwickeltes Computerprogramm handelt, war die Handhabung der Software bei den hier benötigten Messstrecken zufriedenstellend. Auch hinsichtlich ihrer Genauigkeit bewegte sich die Software in einem akzeptablen und für die klinische Anwendbarkeit ausreichenden Bereich. Somit kann die Software durchaus zur Modellvermessung im kieferorthopädischen Bereich genutzt werden.

Alle Messungen wurden von einem Zahnmedizinstudenten durchgeführt, der in der kieferorthopädischen Modellanalyse geschult war. Eine Studie von Radeke et al. (Radeke et al., 2014) hat hier auf mehrere Untersucher mit unterschiedlichem zahnmedizinischen Bildungshintergrund zurückgegriffen und herausgefunden, dass signifikante Differenzen nur zu einem zahnmedizinischen Laien festzustellen waren.

In der vorliegenden Studie sollten jedoch keine möglichen Differenzen zwischen unterschiedlichen Untersuchern herausgefunden werden, sondern nur zwischen den einzelnen Messmethoden und Messstrecken. Da die Modellanalysen von demselben Untersucher durchgeführt wurden, lag zwischen den einzelnen Messungen der gleichen Modelle immer ein Zeitintervall von vier Wochen. Horton et al. (Horton et al., 2010) führten ihre Messwiederholungen in einem zeitlichen

Abstand von einer Woche durch, während Czarnota et. al (Czarnota et al., 2016) einen Abstand von mindestens zwei Wochen ließen. Lippold et. al (Lippold et al., 2015) ließen ihre Messungen hingegen einmal durch den gleichen Untersucher und einmal von einem anderen Untersucher in einem zeitlichen Abstand von zwei Wochen an 20 zufälligen Modellen wiederholen.

Da bei der hier vorliegenden Studie mit vier Wochen ein ausreichend langer Zeitraum zwischen den Messungen lag, ist davon auszugehen, dass trotz desselben Untersuchers keine Beeinflussung der Ergebnisse durch vorangegangene Messungen vorlag.

Die erhobenen Daten wurden auf ihre Vollständigkeit überprüft und anschließend statistisch ausgewertet. Dabei wurde zunächst mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test eine Überprüfung auf Normalverteilung durchgeführt. Anschließend fand für alle drei Messverfahren (3Shape, Zirkonzahn und Handmessung) mittels einer Varianzanalyse für Messwiederholungen eine Prüfung auf signifikante Unterschiede statt. Zusätzlich wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Nachfolgend wurden paarweise Bland-Altman-Analysen durchgeführt.

4.5 Modellvermessung

Es wurde darauf geachtet nur praxisbezogene Messpunkte zu verwenden. Deshalb orientierte sich diese Studie an den Messstrecken der etablierten Modellanalysen für die jeweiligen Entwicklungsstadien und Fehlbildungen der Gebisse. Zur Vermessung der 1. Dentition wurde die Milchzahnanalyse von Dausch-Neumann herangezogen (Nötzel und Schultz, 2009). Die Messpunkte der Modelle mit uni- bzw. bilateralen Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten orientierten sich hingegen an den Analysen von Heidbüchel (Heidbüchel et al., 1998a; Heidbüchel et al., 1998b) bzw. Braumann (Braumann et al., 2003). Da viele vorangegangenen Studien von Unterschieden hinsichtlich der Messgenauigkeit bei andersartigen Strecken sprechen, wurde versucht, ein möglichst breites Spektrum an unterschiedlichen Messstrecken zu erhalten (Leifert et al., 2009; Zilberman et al., 2003; Camardella et al., 2017).

Dabei wurde zwischen drei Arten von Messstrecken unterschieden:

- Äußere Messstrecken
- Innere Messstrecken
- Messstrecken ohne Begrenzung

Soweit möglich, wurde versucht aus diesem Repertoire bei allen Modellen vergleichbare Messstrecken zu erzeugen, was jedoch aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungsstadien nicht immer durchführbar war.

Auch die Messstrecken an den Prüfkörpern orientierten sich an diesen Vorgaben. Aufgrund ihrer spiegelgleichen Seiten konnten hier jedoch nicht mehr unterschiedliche Messpunkte erzeugt werden.

4.6 Diskussion der Ergebnisse

Die Messungen an äußeren Messstrecken zeigen bei keiner Messmethode signifikante Unterschiede zu den jeweils anderen. Die größten Differenzen liegen hier mit 0,16 mm zwischen Handmessung und 3Shape und 0,15 mm zwischen Handmessung und Zirkonzahn bei den Messungen an den Modellen mit bilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten vor. Sie liegen somit im klinisch nicht relevanten Bereich, der eingangs als $>0,5$ mm festgelegt wurde. Diese Größenordnung wird sowohl wie oben beschrieben von Luu et al. (Luu et al., 2012) wie auch von Rossini et al. (Rossini et al., 2016) als klinisch akzeptable Grenze in ihren Übersichtsarbeiten dargestellt. Es fällt jedoch auf, dass die digitale Vermessung immer größer ausfiel als die der Handmessung. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen in der Studie von Horton et al. (Horton et al., 2010), in der den digitalen Messungen expansivere Werte zugeschrieben werden.

Bei den inneren Messungen konnte ebenfalls bei keiner Messmethode ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die größten Differenzen lagen hier zwischen Handmessung und 3Shape mit 0,21 mm und zwischen Handmessung und Zirkonzahn mit 0,20 mm bei den Messungen in der 2. Dentition vor. Hier fiel nur die digitale Vermessung mit 3Shape nicht größer aus als die Handmessung.

Innerhalb der Messgruppe der Messstrecken ohne Begrenzung lag die größte Differenz zwischen Zirkonzahn und 3Shape mit 0,07 mm bei Modellen mit unilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten.

Vergleicht man die Größen der Differenzen untereinander so fällt auf, dass die kleinste Differenz bei Messstrecken ohne Begrenzung (0,07 mm) und die größte Differenz bei den inneren Messstrecken (0,21 mm) liegt. Dieses Ergebnis ist insofern bemerkenswert, als dass die Reproduzierbarkeit des Abgreifens einer Messstrecke ohne Begrenzung in der Regel als schwieriger erachtet wird als die Messung mit einer äußeren Begrenzung. Zu erklären ist dieser Unterschied vielleicht durch das erschwerte Abgreifen von Messpunkten mittels Schieblehre innerhalb einer geschlossenen Zahnreihe, wie es bereits Grünheid et. al (Grünheid et al., 2014) beschrieben. Unterstützt wird die These, dass eine Schieblehre aufgrund ihrer Bauart nicht genau an den approximalen Kontakt angelegt werden kann, davon, dass die Strecken bei der digitalen Vermessung größer ausfielen als bei der analogen Vermessung. Dieser Unterschied ist jedoch so gering, dass er klinisch keine Relevanz besitzt. Auch Stevens et al. (Stevens et al., 2006) beschreiben in ihrer Arbeit, die bereits genannte Problematik des Anlegens der Schieblehre vor allem im approximalen Bereich als mögliche Fehlerquelle. Dies führte Stevens et al. weiterhin zu der Aussage, dass ein sorgfältiges Setzen der Messpunkte in der Software die digitale Messung wahrscheinlich genauer als die analoge macht. Zusätzlich beschrieben sie eine zügige Lernkurve bei der Modellanalyse am Computerbildschirm, was die digitale Vermessung ebenfalls deutlich erleichtern soll. Im Hinblick auf die geringen Differenzen (0,3 mm) kam ihre Studie ebenfalls zu der Auffassung, dass diese im klinisch nicht relevanten Bereich liegen.

Die in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse korrelieren überdies teilweise mit den Ergebnissen von Quimby et al. (Quimby et al., 2004), die in ihrer Untersuchung ebenfalls feststellten, dass die Messungen der digitalen Modelle stets etwas größer ausfiel als die Messung an den plastischen Gipsmodellen. Einzige Ausnahme bildeten hier Overjet und Overbite. Die Größenordnung aller Differenzen lag jedoch auch bei Quimby et al. in allen Fällen unter 0,5 mm, was

die Autoren in Frage stellen ließ, ob sich diese geringen Unterschiede auf klinische Behandlungsergebnisse auswirken würden (Quimby et al., 2004).

Die Handmessung wurde von den meisten vorherigen Studien als Goldstandard festgelegt. Der Vergleich der Handmessung mit der digitalen Messung an den industriell gefertigten Prüfkörpern zeigt allerdings, dass diese nicht näher an den tatsächlichen Abmessungen liegt. Durch den Herstellungsprozess nach exakten Vorgaben und anschließender Überprüfung der Firma CPM-Precision GmbH waren die wahren Maße der Prüfkörper bekannt und konnten als Vergleich dienen. Dabei stellte sich heraus, dass die digitalen Verfahren bei sechs Messungen näher an dem tatsächlichen Wert lagen, die Handmessung hingegen nur einmal. Zwar lagen auch hier die größten Differenzen (Handmessung 0,31 mm, Zirkonzahn 0,22 mm, 3Shape 0,15 mm) alle im klinisch nicht relevanten Bereich, trotzdem sollte kritisch hinterfragt werden, ob die Handmessung bei späteren Studien weiter als Goldstandard gelten darf. Eine Studie von Murugesan et al. (Murugesan und Sivakumar, 2020) legte die Daten von Intraloralscans als Goldstandard zugrunde und verglich diese mit Messungen auf konventionellen Gipsmodellen und mit Modellscannern digitalisierten Gipsmodellen. Als Begründung für die Wahl des Intraoralscanners als Goldstandard führten sie an, dass diese Messung am wenigstens durch externe Einflüsse verfälscht werden kann und Tomita et al. (Tomita et al., 2018) in ihrer Studie zu der Aussage kamen, dass Modellanalysen mittels Intraoralscans genauer sein könnten als solche auf herkömmlichen Gipsmodellen. Das Ergebnis der Studie von Murugesan et al. war, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen allen drei Methoden gab. Ferner trafen sie die Aussage, dass die digitalen Modelle in Zukunft die plastischen Gipsmodelle aufgrund ihrer begleitenden Vorteile, wie geringer Platzbedarf, sofortige Verfügbarkeit, etc., ablösen werden. El-Zanaty et al. (El-Zanaty et al., 2010) gehen in ihrer Studie noch einen Schritt weiter und stellen den Gedanken auf, dass in Zukunft mit nur einem CT-Scan alle notwendigen Daten erhoben werden könnten.

5. Schlussfolgerung

Bezüglich der zu Beginn dieser Studie formulierten Arbeitshypothesen können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

1. Entwicklungsstadien oder Fehlbildungen scheinen weder bei der digitalen Messung noch bei der Handmessung einen Einfluss auf die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu haben.
2. Unterschiedliche Größen und Lagen der Messstrecken haben keinen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der digitalen Modellvermessung und ihre Messdifferenzen liegen alle unter 0,5 mm.
3. Die unterschiedlichen optischen Scanverfahren haben keinen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der digitalen Modelle. Demnach kann kein Urteil darüber gefällt werden, ob sich eines der Scanverfahren für eine bestimmte Gebissituation besser oder schlechter eignet.
4. Nach den Ergebnissen dieser Studie und in Anbetracht der rasanten technischen Entwicklungen und Innovationen im Bereich der Digitalisierung könnte die analoge Messung als Goldstandard in Zukunft von der digitalen Vermessung abgelöst werden.

Diese und andere Studien legen nahe, dass die computerbasierte Vermessung genauer als die analoge Vermessung oder mindestens gleichwertig ist.

Man kann davon ausgehen, dass die digitale Vermessung die analoge nach und nach ersetzen wird. Mit fortschreitenden Entwicklungen, unter anderem im Bereich von intraoralen Scannersystemen, könnte sich, perspektivisch betrachtet, der vollkommen digitalisierte Workflow in der Kieferorthopädie etablieren. Die für die Kieferorthopädie unbedingt notwendige Erfassung der Weichgewebsstrukturen stellt jedoch weiterhin eine wichtige Indikation für die

konventionelle Abformmethode dar, weshalb Modellscanner einen essenziellen Zwischenschritt digitaler Arbeitsweisen ausfüllen könnten.

6. Zusammenfassung

Um den Einfluss unterschiedlicher Entwicklungsstadien des Gebisses, sowie von uni- und bilateralen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten auf die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von analoger und digitaler Modellvermessung zu untersuchen, wurden insgesamt 100 Modelle und zwei Prüfkörper nach DIN EN ISO-Norm 12836 im Abstand von mindestens 4 Wochen jeweils dreimal vermessen.

Bei allen für die Studie verwendeten Modelle wurde darauf geachtet, dass nur ihrem Entwicklungsstadium entsprechend regelrecht bezahnte und unbeschädigte Modelle ausgewählt wurden.

Die Modelle wurden entsprechend der gängigen Modellanalysen vermessen. Aus den erhaltenen Daten wurden repräsentative und vergleichbare Messstrecken ausgewählt.

Die Messergebnisse wurden statistisch ausgewertet und entsprechend ihrer Messstrecken miteinander verglichen.

Bei keiner Messgruppe zeigten sich signifikante Unterschiede in der Genauigkeit zwischen Handmessung und digitaler Messung. Alle Differenzen lagen im klinisch nicht relevanten Bereich. Beide Methoden sind somit mindestens gleichwertig.

Bei der Vermessung der Prüfkörper stellte sich heraus, dass die digitale Vermessung in sechs von sieben Fällen näher am tatsächlichen Wert der Messstrecke lag.

Es lässt sich feststellen, dass die digitale Vermessung die Handmessung an Genauigkeit eher übertrifft, weshalb sie in Zukunft die Handmessung auch in Anbetracht ihrer zahlreichen weiteren Vorteile als Goldstandard ablösen könnte.

7. Literaturverzeichnis

- ALCAÑIZ, M., MONTSERRAT, C., GRAU, V., CHINESTA, F., RAMÓN, A. & ALBALAT, S. 1998. An advanced system for the simulation and planning of orthodontic treatment. *Medical Image Analysis*, 2, 61-77.
- ASQUITH, J., GILLGRASS, T. & MOSSEY, P. 2007. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod*, 29, 517-522.
- BELL, A., AYOUB, A. F. & SIEBERT, P. 2003. Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *Journal of Orthodontics*, 30, 219-223.
- BOOTVONG, K., LIU, Z., MCGRATH, C., HÄGG, U., WONG, R. W., BENDEUS, M. & YEUNG, S. 2010. Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *The European Journal of Orthodontics*, 32, 589-595.
- BRAUMANN, B., KEILIG, L., STELLZIG-EISENHAUER, A., BOURAUUEL, C., BERGÉ, S. & JÄGER, A. 2003. Patterns of Maxillary Alveolar Arch Growth Changes of Infants With Unilateral Cleft Lip and Palate: Preliminary Findings. *Cleft Palate–Craniofacial Journal*, 40, 363-372.
- BURDE, A. V., DUDEA, D., CUC, S., MOLDOVAN, M. & CAMPAN, R. S. 2016. Three-dimensional Evaluations of the Coating Thickness of Two Optical Conditioning Scanning Sprays. *Materiale Plastice*, 53, 65-67.
- BURHARDT, L., LIVAS, C., KERDIJK, W., VAN DER MEER, W. J. & REN, Y. 2016. Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: A comparative study in young patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 150, 261-267.
- CAMARDELLA, L. T., BREUNING, H. & DE VASCONCELLOS VILELLA, O. 2017. Accuracy and reproducibility of measurements on plaster models and digital models created using an intraoral scanner. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 78, 211-220.
- CARVALHO, P. E. G., ORTEGA, A. D. O., MAEDA, F. A., DA SILVA, L. H., CARVALHO, V. G. G. & TORRES, F. C. 2019. Digital Scanning in Modern Orthodontics. *Current Oral Health Reports*, 6, 269-276.
- CHRISTENSEN, L. R. 2017. Digital workflows in contemporary orthodontics. *APOS Trends in Orthodontics*, 7, 12-18.
- CZARNOTA, J., HEY, J. & FUHRMANN, R. 2016. Measurements using orthodontic analysis software on digital models obtained by 3D scans of plaster casts : Intrarater reliability and validity. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 77, 22-30.
- DA SILVA-DANTAS, L. A., YAMASHITA, A. L., SIGUA-RODRIGUEZ, E. A., CHICARELLI, M., VESSONI-IWAKI, L. C. & IWAKI FILHO, L. 2019. Accuracy of Linear Measurements of Dental Models Scanned Through 3D Scanner and Cone-Beam Computed Tomography in Comparison with Plaster Models. *CES Odontología*, 32, 7-16.
- DALSTRA, M. & MELSEN, B. 2009. From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. *Journal of Orthodontics*, 36, 36-41; discussion 14.
- DIWAN, R. & ELAHI, J. M. 1990. A comparative study between three ethnic groups to derive some standards for maxillary arch dimensions. *Journal of Oral Rehabilitation*, 17, 43-48.

- EL-ZANATY, H. M., EL-BEIALY, A. R., ABOU EL-EZZ, A. M., ATTIA, K. H., EL-BIALY, A. R. & MOSTAFA, Y. A. 2010. Three-dimensional dental measurements: An alternative to plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137, 259-265.
- FELTER, M., LENZA, M. G., MINORO MUNIZ SHIBASAKI, W. & FERREIRA SILVA, R. 2021. Usability of free software used for visualization and measurement of digital orthodontic models. *Bioscience Journal*, 37, 1-9.
- FLEMING, P. S., MARINHO, V. & JOHAL, A. 2011. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 14, 1-16.
- GATES, G. N. & NICHOLLS, J. I. 1981. Evaluation of mandibular arch width change. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 46, 385-391.
- GRÜNHEID, T., PATEL, N., DE FELIPPE, N. L., WEY, A., GAILLARD, P. R. & LARSON, B. E. 2014. Accuracy, reproducibility, and time efficiency of dental measurements using different technologies. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 145, 157-164.
- HAYASHI, K., CHUNG, O., PARK, S., LEE, S. P., SACHDEVA, R. C. & MIZOGUCHI, I. 2015. Influence of standardization on the precision (reproducibility) of dental cast analysis with virtual 3-dimensional models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 147, 373-380.
- HAYASHI, K., SACHDEVA, A. U., SAITOH, S., LEE, S. P., KUBOTA, T. & MIZOGUCHI, I. 2013. Assessment of the accuracy and reliability of new 3-dimensional scanning devices. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144, 619-625.
- HEIDBÜCHEL, K. L. W. M., KUIJPERS-JAGTMAN, A. M., KRAMER, G. J. C. & PRAHL-ANDERSEN, B. 1998a. Maxillary Arch Dimensions in Bilateral Cleft Lip and Palate from Birth until Four Years of Age in Boys. *Cleft Palate–Craniofacial Journal*, 35, 233-239.
- HEIDBÜCHEL, K. L. W. M., KUIJPERS-JAGTMAN, A. M., VAN'T HOF, M. A., KRAMER, G. J. C. & PRAHL-ANDERSEN, B. 1998b. Effects of early treatment on maxillary arch development in BCLP. A study on dental casts between 0 and 4 years of age. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 26, 140-147.
- HORTON, H. M., MILLER, J. R., GAILLARD, P. R. & LARSON, B. E. 2010. Technique comparison for efficient orthodontic tooth measurements using digital models. *Angle Orthodontics*, 80, 254-261.
- HOU, D., CAPOTE, R., BAYIRLI, B., CHAN, D. C. N. & HUANG, G. 2020. The effect of digital diagnostic setups on orthodontic treatment planning. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 157, 542-549.
- HOUSTON, W. J. B. 1983. The analysis of errors in orthodontic measurements. *American Journal of Orthodontics*, 83, 382-390.
- JACOB, H. B., WYATT, G. D. & BUSCHANG, P. H. 2015. Reliability and validity of intraoral and extraoral scanners. *Progress in Orthodontics*, 16, 38.
- JIMÉNEZ-GAYOSSO, S. I., LARA-CARRILLO, E., LOPEZ-GONZALEZ, S., MEDINA-SOLIS, C. E., SCOUGALL-VILCHIS, R. J., HERNANDEZ-MARTINEZ, C. T., COLOME-RUIZ, G. E. & ESCOFFIE-RAMIREZ, M. 2018. Difference between manual and digital

- measurements of dental arches of orthodontic patients. *Medicine (Baltimore)*, 97, 1-5.
- KEATING, A. P., KNOX, J., BIBB, R. & ZHUROV, A. I. 2008. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *Journal of Orthodontics*, 35, 191-201; discussion 175.
- KUO, E. & MILLER, R. J. 2003. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 123, 578-581.
- LEBRET, L. 1962. Growth Changes of the Palate. *Journal of Dental Research* 41, 1391-1404.
- LEIFERT, M. F., LEIFERT, M. M., EFSTRATIADIS, S. S. & CANGIALOSI, T. J. 2009. Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136, 16.e1-16.e4.
- LINDQUIST, T. J. & STANFORD, C. M. 2000. Development and application of a new abrasion testing device. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 84, 635-641.
- LINDQUIST, T. J., STANFORD, C. M. & KNOX, E. 2003. Influence of surface hardener on gypsum abrasion resistance and water sorption. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 90, 441-446.
- LIPPOLD, C., KIRSCHNECK, C., SCHREIBER, K., ABUKIRESS, S., TAHVILDARI, A., MOISEENKO, T. & DANESH, G. 2015. Methodological accuracy of digital and manual model analysis in orthodontics - A retrospective clinical study. *Computers in Biology and Medicine*, 62, 103-109.
- LIU, J., LIU, Y., WANG, J., ZUO, X., WANG, X., ZHANG, Y. & HE, H. 2021. Dental measurements based on a three-dimensional digital technique: A comparative study on reliability and validity. *Archives of Oral Biology*, 124, 1-8.
- LUU, N. S., NIKOLCHEVA, L. G., RETROUVEY, J. M., FLORES-MIR, C., EL-BIALY, T., CAREY, J. P. & MAJOR, P. W. 2012. Linear measurements using virtual study models. *Angle Orthodontics*, 82, 1098-1106.
- LYON, H. E., MITCHELL, R. J. & T., P. 1987. A comparison of abrasion resistance of dental stones. *Dental Materials*, 3, 49-51.
- MANGANO, A., BERETTA, M., LUONGO, G., MANGANO, C. & MANGANO, F. 2018. Conventional Vs Digital Impressions: Acceptability, Treatment Comfort and Stress Among Young Orthodontic Patients. *The Open Dentistry Journal*, 12, 118-124.
- MARTENSSON, B. & RYDÉN, H. 1992. The holodent system, a new technique for measurement and storage of dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 102, 113-119.
- MICHALAKIS, K. X., ASAR, V., KAPSAMPELI, V., MAGKAVALI-TRIKKA, P., PISSIOTIS, A. L. & HIRAYAMA, H. 2012. Delayed linear dimensional changes of five high strength gypsum products used for the fabrication of definitive casts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 108, 313-318.
- MICHALAKIS, K. X., STRATOS, A., HIRAYAMA, H., PISSIOTIS, A. L. & TOULOUMI, F. 2009. Delayed setting and hygroscopic linear expansion of three gypsum products used for cast articulation. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 102, 313-318.

- MIRAS, D. & SANDER, F. G. 1993. Die Genauigkeit von Hologrammen im Vergleich zu anderen Modellvermessungen. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 54, 203-217.
- MURUGESAN, A. & SIVAKUMAR, A. 2020. Comparison of accuracy of mesiodistal tooth measurements made in conventional study models and digital models obtained from intraoral scan and desktop scan of study models. *Journal of Orthodontics*, 47, 149-155.
- NAIDU, D., SCOTT, J., ONG, D. & HO, C. T. C. 2009. Validity, reliability and reproducibility of three methods used to measure tooth widths for Bolton analyses. *Australian Orthodontic Journal*, 25, 97-103.
- NAWI, N., MOHAMED, A. M., MARIZAN NOR, M. & ASHAR, N. A. 2018. Correlation and agreement of a digital and conventional method to measure arch parameters. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 79, 19-27.
- NÖTZEL, F. & SCHULTZ, C. 2009. *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis, 2. Auflage*, Köln, Deutscher Ärzteverlag, 51-52.
- NUMMIKOSKI, P., PRIHODA, T., LANGLAIS, R. P., MCDAVID, W. D., WELANDER, U. & TRONJE, G. 1988. Dental and mandibular arch widths in three ethnic groups in Texas: A radiographic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 65, 609-617.
- PASSOS, L., MEIGA, S., BRIGAGAO, V. & STREET, A. 2019. Impact of different scanning strategies on the accuracy of two current intraoral scanning systems in complete arch impressions: an in vitro study. *International Journal of Computerized Dentistry*, 22, 307-319.
- PELUSO, M. J., JOSELL, S. D., LEVINE, S. W. & LOREI, B. J. 2004. Digital models: An introduction. *Seminars in Orthodontics*, 10, 226-238.
- PEYTON, F. A., LEIBOLD, J. P. & RIDGLEY, G. V. 1952. Surface Hardness, Compressive Strength, And Abrasion Resistance of Indirect Die Stones. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2, 381-389.
- QUIMBY, M. L., VIG, K. W. L., RASHID, R. G. & FIRESTONE, A. R. 2004. The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models. *Angle Orthodontics*, 298-303.
- RADEKE, J., VON DER WENSE, C. & LAPATKI, B. G. 2014. Comparison of orthodontic measurements on dental plaster casts and 3D scans. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 75, 264-274.
- REDLICH, M., WEINSTOCK, T., ABED, Y., SCHNEOR, R., HOLDSTEIN, Y. & FISCHER, A. 2008. A new system for scanning, measuring and analyzing dental casts based on a 3D holographic sensor. *Orthodontics and Craniofacial Research* 11, 90-95.
- ROMEO, A. 1995. Holograms in orthodontics: A universal system for the production, development, and illumination of holograms for the storage and analysis of dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 108, 443-447.
- ROSETTO, M. C., PALMA CASSINELLI, F. M., FERREIRA, R. I., PINZAN, A. & VELLINI-FERREIRA, F. 2009. Comparative study of dental arch width in plaster models, photocopies and digitized images. *Brazilian Oral Research*, 190-194.

- ROSSINI, G., PARRINI, S., CASTROFLORIO, T., DEREGIBUS, A. & DEBERNARDI, C. L. 2016. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149, 161-170.
- RYDÉN, H., BJELKHAGEN, H. & MARTENSSON, B. 1982. Tooth position measurements on dental casts using holographic images. *American Journal of Orthodontics*, 81, 310-313.
- SANTORO, M., GALKIN, S., TEREDESAI, M., NICOLAY, O. F. & CANGIALOSI, T. J. 2003. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124, 101-105.
- SCHENK, H. J., FUCHS, G., WIEMANN, C. & SCHRÖTER, R. 1986. Kieferorthopädische Modellanalyse mit Hilfe verschiedener Verfahren der Koordinatenmeßtechnik. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 47, 67-75.
- SCHIRMER, U. R. & WILTSHIRE, W. A. 1997. Manuel and computer-aided space analysis: A comparative study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 112, 676-680.
- SCHMIDT, A., KLUSSMANN, L., WOSTMANN, B. & SCHLENZ, M. A. 2020. Accuracy of Digital and Conventional Full-Arch Impressions in Patients: An Update. *Journal of Clinical Medicine*, 9, 1-9.
- SCHNEIDER, R. L. & TAYLOR, T. D. 1984. Compressive strength and surface hardness of type IV die stone when mixed with water substitutes. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 52, 510-514.
- SCHOPF, P. 2008. *Curriculum Kieferorthopädie, 4. Auflage*, Berlin, Quintessenz Verlags-GmbH, 190-223.
- SHELLHART, W. C., LANGE, D. W., KLUEMPER, G. T., HICKS, E. P. & KAPLAN, A. L. 1995. Reliability of the Bolton tooth-size analysis when applied to crowded dentitions. *Angle Orthodontics*, 65, 327-334.
- SJOGREN, A. P., LINDGREN, J. E. & HUGGARE, J. A. 2010. Orthodontic study cast analysis-reproducibility of recordings and agreement between conventional and 3D virtual measurements. *Journal of Digital Imaging*, 23, 482-492.
- SONG, J. & KIM, M. 2020. Accuracy on Scanned Images of Full Arch Models with Orthodontic Brackets by Various Intraoral Scanners in the Presence of Artificial Saliva. *Biomed Research International*, 2020, 1-8.
- SOUSA, M. V., VASCONCELOS, E. C., JANSON, G., GARIB, D. & PINZAN, A. 2012. Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142, 269-273.
- STEVENS, D. R., FLORES-MIR, C., NEBBE, B., RABOUD, D. W., HEO, G. & MAJOR, P. W. 2006. Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129, 794-803.
- TALLARICO, M. 2020. Computerization and Digital Workflow in Medicine: Focus on Digital Dentistry. *Materials (Basel)*, 13, 1-5.

- TOMITA, Y., UECHI, J., KONNO, M., SASAMOTO, S., IJIMA, M. & MIZOGUCHI, I. 2018. Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning. *Dental Materials Journal*, 37, 628-633.
- VAN DER MEER, W. J., VISSINK, A. & REN, Y. 2016. Full 3-dimensional digital workflow for multicomponent dental appliances: A proof of concept. *Journal of American Dental Association*, 147, 288-291.
- WEINSTEIN, T., MARANO, G. & AULAKH, R. 2021. Five-to-five clear aligner therapy: predictable orthodontic movement for general dentist to achieve minimally invasive dentistry. *BMC Oral Health*, 21, 671.
- WHITE, L. W. & HOBBS, N. M. 1977. Accurate arch-discrepancy measurements. *American Journal of Orthodontics*, 72, 303-308.
- WOEHL, R., MAIER, J., GEHMERT, S., PALM, C., RIEBSCHLAEGER, B., NERLICH, M. & HUBER, M. 2018. 3D analysis of Osteosyntheses material using semi-automated CT segmentation: a case series of a 4 corner fusion plate. *BMC Musculoskeletal Disord*, 19, 1-8.
- XIAO, Z., LIU, Z. & GU, Y. 2019. Integration of digital maxillary dental casts with 3D facial images in orthodontic patients. *Angle Orthodontics*, 90, 397-404.
- ZILBERMAN, O., HUGGARE, J. A. V. & PARIKAKIS, K. A. 2003. Evaluation of the Validity of Tooth Size and Arch Width Measurements Using Conventional and Three-dimensional Virtual Orthodontic Models. *Angle Orthodontics*, 301-306.

8. Anhang

8.1 Messergebnisse Handmessung 2. Dentition

Tabelle 18. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer 2. Dentition (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken																	
	11	12	13	14	15	16	17	21	22	23	24	25	26	27	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	8,67	6,91	7,63	7,14	6,73	10,77	10	8,77	7,07	7,72	6,9	6,74	10,1	10,73	37,2	50	21,86	21,81
1.2	8,97	6,82	7,62	7,18	6,66	10,55	10,01	8,82	6,71	7,67	7,25	6,85	10,23	10,62	37	49	21,88	22,17
1.3	8,83	6,83	7,68	7,15	6,72	10,36	10,1	8,78	6,79	7,68	7,21	6,93	10,3	10,71	36,74	49,93	21,77	22,19
2.1	8,46	6,42	7,47	6,82	6,81	10,66	9,12	8,8	6,72	7,49	7,15	6,1	9,85	9,37	36	45	21,73	20,65
2.2	8,45	6,47	7,06	7,02	6,74	10,36	9,68	8,63	6,62	7,35	7,02	6,36	9,81	9,64	33	45	21,74	20,81
2.3	8,48	6,4	7,37	6,68	6,63	10,26	9,43	8,62	6,54	7,4	7,23	6,17	9,89	9,45	33,07	44,75	21,96	21,14
3.1	8,97	6,1	8,07	7,8	6,99	10,52	10	9,03	6,49	8,16	7,89	7,3	10,5	9,8	43	49	23,73	23,26
3.2	8,94	6,13	8,12	7,78	7,14	10,38	9,92	9,01	6,24	8,15	7,72	7,19	10,47	9,93	43	49	23,38	23,46
3.3	8,91	6,27	8,04	7,72	7,2	10,4	9,82	9,06	6,34	8,15	7,75	7,21	10,52	9,88	43,36	48,88	23,31	23,65
4.1	8,74	6,43	8,38	7,09	6,62	10,25	8,86	8,95	6,84	8,34	6,84	6,56	9,7	9,19	38,5	46	22,57	22,2
4.2	8,8	6,37	8,36	7,06	6,53	10,22	8,85	8,83	6,66	8,21	6,87	6,42	9,6	9,39	38	45	22,34	22,27
4.3	8,81	6,32	8,26	7,04	6,35	10,39	8,84	8,91	6,54	8,24	6,88	6,41	9,35	8,97	38,67	44,95	22,54	22,2
5.1	8,29	4,86	7,05	6,68	6,93	10,47	9,18	8,45	5,95	7,05	7,1	6,7	10,49	9,3	36	48	20,73	21,67
5.2	8,51	5,02	7	6,68	6,7	10,19	8,92	8,42	6,14	7,01	6,88	6,69	10,46	9,32	35	48	20,75	21,97
5.3	8,49	4,88	6,9	6,65	6,45	10,22	8,99	8,4	6,05	7,03	6,78	6,49	10,51	9,1	35,75	47,84	20,65	21,86
6.1	6,97	6,56	7,77	6,23	5,61	9,85	8,77	8,44	6,02	7,53	6,25	5,31	9,9	8,79	35,08	45,71	19,68	19,92
6.2	6,99	6,58	7,4	6,3	5,39	9,81	8,76	8,49	6,1	7,46	6,32	5,36	10,14	9,08	35,5	45	19,53	19,33
6.3	6,94	6,45	7,69	6,2	5,15	9,62	8,77	8,4	5,85	7,39	6,16	5,27	10,11	8,42	34,22	45,43	19,52	19,33
7.1	8,58	6,47	7,59	6,84	6,22	11,65	10,37	8,94	6,93	7,49	7,05	6,28	11,17	9,57	41	53	21,49	21,39
7.2	8,23	6,54	7,45	6,85	6,22	10,74	10,4	8,55	6,47	7,35	7,1	6,52	11,03	9,73	40	53	21,73	21,38
7.3	8,6	6,45	7,45	6,82	6,25	10,79	10,36	8,44	6,54	7,35	6,99	6,46	10,67	9,94	40,11	53,96	21,64	21,57
8.1	8,64	7,17	8,25	7,27	6,5	10,05	9,64	8,78	7,29	8,1	7,5	6,9	10,2	9,66	38	46	22,8	22,09
8.2	8,69	7,14	8,17	7,1	6,76	9,87	9,71	8,81	7,41	8,05	7,3	6,63	9,88	9,66	36	46	22,79	22,02
8.3	8,73	7,16	8,03	7,06	6,72	9,78	9,63	8,73	7,41	8,05	7,02	6,6	9,89	9,88	36,23	44,82	22,83	22,43
9.1	8,78	7,11	7,48	7,61	7,27	10,32	9,46	8,95	6,9	7,35	7,51	6,92	10,25	9,49	38	52,5	21,66	22,11
9.2	8,85	7,13	7,47	7,47	7,07	10,14	9,42	8,95	6,79	7,06	7,5	6,95	10,22	9,48	37	53	21,61	22,18
9.3	8,83	7,14	7,43	7,4	7	10,35	9,55	9,07	6,79	7,11	7,51	6,97	10,4	9,48	38,14	52,92	21,58	22,12
10.1	9,31	7,16	8,11	7,12	6,33	10,14	9,54	9,22	7,07	8,3	7,19	6,7	9,77	9,55	40	48	21,17	21,62
10.2	9,49	7,25	8,08	7,06	6,38	10,14	9,72	9,31	7,13	8,23	7,24	6,32	10	9,62	39	48	21,28	21,75
10.3	9,39	7,15	7,87	6,51	6,3	10,01	9,51	9,29	7,26	8,23	7,07	6,33	10,03	9,84	39,59	48,41	21,13	21,91

11-27 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, **VZB** Vordere Zahnbogenbreite, **HZB** Hintere Zahnbogenbreite, **SZ re/li** Stützzone rechts/links

Tabelle 19. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer 2. Dentition (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken																	
	31	32	33	34	35	36	37	41	42	43	44	45	46	47	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,36	6	6,59	7,56	7,63	11,64	10,42	4,92	5,8	6,74	7,18	7,63	11,02	10,27	36,5	51	21,33	21,12
1.2	4,98	6,06	6,48	7,43	7,67	11,55	10,31	5,17	5,99	6,67	7,2	7,63	11,51	10,51	34	51	21,71	21,44
1.3	5,24	5,93	6,57	7,42	7,67	11,75	10,2	5,19	6,06	6,56	7,1	7,71	11,5	10,2	33,94	49,84	21,56	21,57
2.1	5,44	5,71	6,64	6,44	6,49	9,48	9,34	5,64	6,06	6,11	6,7	6,63	9,88	9,45	32	46	20,79	20,1
2.2	5,52	5,86	6,69	6,5	6,49	9,49	9,44	5,49	5,99	6,12	6,67	6,83	9,64	9,62	32	46	20,85	20,01
2.3	5,38	5,74	6,54	6,34	6,49	9,46	9,21	5,67	5,83	6,16	6,82	6,66	9,67	9,52	31,2	45,03	21,05	20,38
3.1	5,66	6,15	6,7	7,31	7,46	11,63	10,11	5,77	6,43	6,77	7,55	7,6	11,8	10,22	39	50	22,02	22,38
3.2	5,94	6,24	6,66	7,38	7,57	11,75	10,24	5,6	6,36	6,83	7,5	7,57	11,69	9,75	38	49	22,28	22,13
3.3	5,66	6,19	6,6	7,34	7,53	11,74	10,3	5,56	6,25	6,7	7,56	7,5	11,81	9,89	37,76	48,98	22,32	22,19
4.1	5,43	6,46	7,06	7,13	7,25	11,02	9,1	5,37	6,33	7,04	7,32	6,99	10,96	9,7	36	54	21,66	20,59
4.2	5,46	6,58	7,1	7,12	7,03	11,02	9,29	5,39	6,3	7,22	7,04	6,99	11,16	9,33	36	53	21,88	20,27
4.3	5,45	6,56	7,1	7,09	6,94	10,76	8,85	5,38	6,33	7,14	6,86	7	11	9,29	34,91	52,53	21,63	20,89
5.1	5,04	5,27	5,84	6,6	6,81	10,29	9,73	4,96	5,67	5,71	6,33	7,1	10,33	10	33,2	47,2	19,52	19,77
5.2	5,03	5,42	5,8	6,41	6,6	10,46	9,42	5	5,69	6,11	6,76	7,1	10,56	9,9	32,72	47,04	19,54	19,76
5.3	5,05	5,23	5,85	6,56	6,54	10,33	9,61	5,01	5,66	6,08	6,69	6,98	10,39	9,73	32,03	47,38	19,82	19,83
6.1	4,69	5,05	6,44	5,95	5,53	10,29	10,7	4,95	5,55	6,44	5,87	6,03	10	9,97	31	43,5	18,74	18,88
6.2	4,59	5,13	6,39	5,88	5,69	10,32	10,15	4,98	5,51	6,47	5,89	5,69	10,19	10,01	31	44,5	18,99	18,8
6.3	4,5	5,07	6,52	6	5,59	10,14	10,06	4,96	5,57	6,49	5,92	5,64	10,1	9,78	29,6	43,93	18,79	18,62
7.1	4,73	5,72	6,08	6,61	7,2	11,16	10,08	5,19	5,51	6,46	6,94	6,80	11,07	10,25	35,5	52	21,27	21,32
7.2	4,8	5,77	6,88	7,02	6,8	11,33	9,93	5,2	5,54	6,44	7,01	6,72	11,37	10,12	37,5	52,5	21,11	21,28
7.3	4,94	5,74	6,38	7,2	6,84	11,39	9,88	5,21	5,46	6,63	6,96	6,96	11,44	9,98	36,12	52,27	21,43	21,53
8.1	5,46	6,15	7,05	7,41	7,92	11,11	10,81	5,46	6	7,38	7,73	7,71	10,64	10,8	35,5	46	22,52	22,03
8.2	5,42	6,24	6,96	7,43	7,44	10,7	10,28	5,52	6,08	7,32	7,38	7,3	10,61	10,72	35,5	46	22,67	22,17
8.3	5,38	6,16	6,96	7,36	7,6	10,66	10,3	5,27	5,95	7,25	7,42	7,41	10,59	10,52	34,32	46,05	22,69	22,33
9.1	5,99	6,02	6,55	7,46	7,47	10,91	10,14	5,81	6,13	6,57	7,23	7,38	10,95	10,1	36,54	52,07	21,25	20,05
9.2	5,88	6,04	6,59	7,52	7,23	11,24	10,03	5,62	6,25	6,34	7,33	7,42	10,78	10	37	51,5	21,31	20,11
9.3	5,86	6,11	6,62	7,51	7,04	11,27	10,12	5,7	6,2	6,44	7,22	7,33	10,92	10,24	36,15	51,74	21,21	20,22
10.1	6	6,69	7,18	6,68	6,62	10,36	10,37	5,87	6,56	7,08	7,16	7,06	10,85	10,35	36,5	46	21,31	20,75
10.2	6	6,66	7,3	6,67	6,54	11,06	10,35	5,85	6,52	7	6,7	6,79	10,89	10,2	36	47	21,31	20,82
10.3	5,92	6,66	7,09	6,51	6,78	10,93	10,28	5,82	6,46	6,85	6,73	6,75	10,76	10,33	35	46,56	21,14	20,62

31-47 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.2 Messergebnisse Zirkonzahn 2. Dentition

Tabelle 20. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer 2. Dentition (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholungen	Messstrecken																	
	11	12	13	14	15	16	17	21	22	23	24	25	26	27	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	8,85	6,8	7,69	7,23	6,62	10,61	10,11	8,81	7,13	7,71	7,29	6,9	10,48	10,77	37,1	49,91	22,51	22,65
1.2	8,78	6,8	7,64	7,21	6,74	10,59	10,08	8,8	7,08	7,65	7,21	6,99	10,53	10,63	37,31	50,9	22,35	22,37
1.3	8,82	6,79	7,62	7,31	6,52	10,4	10,03	8,73	7,06	7,65	7,23	6,94	10,6	10,61	37,11	49,32	22,35	22,53
2.1	8,48	6,57	7,31	7,09	6,34	10,64	9,65	8,55	6,54	7,3	7,18	6,34	10,03	9,55	33,26	44,98	21,89	20,97
2.2	8,41	6,51	7,36	6,96	6,65	10,66	9,82	8,48	6,53	7,37	7,03	6,34	10,05	9,54	32,49	44,11	22,02	20,81
2.3	8,45	6,32	7,56	6,63	6,19	10,58	9,99	8,53	6,64	7,33	7,08	6,41	10,25	9,58	32,09	44,36	22,42	20,84
3.1	9,02	6,44	8,17	7,85	7,14	10,74	9,91	9,07	6,24	8,12	7,83	7,36	10,95	9,78	43,3	49,7	23,86	23,72
3.2	9	6,45	8,13	7,78	7,11	10,59	9,61	9,05	6,2	8,06	7,66	7,29	10,82	10,2	43,46	49,4	23,42	23,51
3.3	8,96	6,4	8,16	7,8	7,08	10,66	9,55	8,95	6,21	8,1	7,71	7,21	10,72	10,26	43,11	48,66	23,37	23,07
4.1	8,66	6,38	8,32	7,06	6,53	10,15	9,1	8,9	6,62	8,24	7,11	6,52	9,94	9,41	37,59	45,43	22,37	22,48
4.2	8,62	6,39	8,3	7,19	6,48	10,48	9,06	8,82	6,67	8,12	7,13	6,43	9,93	9,49	37,26	45,66	22,2	22,54
4.3	8,73	6,42	8,29	7,12	6,57	10,27	8,95	8,87	6,69	8,17	7,14	6,32	9,85	8,88	37,92	45,12	22,55	22,26
5.1	8,48	4,91	7,09	6,76	6,84	10,28	9,35	8,45	5,9	7,14	6,95	6,64	10,29	9,23	35,33	48,39	21,09	22,3
5.2	8,51	4,93	7,01	6,75	6,61	10,29	9,31	8,46	5,93	7,24	6,74	6,42	10,53	9,31	35,37	48,19	21,06	22,16
5.3	8,55	4,91	7,13	6,71	6,79	10,01	9,58	8,5	5,97	7,07	6,86	6,61	10,43	9,3	35,37	47,52	20,74	22,34
6.1	7,03	6,45	7,72	6,3	5,41	10,05	9	8,38	6,21	7,5	6,18	5,27	9,74	8,91	33,72	46,09	19,75	19,36
6.2	7,07	6,46	7,83	6,19	5,43	10,05	8,91	8,3	5,97	7,47	6,28	5,23	9,75	8,81	33,98	46,16	19,59	19,52
6.3	7,03	6,53	7,88	6,1	5,41	10	9,05	8,22	6,03	7,5	6,28	5,14	9,6	8,93	33,97	46,18	19,63	19,55
7.1	8,43	6,57	7,42	7,19	6,48	11,15	10,05	8,52	6,54	7,43	7,12	6,53	11,19	9,58	39,81	53,66	21,39	21,64
7.2	8,46	6,57	7,57	7,17	6,55	11,11	9,71	8,51	6,56	7,37	7,21	6,55	11,04	9,9	39,43	53,9	21,67	21,71
7.3	8,51	6,56	7,28	7,16	6,59	11,4	9,64	8,47	6,51	7,22	7,21	6,34	11,06	9,99	39,11	53,4	21,89	21,71
8.1	8,63	7,18	8,14	7,16	6,84	10,11	9,72	8,92	7,39	8,02	7,16	6,67	10,27	9,81	36,2	45,94	22,82	22,37
8.2	8,78	7,06	8,18	7,14	6,88	10,09	9,75	8,84	7,43	8,04	7,16	6,63	10,2	9,8	36,08	45,06	22,97	22,56
8.3	8,69	7,25	8,16	7,15	6,94	10,12	9,71	8,88	7,45	8,12	7,2	6,71	10,2	9,95	36,26	44,9	23,06	22,36
9.1	8,99	7,35	7,41	7,36	7,26	10,56	9,76	9,06	6,74	7,28	7,53	7,09	10,12	9,72	37,71	53,66	22	22,03
9.2	8,89	7,4	7,42	7,38	7,16	10,3	9,67	9,06	6,84	7,33	7,41	7,06	10,17	9,75	37,82	53,45	22,09	22,05
9.3	8,86	7,26	7,46	7,44	7,03	10,34	9,62	9,06	6,87	7,41	7,57	7,15	10,12	9,9	37,55	53,4	21,92	22,34
10.1	9,27	7,27	8,2	7,02	6,27	10,25	9,98	9,44	7,16	8,31	6,89	6,37	10,04	9,56	39,18	48,2	21,33	21,78
10.2	9,3	7,24	8,17	6,98	6,32	10,2	9,87	9,39	7,17	8,37	6,9	6,32	10,18	9,58	39,35	48,57	21,38	22,09
10.3	9,31	7,2	8,26	7,1	6,41	10,2	9,89	9,41	7,37	8,4	7	6,31	10,2	9,76	39,1	48,05	21,44	21,92

11-27 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

Tabelle 21. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer 2. Dentition (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken																	
	31	32	33	34	35	36	37	41	42	43	44	45	46	47	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,44	6,04	6,43	7,29	7,65	11,42	10,48	5,1	5,99	6,76	7,27	7,52	11,59	10,72	33,46	49,64	21,14	22,15
1.2	5,4	5,94	6,34	7,27	7,61	11,47	10,33	5,13	5,95	6,69	7,18	7,6	11,43	10,66	33,25	49,74	21,18	21,76
1.3	5,42	6,04	6,39	7,26	7,21	11,65	10,33	5,18	6	6,75	7,03	7,53	11,25	10,44	33,17	49,5	21,8	22,64
2.1	5,44	5,89	6,74	6,51	6,66	9,64	9,55	5,72	6	6,24	6,69	6,96	9,93	9,66	31,38	45,3	21,44	20,66
2.2	5,49	5,85	6,71	6,45	6,48	9,52	9,57	5,71	6,02	6,25	6,64	6,97	9,97	9,57	31,45	44,61	21,14	20,17
2.3	5,72	5,89	6,74	6,56	6,54	9,5	9,55	5,65	6,03	6,2	6,73	6,9	9,79	9,64	31,23	44,14	21,33	20,34
3.1	5,87	6,32	6,84	7,56	7,74	11,79	10,37	5,78	6,41	6,97	7,68	7,6	11,75	9,53	38,41	48,84	22,48	22,33
3.2	5,73	6,39	6,73	7,45	7,76	11,72	10,33	5,81	6,41	6,98	7,63	7,61	11,74	9,93	38,09	48,85	22,51	22,4
3.3	5,8	6,38	6,79	7,52	7,7	11,47	10,39	5,64	6,47	6,9	7,6	7,73	11,61	9,87	38,38	48,83	22,52	22,55
4.1	5,46	6,46	7,1	7,1	7,15	11,13	9,43	5,42	6,41	7	6,87	7,02	10,76	9,29	36,02	52,01	22,31	20,65
4.2	5,5	6,43	7,17	6,96	7,22	11,14	9,23	5,32	6,41	6,99	6,76	7,03	10,89	9,24	35,99	52,05	22,27	20,55
4.3	5,54	6,32	7,22	6,95	7,18	10,95	9,18	5,41	6,41	6,98	6,76	7,11	11,19	9,31	35,97	51,91	22,56	20,96
5.1	5,26	5,16	5,94	6,62	6,9	10,46	9,61	5,11	5,78	5,76	6,77	6,93	10,53	9,65	32,28	47,82	19,52	20,44
5.2	5,17	5,27	5,72	6,62	6,83	10,39	9,47	5,19	5,78	5,78	6,36	6,89	10,53	9,67	32,06	47,68	19,45	20,27
5.3	5,05	5,47	5,59	6,83	6,87	10,61	9,6	5,03	5,79	5,81	6,75	7,02	10,51	9,7	32,79	47,74	19,64	20,06
6.1	4,73	5,18	6,5	5,88	5,82	10,36	10,33	5,05	5,59	6,48	6,11	6,04	10,2	10,07	29,88	43,82	19,14	19,15
6.2	4,67	5,14	6,56	6,05	5,88	10,39	10,37	5,06	5,6	6,47	6,05	6,05	10,29	10,07	29,83	43,75	19,06	19,14
6.3	4,67	5,2	6,43	5,91	5,79	10,45	10,52	5,05	5,56	6,57	6,08	5,98	10,23	10,2	29,73	43,85	19,17	19,29
7.1	4,95	5,85	6,53	7,03	7,17	11,59	10,13	5,28	5,7	6,83	6,81	6,69	11,7	10,22	35,87	52,67	21,48	21,61
7.2	4,99	5,77	6,45	7,12	7,21	11,38	10,06	5,4	5,71	6,69	6,69	6,7	11,63	10,12	35,21	52,63	21,57	21,8
7.3	4,84	5,89	6,54	7,15	7,19	11,54	10,08	5,34	5,67	6,54	6,59	6,56	11,66	10,22	35,26	52,69	21,5	21,71
8.1	5,44	6,39	7,29	7,34	7,73	10,89	10,6	5,49	6,15	7,41	7,48	7,45	10,47	10,66	35,05	46,45	22,5	21,8
8.2	5,5	6,36	7,32	7,27	7,52	10,83	10,59	5,49	6,23	7,37	7,66	7,35	10,38	10,66	34,72	46,48	22,68	21,95
8.3	5,42	6,34	7,1	7,44	7,54	10,91	10,83	5,51	6,25	7,29	7,45	7,32	10,72	10,65	34,14	46,03	22,72	21,83
9.1	6,07	6,15	6,64	7,49	7,32	11	10,03	5,91	6,22	6,6	7,26	7,32	10,78	9,82	36,33	51,89	21,48	19,97
9.2	6,02	6,14	6,6	7,45	7,3	10,93	10,06	5,84	6,18	6,39	7,31	7,3	10,96	10,11	36,02	51,85	21,01	19,86
9.3	6,08	6,15	6,87	7,57	7,23	10,79	10,1	5,91	6,25	6,52	7,15	7,16	11,06	10,08	35,78	51,79	21,49	19,31
10.1	6,09	6,73	7,34	6,76	6,9	11,13	10,1	5,92	6,76	7,03	6,75	6,79	10,9	10,27	36,25	46,81	21,16	20,73
10.2	6,08	6,68	7,39	6,68	6,91	10,96	10,25	5,93	6,71	7,05	6,77	6,82	11,02	10,02	35,96	46,72	22,1	20,64
10.3	6,03	6,75	7,52	6,71	6,94	11,06	10,43	5,92	6,77	7,02	6,8	6,8	11,03	10,1	35,78	46,68	21,62	21,18

31-47 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.3 Messergebnisse 3Shape 2. Dentition

Tabelle 22. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer 2. Dentition (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken																	
	11	12	13	14	15	16	17	21	22	23	24	25	26	27	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	8,69	6,68	7,63	7,05	6,67	10,68	10,36	8,68	6,9	7,69	7,09	6,81	10,41	10,7	37,06	50,8	22,1	22,26
1.2	8,82	6,72	7,65	7,03	6,67	10,75	9,97	8,79	7	7,6	7,09	6,87	10,48	10,7	36,94	50,63	22,34	22,4
1.3	8,84	6,72	7,56	7,01	6,68	10,74	10,08	8,66	7,04	7,53	7,08	6,87	10,6	10,65	36,6	50	22,27	22,36
2.1	8,24	6,22	6,93	7,21	6,27	10,17	9,4	8,35	6,25	7,46	7,1	6,41	10,05	9,69	34,26	45,74	22,16	21,37
2.2	8,25	6,24	7,03	6,82	6,6	10,22	9,34	8,39	6,16	7,39	6,94	6,43	10,17	9,67	32,62	45,77	22,22	20,77
2.3	8,34	6,34	7,09	6,83	6,37	10,39	9,32	8,51	6,46	7,29	6,97	6,47	10,17	9,7	32,46	45,74	22,15	20,6
3.1	8,73	6,29	8,04	7,74	7,06	10,45	9,89	8,97	6,39	8,17	7,69	7,23	10,52	9,73	41,12	50,45	23,76	23,8
3.2	8,87	6,38	8,18	7,62	7,07	10,57	9,94	8,94	6,42	8,04	7,77	7,3	10,54	9,93	43,55	50,15	22,63	22,88
3.3	8,86	6,37	8,04	7,81	7,15	10,7	9,96	8,95	6,41	8,01	7,77	7,35	10,5	9,94	43,53	50,15	22,73	23,4
4.1	8,35	6,42	8,03	7,1	6,41	10,19	8,56	8,79	7,01	8,14	6,63	6,3	9,83	8,98	36,3	45,41	22,94	22,6
4.2	8,4	6,41	8,03	7,22	6,41	10,16	8,61	8,69	6,86	7,89	6,94	6,25	9,71	8,89	37,48	45,18	22,42	22,43
4.3	8,55	6,42	8,19	7,21	6,4	10,15	8,66	8,6	6,69	7,95	7,05	6,35	9,97	9	36,97	45,17	22,31	22,34
5.1	8,08	4,7	6,83	6,72	6,69	10,43	9,39	8,08	5,84	7,01	6,95	6,66	10,53	9,86	34,25	48,33	21,43	22,65
5.2	8,19	4,88	6,7	6,77	6,58	10,21	9,25	8,38	5,82	7,16	6,76	6,49	10,51	9,33	35,45	48,33	21,14	22,32
5.3	8,27	4,8	6,9	6,77	6,7	10,26	9,35	8,41	5,77	7,19	6,75	6,48	10,52	9,33	35,42	47,73	21,24	22,34
6.1	7,01	6,25	7,45	6,18	5,31	10,04	8,97	8,23	6,11	7,32	6,16	5,36	10,05	8,87	32,35	45,32	20,27	20,21
6.2	7,04	6,37	7,58	6,13	5,47	10,07	8,87	8,2	5,9	7,27	6,18	5,3	10,05	8,66	33,46	45,1	19,71	19,45
6.3	7,09	6,46	7,47	6,12	5,31	9,97	9,04	8,23	5,98	7,32	6,16	5,21	10,01	8,82	33,45	45,87	19,7	19,66
7.1	8,39	6,31	7,65	7,19	6,7	11,37	10,28	8,44	6,43	7,29	7,24	6,48	11,33	10,02	38,3	54,93	22,06	22,32
7.2	8,19	6,55	7,62	7,15	6,4	11,3	9,87	8,38	6,35	7,31	7,18	6,45	11,17	9,8	39,04	54,27	22,05	22,01
7.3	8,31	6,39	7,47	7,17	6,35	11,34	9,98	8,33	6,41	7,34	7,15	6,49	11,31	10,02	39,04	53,28	21,74	21,87
8.1	8,64	6,93	8,14	7,07	7,15	10,08	9,92	8,71	7,64	7,98	7,01	6,66	9,99	10,05	35,81	45,33	22,61	22,63
8.2	8,63	6,98	8,12	7,08	7,06	10,24	9,97	8,61	7,38	8,14	7,08	6,7	9,91	10,05	36,08	44,75	22,93	22,21
8.3	8,7	7,06	8,14	7,02	7,04	10,2	9,93	8,64	7,42	8,13	7,1	6,68	10,08	10,04	36,02	44,72	23	22,21
9.1	8,89	7,3	7,14	7,45	7,18	11,14	9,71	9,05	7,01	7,27	7,48	7,31	10,25	9,94	36,86	53,76	22,16	22
9.2	8,95	7,17	7,24	7,25	7,14	11,06	9,82	9,01	6,97	7,35	7,44	7,17	10,28	9,91	37,47	53,76	21,99	22,42
9.3	8,89	7,41	7,34	7,37	7,12	11,06	9,79	8,92	7,01	7,25	7,47	7,1	10,28	9,91	37,95	53,13	21,74	22,25
10.1	9,37	7,33	7,69	7,34	6,51	10,46	10,17	9,32	7,35	8,14	6,85	6,43	9,65	9,52	37,23	48,83	22,18	22,17
10.2	9,25	7,26	7,69	7,13	6,38	10,33	10,13	9,37	7,38	8,2	6,85	6,31	10,32	9,63	39,37	48,46	21,51	21,95
10.3	9,3	7,27	7,74	7,1	6,48	10,34	10,22	9,29	7,33	8,29	6,99	6,35	10,36	9,92	39,29	48,08	21,19	21,73

11-27 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

Tabelle 23. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer 2. Dentition (3Shape)

Modell und Messwiederholungen	Messstrecken																	
	31	32	33	34	35	36	37	41	42	43	44	45	46	47	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,3	5,99	6,43	7,43	7,66	11,86	10,55	4,84	6	6,42	7,12	7,32	11,62	10,61	34,28	49,39	21,75	21,5
1.2	5,38	5,85	6,39	7,52	7,67	11,59	10,6	4,75	5,94	6,5	7,15	7,47	11,58	10,59	33,83	49,39	21,62	21,71
1.3	5,37	5,9	6,48	7,44	7,53	11,55	10,49	4,65	5,91	6,51	7,01	7,47	11,63	10,57	33,3	49,53	21,36	21,14
2.1	5,46	5,83	6,66	6,45	6,85	9,85	9,67	5,43	5,59	6,35	6,59	6,5	10,01	9,89	31,54	45,49	21,37	20,64
2.2	5,47	5,7	6,5	6,58	6,5	9,8	9,51	5,49	5,69	6,21	6,74	6,54	9,99	10,1	31,13	44,43	21,21	20,3
2.3	5,37	5,72	6,47	6,47	6,54	9,69	9,61	5,58	5,66	6,27	6,74	6,61	9,97	9,71	31,62	43,43	21,23	20,92
3.1	5,73	6,15	6,96	7,51	7,65	11,76	10,43	5,51	6,24	6,86	7,57	7,55	11,68	9,37	38,07	48,91	22,79	22,83
3.2	5,73	6,24	6,96	7,58	7,68	11,53	10,41	5,7	6,25	6,8	7,5	7,53	11,59	9,58	38,59	48,92	22,26	22,18
3.3	5,73	6,16	6,86	7,46	7,67	11,74	10,51	5,7	6,25	6,92	7,43	7,53	11,51	9,81	38,69	48,77	22,12	22,13
4.1	5,2	5,93	6,91	7,18	7,24	11,48	9,15	5,36	5,92	6,86	6,99	7,02	11,56	9,39	35,28	52,25	22,51	21,25
4.2	5,41	6,54	6,89	7,07	7,1	11,3	9,17	5,36	6,15	6,85	6,92	7,02	11,12	9,43	35,3	51,94	21,79	20,46
4.3	5,37	6,46	7,02	7,03	7,1	11,14	9,16	5,4	6,22	6,95	6,83	7,02	11,35	9,49	35,76	51,93	21,884	20,41
5.1	5,05	5,41	5,76	6,61	6,84	10,72	10	5,28	5,41	5,59	6,34	6,99	10,87	9,77	31,99	47,65	20,18	20,27
5.2	5	5,33	5,81	6,62	6,81	10,47	9,77	5,13	5,53	5,5	6,6	6,99	10,62	9,48	31,93	47,74	19,7	20,13
5.3	5,03	5,28	5,81	6,47	6,86	10,39	9,71	5,12	5,38	5,49	6,51	6,94	10,25	9,78	31,99	47,44	19,7	20,1
6.1	4,68	5,13	6,43	6,06	5,82	10,55	9,92	5,04	5,19	6,73	6,07	6,04	10,4	10,28	30,44	44,24	19,69	19,75
6.2	4,62	5,12	6,43	5,94	5,68	10,49	10,13	5,04	5,51	6,62	6,12	5,98	10,19	10,29	30,05	44,08	19,06	18,95
6.3	4,54	5,14	6,32	5,9	5,66	10,27	10,27	5,04	5,5	6,58	6,05	5,9	10,15	10,22	29,98	44,08	19,28	18,69
7.1	4,88	5,73	6,44	7,23	7,25	11,63	10,51	5,37	5,49	6,24	6,82	7,22	11,87	10,24	36,48	52,8	21,49	21,97
7.2	4,78	5,73	6,53	7,19	7,33	11,47	10,2	5,36	5,44	6,42	6,78	7,24	11,6	10,02	36,11	52,7	21,04	21,84
7.3	4,87	5,73	6,32	7,1	7,27	11,34	10,19	5,42	5,39	6,45	6,73	7,16	11,7	10,19	36,09	52,73	21,04	21,71
8.1	5,23	6,31	7,04	7,32	7,78	10,89	10,9	5,61	6,01	7,31	7,41	7,36	10,71	11,08	34,26	46,8	22,92	22,36
8.2	5,26	6,31	7,1	7,4	7,61	10,95	10,75	5,59	6,07	7,34	7,47	7,43	10,71	10,7	34,79	46,55	22,74	22
8.3	5,26	6,32	7,28	7,31	7,61	10,9	10,7	5,5	6,05	7,35	7,33	7,41	10,73	11,01	34,23	46,63	22,71	22,09
9.1	6	6,21	6,42	7,05	7,31	11,25	10,18	5,88	6,3	6,62	7,33	7,39	11,07	10,42	36	51,82	21,10	20,56
9.2	6,05	6,17	6,49	7,28	7,41	10,89	10,05	5,84	6,31	6,51	7,36	7,31	11,03	10,15	36,4	51,74	20,82	20,01
9.3	6,03	6,28	6,54	7,38	7,46	11,19	10,16	6,01	6,19	6,45	7,34	7,36	11,08	10,43	36,06	51,57	20,78	19,9
10.1	5,97	6,92	7,13	6,71	7,05	11,22	9,96	6,08	6,72	7,13	6,91	7,04	10,87	10,25	36,07	46,83	21,40	20,72
10.2	6,09	6,72	7,15	6,57	6,95	11,13	9,98	6,03	6,63	6,98	6,88	7,08	10,94	10,24	36,31	46,73	20,97	20,67
10.3	6,09	6,72	7,42	6,6	6,95	11,04	10,46	5,98	6,45	7,14	6,99	7,12	10,95	10,33	36,06	46,79	21,45	20,7

31-47 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.4 Messergebnisse Handmessung spätes Wechselgebiss

Tabelle 24. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer spätes Wechselgebiss (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	11	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	26	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	8,99	7,06	/	/	/	10,92	8,93	7,11	/	/	/	10,12	/	48	23,31	23,86
1.2	8,93	6,97	/	/	/	10,47	8,96	7,15	/	/	/	10,34	/	48,69	23,35	23,9
1.3	9,06	7,21	/	/	/	10,22	8,94	6,97	/	/	/	10,26	/	48,27	23,55	23,78
2.1	9,84	7,03	/	/	7	11,01	9,54	7,17	8,72	6,91	6,82	10,93	37	47	21,62	23,26
2.2	9,64	7,13	/	/	6,98	10,88	9,65	7,15	8,65	7,24	6,83	10,81	37,42	47,1	21,67	23,36
2.3	9,53	7,03	/	/	7	10,66	9,56	7,14	8,69	7,28	6,81	11,08	37,04	47,22	21,69	23,11
3.1	8,77	7,31	/	/	/	10,68	8,59	6,7	/	/	/	10,68	/	48	22,15	22,04
3.2	8,74	7,3	/	/	/	10,21	8,57	6,7	/	/	/	10,22	/	48,03	22,24	21,97
3.3	8,9	7,37	/	/	/	10,15	8,44	6,75	/	/	/	10,24	/	47,89	22,14	22,06
4.1	7,9	5,56	7,67	6,41	5,55	11,16	8,04	5,51	7,8	6,64	6	10,26	34	44	22,22	22,19
4.2	7,98	5,59	7,74	6,46	5,66	10,14	8	5,53	7,85	6,44	5,93	10,15	33,05	44,34	22,04	22,12
4.3	8,04	5,64	7,65	6,42	5,67	10,43	7,9	5,55	7,86	6,35	5,96	10,22	33,03	43,85	22,23	22,7
5.1	8,45	4,45	/	/	/	10,11	8,68	5,83	/	/	/	10,07	/	50	22,61	23,49
5.2	8,62	4,75	/	/	/	9,46	8,64	5,8	/	/	/	10,01	/	49,1	22,6	23,36
5.3	8,57	4,72	/	/	/	9,39	8,6	5,94	/	/	/	9,87	/	49,13	23,34	23,72
6.1	8,97	7,29	/	/	/	10,48	9,34	7,54	/	/	/	11,06	/	52	23,2	20,08
6.2	8,99	7,27	/	/	/	10,12	9,39	7,43	/	/	/	10,73	/	51,38	23,39	19,86
6.3	9,01	7,55	/	/	/	10,13	9,36	7,38	/	/	/	10,78	/	51,21	23,5	20,66
7.1	8,76	6,35	/	6,89	6,9	10,43	8,69	6,33	/	6,81	/	9,94	/	45	24,87	24,19
7.2	8,76	6,3	/	6,94	6,48	9,61	8,6	6,25	/	6,81	/	10,35	/	45,55	24,98	24,25
7.3	8,6	6,21	/	6,91	6,69	10,01	8,59	6,2	/	6,87	/	10,08	/	45,99	24,8	24,66
8.1	8,7	6,85	/	/	/	10,73	8,48	7,4	/	/	/	10,27	/	44	22,16	23,34
8.2	8,58	6,87	/	/	/	10,64	8,49	7,45	/	/	/	10,25	/	43,98	22,23	23,4
8.3	8,53	6,89	/	/	/	10,35	8,5	7,29	/	/	/	10,24	/	44,19	22,49	23,6
9.1	9,03	5	6,71	6,82	/	10,35	8,92	5,7	6,6	6,6	/	11	34,78	47	21,76	21,75
9.2	9,03	5,03	6,74	6,51	/	10,18	9,01	5,84	6,55	6,53	/	10,79	34,59	47,64	21,96	22
9.3	9,05	5,11	6,7	6,72	/	10,21	9,06	5,45	6,5	6,49	/	10,39	35,03	47,1	21,89	21,89
10.1	8,85	7,12	8,3	7,12	/	10,16	8,62	6,72	7,69	6,97	6,95	10,2	36	45	22,08	22,09
10.2	8,83	6,77	8,05	7,1	/	10,15	8,63	6,63	7,8	7,16	6,97	10,16	34,79	44,79	21,97	22,02
10.3	8,74	6,92	7,83	7,27	/	9,89	8,48	6,32	7,64	7,12	7,15	10,08	34,68	45,11	22,8	21,79

11-26 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

Tabelle 25. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer spätes Wechselgebiss (Handmessung)

Modelle und Messwiederholungen	Messstrecken															
	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,4	5,66	/	/	/	11	5,37	5,75	/	/	/	11,26	/	46,3	24,56	25,32
1.2	5,38	5,71	/	/	/	11,06	5,24	5,65	/	/	/	11,16	/	47,71	24,29	24,86
1.3	5,31	5,64	/	/	/	11	5,2	5,62	/	/	/	11,45	/	47,66	24,02	25,05
2.1	6,01	6,47	7,88	7,37	7,24	10,84	5,85	6,49	7,76	7,61	7,4	10,42	36	47	23,22	23,4
2.2	6,11	6,38	7,93	7,25	7,18	10,88	5,87	6,25	7,67	7,41	7,41	10,46	35,59	47,06	23,11	23,7
2.3	6,07	6,39	8,17	7,52	7,25	10,99	5,73	6,21	7,66	7,24	7,26	10,87	36,19	47,42	23,26	23,92
3.1	5,49	5,63	/	7,07	/	9,79	5,42	5,95	6,06	6,9	7,07	10,33	/	48	21,97	22,92
3.2	5,41	5,65	/	7,11	/	9,85	5,39	5,88	6,1	6,82	6,66	10,35	/	48,5	22,23	22,59
3.3	5,26	5,63	/	7,19	/	10,33	5,37	5,79	6,04	6,92	7,03	10,41	/	48,83	21,96	22,72
4.1	5,5	6,18	/	6,98	6,52	9,95	5,52	6,32	/	6,79	6,77	9,84	29	42	17,28	18,4
4.2	5,52	6,4	/	7,08	6,48	9,92	5,52	6,38	/	6,96	6,33	9,82	29,06	42,69	17,41	18,17
4.3	5,53	6,54	/	7,04	6,48	9,87	5,52	6,23	/	7,03	6,32	9,81	29,39	42,40	17,7	18,76
5.1	4,88	5,51	/	/	/	9,48	4,94	5,6	/	/	/	9,52	/	50	22,95	22,38
5.2	4,92	5,48	/	/	/	9,4	4,92	5,55	/	/	/	9,54	/	49,55	22,82	22,32
5.3	4,88	5,47	/	/	/	9,14	4,96	5,59	/	/	/	9,43	/	49,26	22,74	22,41
6.1	5,65	5,93	/	/	/	10,95	5,66	5,96	/	/	/	11,26	/	50	23,72	22,4
6.2	5,75	5,91	/	/	/	11,1	5,51	5,93	/	/	/	11,16	/	50,78	23,41	22,35
6.3	5,72	5,96	/	/	/	11,28	5,55	5,82	/	/	/	11,24	/	51,36	23,36	22,63
7.1	5,79	6,16	7,08	6,7	/	10,12	5,79	5,99	7,07	7,15	/	10,2	/	46	24,24	24,19
7.2	5,89	6,14	7,17	6,88	/	9,94	5,7	5,98	6,84	6,85	/	10,2	/	46,22	24,01	23,67
7.3	5,64	6,06	7,06	7,01	/	10,08	5,59	6,01	6,94	6,82	/	10,08	/	46,75	24,14	24,77
8.1	5,51	6,22	/	/	/	9,74	5,53	5,87	/	/	/	9,17	/	44	22,97	22,53
8.2	5,34	6,09	/	/	/	9,75	5,5	5,76	/	/	/	9,17	/	44,53	22,65	22,12
8.3	5,26	6,02	/	/	/	10,1	5,47	5,83	/	/	/	9,17	/	44,43	22,93	22,39
9.1	5,95	6,14	/	/	/	9,55	5,75	5,86	/	/	/	9,61	/	48	23,18	22,4
9.2	5,43	6,11	/	/	/	9,71	5,85	5,83	/	/	/	9,6	/	48,2	23,1	22,52
9.3	5,56	6,12	/	/	/	9,87	5,72	5,82	/	/	/	9,43	/	47,97	23,03	23,18
10.1	5,14	5,52	7,21	6,98	/	9,87	5,08	6,11	6,73	7,09	7,17	10,29	/	43	22,65	23,31
10.2	5,21	5,58	7,29	6,96	/	9,66	5,33	6,09	6,74	7,22	7,27	10,2	/	43,37	22,26	23,44
10.3	5,24	5,64	7,37	7,16	/	9,75	5,5	6,09	6,79	7,33	7,45	10,09	/	43,8	23,07	23,65

31-46 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.5 Messergebnisse Zirkonzahn spätes Wechselgebiss

Tabelle 26. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer spätes Wechselgebiss (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	11	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	26	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	9,08	7,1	/	/	/	10,45	9,04	7,21	/	/	/	10,32	/	48,66	24,04	24,55
1.2	9,07	7,14	/	/	/	10,5	9,03	7,19	/	/	/	10,38	/	48,03	24,32	24,68
1.3	9,1	7,28	/	/	/	10,86	8,95	7,33	/	/	/	10,57	/	48,12	24,25	24,43
2.1	9,61	7,05	/	/	7,1	10,61	9,86	7,17	8,59	7,2	7,12	10,93	37,87	46,33	21,48	23,27
2.2	9,67	7,16	/	/	7,17	10,57	9,78	7,16	8,56	7,25	7,09	11,03	37,79	46,13	22,14	23,11
2.3	9,48	7,46	/	/	7,16	10,67	9,78	7,31	8,59	7,22	7,08	11,19	36,67	46,43	21,68	23,4
3.1	8,76	7,3	/	/	/	10,88	8,69	6,74	/	/	/	10,59	/	47,58	22,77	22,04
3.2	8,78	7,36	/	/	/	10,79	8,7	6,89	/	/	/	10,6	/	47,93	22,8	22,36
3.3	8,76	7,2	/	/	/	11,08	8,65	6,81	/	/	/	10,56	/	47,27	22,94	22,55
4.1	8,07	5,62	7,74	6,53	5,86	10	8,01	5,8	7,71	6,57	5,93	10,07	33,06	44,55	21,98	22,05
4.2	8,01	5,61	7,67	6,45	5,82	10,15	7,95	5,88	7,66	6,55	5,91	10,14	33,02	44,74	22,14	22,28
4.3	7,97	5,61	7,82	6,52	5,83	10,28	7,82	5,78	7,65	6,5	5,96	10,1	32,94	44,76	22,17	22,22
5.1	8,58	4,44	/	/	/	9,42	8,67	6,05	/	/	/	10,01	/	50,03	22,84	23,35
5.2	8,52	4,59	/	/	/	9,37	8,67	6,05	/	/	/	10,12	/	50,21	23,04	23,57
5.3	8,58	4,6	/	/	/	9,23	8,63	6,06	/	/	/	10,09	/	50	23,04	23,65
6.1	9,12	7,18	/	/	/	10,73	9,4	7,28	/	/	/	10,64	/	52,44	23,59	20,61
6.2	9,08	7,09	/	/	/	10,52	9,38	7,16	/	/	/	10,6	/	52,71	23,99	20,44
6.3	9,02	7,22	/	/	/	10,71	9,33	7,13	/	/	/	10,65	/	52,83	23,76	20,12
7.1	8,75	6,3	/	7,08	6,7	9,52	8,66	6,32	/	/	/	9,95	/	46,47	24,51	24,67
7.2	8,69	6,35	/	7,13	6,72	9,55	8,68	6,33	/	/	/	9,96	/	46,84	24,62	24,98
7.3	8,64	6,44	/	7,03	6,79	9,63	8,71	6,41	/	/	/	10,01	/	46,51	24,62	24,77
8.1	8,6	6,86	/	/	/	10,41	8,41	7,32	/	/	/	10,28	/	43,73	22,36	23,51
8.2	8,83	6,53	/	/	/	10,47	8,44	7,44	/	/	/	10,27	/	43,84	22,34	23,69
8.3	8,67	6,7	/	/	/	10,49	8,5	7,43	/	/	/	10,37	/	43,57	22,6	23,61
9.1	8,98	5,28	6,98	6,51	/	10,52	9,07	5,82	6,74	/	/	10,55	34,75	47,22	22,27	22,37
9.2	9,05	5,32	7	6,44	/	10,41	9	5,79	6,73	/	/	10,21	34,86	47,37	22,39	22,35
9.3	9,11	5,29	7,01	6,41	/	10,58	9,03	5,6	6,73	/	/	10,55	34,64	47,41	22,12	22,29
10.1	8,76	6,69	8,09	7,27	/	9,51	8,6	6,9	7,69	7,27	7,08	10,3	34,57	44,71	22,28	21,75
10.2	8,75	6,69	8,03	7,17	/	9,78	8,53	6,66	7,82	7,13	7,01	10,19	34,93	45	21,84	21,77
10.3	8,88	6,93	8,24	7,28	/	9,81	8,63	6,6	7,8	7,19	7,18	10,18	34,72	44,89	22,41	21,54

11-26 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, **VZB** Vordere Zahnbogenbreite, **HZB** Hintere Zahnbogenbreite, **SZ re/li** Stützzone rechts/links

Tabelle 27. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer spätes Wechselgebiss (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,33	5,69	/	/	/	11,18	5,29	5,79	/	/	/	11,16	/	47,52	24,76	25,31
1.2	5,34	5,67	/	/	/	11,02	5,32	5,73	/	/	/	11,21	/	47,45	24,63	25,62
1.3	5,32	5,69	/	/	/	11,06	5,27	5,72	/	/	/	11,23	/	47,59	24,77	25,54
2.1	6,22	6,39	7,89	7,36	7,35	10,86	6	6,29	7,81	7,47	7,3	10,69	34,5	47,18	23,22	23,6
2.2	6,16	6,48	7,95	7,39	7,33	10,82	5,94	6,25	7,73	7,42	7,26	10,83	35	46,89	23,39	23,69
2.3	6,27	6,49	7,93	7,6	7,43	11,12	5,9	6,28	7,77	7,39	7,3	10,86	36,28	47,06	23,3	23,58
3.1	5,52	5,64	/	7,13	/	9,91	5,43	5,91	6,04	6,77	7,11	10,49	/	48,76	22,31	22,62
3.2	5,5	5,74	/	7,09	/	10,08	5,45	5,89	6,24	6,69	7,06	10,4	/	48,78	22,17	22,91
3.3	5,52	5,61	/	7,07	/	10,23	5,48	5,92	6,29	6,62	7,08	10,77	/	48,23	22,6	22,88
4.1	5,67	6,56	/	7,12	6,7	9,99	5,49	6,44	/	6,94	6,45	9,91	29,96	42,16	17,62	18,27
4.2	5,66	6,46	/	7,04	6,71	9,87	5,53	6,49	/	7,06	6,49	9,84	29,77	41,95	17,83	18,4
4.3	5,58	6,61	/	7,12	6,76	10,09	5,54	6,49	/	6,95	6,5	9,91	29,51	41,77	17,82	18,37
5.1	4,91	5,53	/	/	/	9,33	5,05	5,71	/	/	/	9,96	/	49,37	22,87	22,52
5.2	4,94	5,46	/	/	/	9,37	5,03	5,69	/	/	/	9,93	/	49,17	22,89	22,62
5.3	4,91	5,48	/	/	/	9,54	5,01	5,69	/	/	/	10	/	49,37	23,27	22,64
6.1	5,82	5,94	/	/	/	11,06	5,62	6	/	/	/	11,27	/	51,15	23,72	22,69
6.2	5,79	5,97	/	/	/	11,09	5,61	5,97	/	/	/	11,21	/	51,18	23,77	22,7
6.3	5,82	6,05	/	/	/	11,16	5,61	5,91	/	/	/	11,22	/	51,29	23,61	22,87
7.1	6,01	6,14	6,9	/	/	10,28	5,69	6,12	6,76	6,7	/	10,25	/	46,78	24,11	24,16
7.2	6,01	6,16	7	/	/	10,33	5,78	6,1	7,1	6,72	/	10,26	/	46,43	24,13	24,05
7.3	6,07	6,14	7	/	/	10,32	5,82	6	7,11	6,72	/	10,25	/	46,48	24,04	23,94
8.1	5,4	6,21	/	/	/	9,77	5,51	5,95	/	/	/	9,31	/	44,72	22,45	22,24
8.2	5,39	6,08	/	/	/	10,11	5,55	5,96	/	/	/	9,65	/	44,38	22,74	22,2
8.3	5,54	6,16	/	/	/	10,24	5,46	5,88	/	/	/	9,81	/	44,44	22,91	22,24
9.1	5,48	6,2	/	/	/	9,72	5,83	5,88	/	/	/	9,56	/	48,05	22,87	22,43
9.2	5,52	6,07	/	/	/	9,67	5,77	5,8	/	/	/	9,52	/	48,04	22,72	23,16
9.3	5,5	6,13	/	/	/	9,65	5,77	5,81	/	/	/	9,61	/	47,71	22,6	22,36
10.1	5,31	5,67	7,28	7,04	/	9,71	5,34	6,05	6,89	7,31	7,43	10,32	/	43,79	22,42	23,54
10.2	5,29	5,52	7,17	7,05	/	9,78	5,35	6,08	6,98	7,22	7,46	10,32	/	43,71	22,26	23,65
10.3	5,32	5,58	7,14	6,9	/	9,78	5,45	5,98	7,02	7,42	7,53	10,59	/	43,6	22,37	23,68

31-46 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.6 Messergebnisse 3Shape spätes Wechselgebiss

Tabelle 28. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer spätes Wechselgebiss (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	11	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	26	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	8,64	6,91	/	/	/	11,15	8,65	7,24	/	/	/	11,09	/	48,41	24,04	24,16
1.2	8,7	6,94	/	/	/	10,88	8,37	7,11	/	/	/	11,08	/	48,13	24,5	24,81
1.3	8,9	6,94	/	/	/	10,6	8,74	7,21	/	/	/	11,15	/	48,09	24,36	24,43
2.1	9,67	7,27	/	/	7,21	11,08	9,6	7,22	8,53	7,43	6,98	10,73	36,99	47,04	21,4	23,06
2.2	9,58	7,24	/	/	7,11	11,12	9,69	7,34	8,5	7,44	7,17	10,94	37,26	46,96	22,13	23,5
2.3	9,58	7,21	/	/	7,09	11,09	9,71	7,26	8,61	7,44	7,2	11,02	37,22	45,95	21,32	23,08
3.1	8,81	7,39	/	/	/	11,13	8,46	6,77	/	/	/	11,64	/	47,46	22,5	21,94
3.2	8,67	7,22	/	/	/	11,41	8,38	6,63	/	/	/	11,67	/	47,31	22,67	22,23
3.3	8,74	7,18	/	/	/	11,52	8,49	6,72	/	/	/	11,56	/	47,85	22,95	22,43
4.1	7,91	5,44	7,72	6,5	5,75	11,1	7,94	5,55	7,76	6,78	5,96	10,39	33,02	44,48	22,03	22,5
4.2	8,03	5,44	7,65	6,49	5,8	11,09	7,99	5,51	7,69	6,74	5,98	10,32	32,92	44,72	22,23	22,1
4.3	7,89	5,5	7,56	6,44	5,67	11,07	7,99	5,64	7,53	6,66	5,92	10,3	32,98	44,56	22,53	22,41
5.1	8,56	4,57	/	/	/	9,67	8,63	5,97	/	/	/	10,17	/	49,47	22,83	23,33
5.2	8,44	4,55	/	/	/	9,53	8,48	5,95	/	/	/	10,19	/	50,06	23,1	23,35
5.3	8,62	4,34	/	/	/	9,36	8,63	5,89	/	/	/	10,13	/	50,55	23,06	23,55
6.1	9,15	7,19	/	/	/	11,01	9,46	7,24	/	/	/	10,56	/	52,92	23,67	20,07
6.2	9,08	7,07	/	/	/	10,81	9,44	7,13	/	/	/	10,53	/	52,49	23,66	20,25
6.3	8,97	7,11	/	/	/	10,73	9,46	7,1	/	/	/	10,6	/	51,81	23,69	20,39
7.1	8,56	6,42	/	7,16	6,92	10,25	8,71	6,21	/	/	/	10,33	/	45,7	24,63	24,19
7.2	8,55	6,4	/	7,11	6,89	10,37	8,62	6,21	/	/	/	10,4	/	45,35	24,51	24,59
7.3	8,77	6,52	/	7,19	6,78	9,87	8,65	6,05	/	/	/	10,62	/	45,8	24,74	24,93
8.1	8,46	6,93	/	/	/	11	8,34	7,34	/	/	/	10,32	/	44,65	21,9	23,21
8.2	8,34	6,94	/	/	/	10,99	8,33	7,27	/	/	/	10,27	/	44,32	22,33	23,65
8.3	8,49	6,84	/	/	/	10,95	8,27	7,27	/	/	/	10,21	/	44,16	22,31	23,69
9.1	8,81	5,29	7,02	6,50	/	10,30	9,02	5,86	6,81	/	/	10,65	34,83	48,07	22,52	22,48
9.2	8,97	5,26	6,8	6,34	/	10,35	8,92	5,69	6,6	/	/	10,68	34,92	48,07	22,29	22,43
9.3	8,96	5,26	6,85	6,43	/	10,13	9,04	5,79	6,68	/	/	10,56	34,69	48,29	22,4	22,45
10.1	8,71	7,08	8,23	7,20	/	10,17	8,44	6,76	7,67	7,27	7,16	10,50	34,61	45,03	22,54	21,59
10.2	8,72	6,91	8,08	7,32	/	10,15	8,39	6,6	7,65	7,24	7,21	10,65	34,69	45,06	22,17	21,45
10.3	8,71	6,79	8,11	7,31	/	10,04	8,45	6,78	7,77	7,2	7,12	10,56	34,61	44,9	22,44	21,62

11-26 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, **VZB** Vordere Zahnbogenbreite, **HZB** Hintere Zahnbogenbreite, **SZ re/li** Stützzone rechts/links

Tabelle 29. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer spätes Wechselgebiss (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,39	5,6	/	/	/	11,23	5,12	5,5	/	/	/	11,46	/	47,47	24,92	25,85
1.2	5,38	5,68	/	/	/	11,12	5,15	5,6	/	/	/	11,33	/	47,57	24,35	25,67
1.3	5,45	5,69	/	/	/	11,21	5,25	5,54	/	/	/	11,36	/	47,57	24,5	25,67
2.1	5,97	6,36	7,94	7,64	7,51	11,15	5,87	6,4	7,61	7,54	7,5	10,76	36,17	46,17	23,52	24,04
2.2	5,96	6,25	7,8	7,45	7,44	11,09	5,73	6,29	7,65	7,42	7,41	10,79	36,17	46,83	23,44	23,95
2.3	5,99	6,46	7,95	7,51	7,45	11,07	5,85	6,29	7,53	7,56	7,43	10,82	36,21	46,83	23,51	23,95
3.1	5,32	5,66	/	7,06	/	10,35	5,32	5,84	6,05	6,87	6,98	10,51	/	48,25	22,8	22,9
3.2	5,33	5,6	/	7	/	10,49	5,33	5,85	5,93	6,69	6,92	10,41	/	48,48	22,38	22,93
3.3	5,36	5,64	/	7,11	/	10,12	5,37	5,83	6,01	6,79	7,03	10,66	/	48,23	22	23,11
4.1	5,55	6,43	/	7,17	6,74	10,06	5,43	6,37	/	7,01	6,8	9,77	29,61	41,75	17,67	18,17
4.2	5,53	6,4	/	7,1	6,6	10,14	5,4	6,25	/	6,95	6,6	9,94	29,41	41,65	17,73	18,28
4.3	5,55	6,36	/	7,11	6,79	10,1	5,44	6,23	/	6,92	6,77	9,77	29,59	41,75	17,7	18,43
5.1	4,8	5,47	/	/	/	9,6	4,91	5,68	/	/	/	10	/	49,33	23,07	22,68
5.2	4,79	5,47	/	/	/	9,59	4,88	5,66	/	/	/	10,09	/	49,17	22,81	22,61
5.3	4,82	5,44	/	/	/	9,48	4,9	5,6	/	/	/	10,06	/	49,19	23,09	22,51
6.1	5,86	5,97	/	/	/	11,05	5,69	5,92	/	/	/	11,38	/	51,3	23,33	23,92
6.2	5,89	6,07	/	/	/	11,09	5,63	5,87	/	/	/	11,3	/	51,35	23,74	23,14
6.3	5,82	6,03	/	/	/	11,07	5,64	5,63	/	/	/	11,35	/	50,86	224,22	22,58
7.1	5,93	6,1	7	/	/	10,45	5,81	5,99	7,01	7,14	/	10,36	/	46,23	24,52	25,20
7.2	5,93	6,1	6,87	/	/	10,58	5,76	5,97	7,02	6,82	/	10,27	/	46,79	24,25	25,26
7.3	5,93	6,1	6,69	/	/	10,26	5,82	6,04	6,79	6,81	/	10,27	/	46,53	24,37	25,23
8.1	5,33	6,06	/	/	/	9,93	5,41	5,81	/	/	/	9,36	/	44,69	23,10	22,36
8.2	5,39	6,06	/	/	/	9,98	5,49	5,78	/	/	/	9,27	/	44,5	22,87	22,17
8.3	5,36	6,06	/	/	/	10,19	5,47	5,87	/	/	/	9,39	/	44,39	22,76	22,23
9.1	5,41	6,02	/	/	/	9,51	5,66	5,73	/	/	/	9,57	/	48,68	23,07	22,71
9.2	5,45	6,05	/	/	/	9,63	5,72	5,78	/	/	/	9,6	/	47,91	22,81	22,88
9.3	5,41	6,12	/	/	/	9,64	5,76	5,8	/	/	/	9,59	/	47,84	22,73	22,44
10.1	5,25	5,87	6,98	7,12	/	9,99	4,97	6,25	6,67	7,11	7,60	11,01	/	43,8	22,72	23,79
10.2	5,25	5,7	6,99	7,11	/	9,99	4,84	6,11	6,86	7,18	7,51	10,91	/	43,77	22,3	23,76
10.3	5,22	5,66	7	7,06	/	9,91	4,88	6,03	6,84	7,23	7,4	10,93	/	43,69	22,24	23,4

31-46 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.7 Messergebnisse Handmessung frühes Wechselgebiss

Tabelle 30. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer frühes Wechselgebiss (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	11	12	53	54	55	16	21	22	63	64	65	26	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	8,19	4,77	6,02	5,95	7,93	9,84	8,13	4,85	6,03	6,15	7,97	9,83	35,47	44,42	/	/
1.2	8,19	4,78	5,98	5,93	8,06	9,74	8,22	4,78	5,86	6,04	7,99	9,85	35,96	45	/	/
1.3	8,2	4,76	6,05	5,91	7,91	9,6	8,21	4,79	5,9	6,09	8,03	9,88	35,09	44,55	/	/
2.1	8,8	5,53	6,35	6,79	8,89	/	8,73	/	6,68	6,72	8,94	/	31,76	41,31	/	/
2.2	8,72	5,56	6,13	6,63	8,71	/	8,84	/	6,61	6,7	8,96	/	31,61	43,39	/	/
2.3	8,81	5,58	6,3	6,62	8,8	/	8,72	/	6,51	6,67	8,88	/	31,58	41,29	/	/
3.1	8,59	6,48	5,97	6,65	8,16	8,64	8,46	6,54	6,23	6,24	8,15	8,26	38,3	47,13	22,11	22,34
3.2	8,51	6,46	5,85	6,58	8,03	8,69	8,49	6,5	6,21	6,45	8,25	8,5	38,37	47,23	22,48	22,26
3.3	8,55	6,51	5,87	6,61	8,09	8,67	8,45	6,58	6,22	6,13	8,05	8,2	37,81	47,11	22,61	22,11
4.1	8,57	7,14	6,86	6,96	8,63	10,5	8,42	6,7	/	7,07	8,33	10,48	40,58	49,52	22,81	18,12
4.2	8,47	7,11	6,79	6,89	8,42	10,5	8,41	6,64	/	7,01	8,33	11,23	40,27	47,93	22,94	18,64
4.3	8,47	7,2	6,81	6,88	8,4	10,53	8,39	6,67	/	7,03	8,41	10,43	40,06	48,04	23,22	18,03
5.1	8,94	/	6,95	7,46	10,03	/	9,19	/	6,95	7,53	9,55	/	38,12	49,68	/	/
5.2	8,91	/	6,98	7,59	9,77	/	9,09	/	6,87	7,52	9,54	/	38,16	49,71	/	/
5.3	9,1	/	7,05	7,43	9,89	/	9,16	/	6,92	7,54	9,85	/	38,54	49,99	/	/
6.1	8,43	/	6,66	6,63	8,24	10	8,49	/	6,64	6,69	8,23	10,1	33,59	43,04	/	/
6.2	8,25	/	6,58	6,59	8,35	10,02	8,33	/	6,72	6,64	8,14	10,08	32,96	42,97	/	/
6.3	8,3	/	6,68	6,62	8,28	9,84	8,33	/	6,7	6,5	8,2	10,19	32,79	42,54	/	/
7.1	5,57	5,01	6,58	6,63	8,5	10,23	/	4,93	6,36	6,65	8,56	10,06	33,84	44,79	/	/
7.2	5,67	4,99	6,68	6,56	8,39	10,37	/	4,91	6,43	6,72	8,42	10,17	34	44,73	/	/
7.3	5,65	4,98	6,61	6,68	8,41	9,6	/	4,83	6,36	6,61	8,49	10,17	33,83	45,18	/	/
8.1	6,34	5,2	6,58	6,84	8,63	/	6,52	5,28	6,4	6,96	8,77	/	34,1	39,56	/	/
8.2	6,26	5,27	6,5	6,8	8,21	/	6,62	5,23	6,38	6,9	8,66	/	34,08	39,58	/	/
8.3	6,34	5,22	6,45	6,92	8,67	/	6,41	5,39	6,42	6,9	8,77	/	33,92	39,52	/	/
9.1	/	5,57	6,43	7,5	9,04	10,36	/	5,76	6,64	7,28	8,92	10,19	35,84	46,63	23,34	22,92
9.2	/	5,6	6,66	7,61	8,88	10,35	/	5,72	6,57	7,55	8,88	10,04	36	46,84	23,63	23,07
9.3	/	5,61	6,47	7,35	8,95	10,13	/	5,82	6,44	7,43	8,94	10	35,54	46,43	23,59	23,08
10.1	6,35	4,66	6,63	6,56	8,67	/	/	4,7	6,5	6,32	8,68	/	38,28	46,25	/	/
10.2	6,35	4,65	6,6	6,54	8,46	/	/	4,69	6	6,62	8,68	/	38,15	46,55	/	/
10.3	6,37	4,61	6,57	6,46	8,68	/	/	4,7	6,04	6,59	8,54	/	38,06	46,55	/	/

11-26 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

Tabelle 31. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer frühes Wechselgebiss (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	31	32	73	74	75	36	41	42	83	84	85	46	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,17	4,44	5,16	7,17	8,68	9,86	5,17	4,18	5,56	6,83	8,68	9,2	31,5	45,69	/	/
1.2	5,18	4,48	5,34	6,81	8,55	10,08	5,16	4,24	5,5	6,84	8,58	9,46	30,15	45,17	/	/
1.3	5,18	4,49	5,26	6,72	8,52	9,9	5,14	4,32	5,5	6,74	8,63	9,19	30,46	45,73	/	/
2.1	5,7	5,78	/	8,17	10,46	11,64	5,4	5,71	5,9	8,3	10,29	11,57	32,53	50,28	24,48	19,8
2.2	5,68	5,79	/	8,15	10,7	11,7	5,44	5,98	5,97	8,15	10,5	11,57	34,2	50,98	24,27	19,55
2.3	5,67	5,81	/	8,19	10,52	11,62	5,37	5,75	5,9	8,14	10,37	11,45	32,96	50,42	24,64	19,42
3.1	5,34	5,5	5,4	/	9,73	9,95	5,21	5,67	5,32	/	9,33	9,69	31,2	47,56	22,61	22,57
3.2	5,31	5,41	5,42	/	9,77	9,9	5,36	5,57	5,39	/	9,42	9,56	32,1	47,85	22,51	22,64
3.3	5,26	5,47	5,38	/	9,71	9,94	5,19	5,58	5,38	/	9,46	9,58	30,59	47,32	22,41	22,45
4.1	5,29	5,9	5,85	7,42	9,35	10,81	5,34	5,9	5,98	7,42	9,21	10,33	34,6	49,5	23,3	23,22
4.2	5,32	6,02	5,89	7,34	8,9	10,58	5,37	5,96	6	7,33	9,08	10,28	35,26	50,54	23,34	23,07
4.3	5,3	6,11	5,7	7,34	9,26	10,98	5,32	5,9	5,93	7,72	9,08	10,36	34,19	49,56	23,42	23,09
5.1	5,97	/	6,15	7,99	10,99	/	6,17	/	6,2	8,01	11,07	/	32,75	42,97	/	/
5.2	5,94	/	5,91	8,17	10,84	/	6,18	/	5,84	7,9	11,27	/	33,03	42,75	/	/
5.3	5,93	/	6,17	7,95	11,16	/	6,13	/	6,15	7,97	11,12	/	32,27	42,76	/	/
6.1	5,51	5,72	5,64	7,45	9,33	9,84	5,81	5,47	5,53	7,64	9,75	/	32,17	48,18	23,66	23,44
6.2	5,52	5,75	5,67	7,55	9,33	9,84	5,8	5,45	5,7	7,56	9,59	/	33,22	48,52	23,67	23,57
6.3	5,47	5,68	5,65	7,51	9,29	9,54	5,86	5,6	5,54	7,53	9,63	/	31,47	48,46	23,5	23,49
7.1	5,3	5,55	5,6	7,5	9,28	9,7	5,37	5,33	5,63	7,42	9,47	9,75	31,75	43,68	23,8	23,83
7.2	5,23	5,51	5,59	7,42	9,24	9,67	5,23	5,34	5,62	7,74	9,33	9,66	32,95	43,75	23,81	23,85
7.3	5,29	5,53	5,6	7,47	9,28	9,61	5,21	5,42	6,63	7,4	9,36	9,52	31,61	44,17	24,11	23,74
8.1	5,13	4,48	5,52	7,54	9,98	/	5,79	4,48	5,4	7,67	9,79	/	32,68	42,59	/	/
8.2	5,16	4,49	5,44	7,42	9,86	/	5,81	4,62	5,6	7,67	9,75	/	33,68	42,46	/	/
8.3	5,11	4,44	5,56	7,35	10,01	/	5,84	4,6	5,49	7,65	9,8	/	32,51	42,39	/	/
9.1	5,94	/	5,95	7,76	9,77	10,78	5,94	/	6,05	8,17	9,62	10,75	31,63	48,33	/	/
9.2	6,01	/	5,94	7,66	9,89	10,62	6,01	/	5,9	8,21	9,63	10,66	32,43	48,61	/	/
9.3	5,98	/	5,8	7,8	9,8	10,84	5,8	/	6	8,06	9,59	10,8	30,57	48,32	/	/
10.1	5,04	5	5,81	7,52	9,66	9,02	5,55	/	5,69	7,9	9,74	8,87	31,08	46,24	/	/
10.2	5,08	5	5,97	7,37	9,67	9,03	5,48	/	5,83	7,78	9,89	8,95	31,93	46,36	/	/
10.3	5,01	5,03	5,92	7,46	9,75	8,89	5,5	/	5,72	7,87	9,83	8,91	31,03	46,16	/	/

31-46 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.8 Messergebnisse Zirkonzahn frühes Wechselgebiss

Tabelle 32. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer frühes Wechselgebiss (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	11	12	53	54	55	16	21	22	63	64	65	26	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	8,21	4,86	6,05	6,13	7,88	9,69	8,06	4,95	6,16	6,09	8,01	9,86	/	44,39	/	/
1.2	8,1	4,78	6,1	6,13	7,96	9,68	8,05	4,9	6,12	6,15	8,36	9,72	/	45,02	/	/
1.3	8,16	4,77	6,31	6,12	8,14	9,9	8,11	4,95	6,14	6,15	8,25	9,65	/	45,2	/	/
2.1	8,69	5,6	6,71	6,89	8,8	/	8,84	/	6,76	6,83	9,19	/	/	41,68	/	/
2.2	8,71	5,59	6,68	6,8	9,04	/	8,84	/	6,8	6,77	9,14	/	/	41,83	/	/
2.3	8,81	5,42	6,64	6,8	9,2	/	8,71	/	6,74	6,86	9,34	/	/	41,69	/	/
3.1	8,56	6,58	5,88	6,58	8	9,33	8,47	6,49	6,22	6,15	8,29	8,4	/	47,14	22,87	22,58
3.2	8,69	6,55	6,1	6,78	8,02	9,33	8,53	6,69	6,16	6,12	8,29	8,35	/	47,05	22,35	22,59
3.3	8,57	6,74	6,13	6,5	8,17	9,38	8,55	6,67	6,3	6,13	8,17	8,48	/	47,03	22,28	22,75
4.1	8,47	7,11	6,87	7,04	8,58	10,45	8,35	6,6	/	7,03	8,51	11,39	/	48,61	23,33	18,55
4.2	8,61	6,93	6,71	7,02	8,64	10,32	8,4	6,68	/	7,03	8,4	11,4	/	48,6	23,19	19,03
4.3	8,54	7,01	6,86	7,06	8,77	10,41	8,4	6,41	/	7,09	8,71	11,45	/	48,47	23,51	18,99
5.1	9,06	/	7,05	7,61	10,05	/	9,06	/	7,12	7,53	9,9	/	/	49,87	/	/
5.2	9,18	/	7,16	7,62	10,01	/	9,06	/	7,17	7,48	9,97	/	/	49,84	/	/
5.3	9,13	/	7,13	7,58	10,07	/	9,07	/	7,24	7,64	10,08	/	/	49,77	/	/
6.1	8,39	/	6,68	6,52	8,4	9,91	8,38	/	6,56	6,58	8,25	10,34	/	42,81	/	/
6.2	8,47	/	6,62	6,56	8,34	9,96	8,28	/	6,64	6,56	8,34	10,22	/	42,93	/	/
6.3	8,45	/	6,72	6,61	8,42	10,04	8,41	/	6,56	6,62	8,31	10,3	/	42,76	/	/
7.1	5,6	5	6,59	6,72	8,6	10,14	/	5,02	6,54	6,72	8,58	10,1	/	45,74	/	/
7.2	5,59	4,98	6,65	6,72	8,66	10,08	/	4,91	6,49	6,75	8,53	10,05	/	45,13	/	/
7.3	5,62	5,08	6,46	6,68	8,6	10,05	/	4,96	6,45	6,74	8,52	10,02	/	45,32	/	/
8.1	6,31	5,15	6,48	6,51	8,83	/	6,37	5,2	6,66	7,07	8,88	/	/	39,73	/	/
8.2	6,26	5,19	6,63	6,84	8,67	/	6,43	5,37	6,61	7,05	8,74	/	/	39,74	/	/
8.3	6,35	5,17	6,58	6,79	8,86	/	6,43	5,37	6,62	7,02	8,73	/	/	39,6	/	/
9.1	/	5,53	6,62	7,41	9,17	10,17	/	5,66	6,55	7,47	9,14	10,06	/	46,71	23,68	23,6
9.2	/	5,57	6,74	7,36	9,2	10,25	/	5,72	6,52	7,35	9,1	10,14	/	46,7	24,11	23,56
9.3	/	5,59	6,82	7,46	9,24	10,34	/	5,68	6,51	7,56	9,07	10,04	/	46,7	24,26	23,67
10.1	6,43	4,71	6,74	6,57	8,69	/	/	4,63	6,41	6,38	8,52	/	/	46,14	/	/
10.2	6,32	4,68	6,69	6,45	8,69	/	/	4,67	6,2	6,3	8,43	/	/	46,14	/	/
10.3	6,32	4,78	6,73	6,54	8,66	/	/	4,66	6,13	6,29	8,53	/	/	46,15	/	/

11-26 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

Tabelle 33. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer frühes Wechselgebiss (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	31	32	73	74	75	36	41	42	83	84	85	46	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,24	4,56	5,27	7,08	8,5	10,04	5,08	4,25	5,7	6,94	8,7	9,2	/	45,53	/	/
1.2	5,14	4,53	5,28	7,04	8,53	10,02	5,13	4,29	5,65	7,07	8,85	9,46	/	45,4	/	/
1.3	5,28	4,48	5,53	7,16	8,75	9,84	5,11	4,29	5,6	7,04	8,79	9,67	/	45,5	/	/
2.1	5,69	5,63	/	8,31	10,32	11,67	5,54	5,71	6,07	8,21	10,19	11,57	/	50,91	24,65	19,84
2.2	5,75	5,66	/	8,41	10,34	11,72	5,58	5,74	5,9	8,21	10,4	11,52	/	50,84	24,71	19,89
2.3	5,71	5,52	/	8,29	10,35	11,85	5,51	5,78	6,1	8,32	10,33	11,49	/	50,65	24,3	19,58
3.1	5,43	5,55	5,5	/	9,56	9,95	5,26	5,72	5,45	/	9,42	9,71	/	47	22,48	22,42
3.2	5,4	5,61	5,4	/	9,62	9,9	5,3	5,71	5,53	/	9,53	9,75	/	47	22,59	22,67
3.3	5,32	5,56	5,47	/	9,61	9,83	5,32	5,64	5,51	/	9,4	9,72	/	46,96	22,54	22,68
4.1	5,46	6,09	5,67	7,48	9,46	11,07	5,49	5,93	5,85	7,67	9,44	10,36	/	49,46	23,17	22,89
4.2	5,44	6,06	5,79	7,51	9,45	11,02	5,48	5,99	5,81	7,59	9,37	10,29	/	49,37	23,26	22,41
4.3	5,42	6,07	5,88	7,48	9,43	11,08	5,47	5,98	5,99	7,65	9,3	10,33	/	49,48	23,21	22,53
5.1	5,95	/	5,91	8,04	10,97	/	6,25	/	6,18	8,09	11,02	/	/	49,13	/	/
5.2	6,03	/	6,15	8,06	10,98	/	6,26	/	6,16	8,12	11,03	/	/	49,2	/	/
5.3	5,93	/	6,15	8,23	10,95	/	6,23	/	6,18	8,27	10,93	/	/	49,47	/	/
6.1	5,53	5,57	5,75	7,66	9,43	9,91	5,63	5,64	5,68	7,7	9,75	/	/	48,14	23,96	23,07
6.2	5,53	5,51	5,62	7,67	9,42	10,04	5,62	5,53	5,69	7,66	9,81	/	/	47,95	24,12	22,77
6.3	5,42	5,61	5,67	7,77	9,6	10,01	5,66	5,67	5,6	7,63	9,79	/	/	47,87	24,08	22,67
7.1	5,33	5,67	5,47	7,51	9,24	9,77	5,3	5,43	5,53	7,56	9,36	9,7	/	44,08	24,87	24,24
7.2	5,39	5,68	5,55	7,59	9,26	9,82	5,31	5,41	5,44	7,44	9,3	9,78	/	44,58	24,97	24,56
7.3	5,41	5,67	5,7	7,51	9,21	9,82	5,33	5,49	5,68	7,48	9,33	9,82	/	44,59	24,54	24,97
8.1	5,04	4,38	5,36	7,7	9,8	/	5,49	4,48	5,57	7,77	9,65	/	/	42,08	/	/
8.2	4,99	4,39	5,62	7,66	9,96	/	5,45	4,45	5,57	7,72	9,6	/	/	42,19	/	/
8.3	4,91	4,49	5,74	7,68	9,8	/	5,45	4,48	5,59	7,74	9,62	/	/	42,25	/	/
9.1	5,94	/	5,93	7,78	9,65	10,9	5,78	/	6,1	8,11	9,83	10,76	/	48,6	/	/
9.2	5,94	/	5,95	7,78	9,68	10,95	5,78	/	5,85	8,27	9,84	10,71	/	48,87	/	/
9.3	5,98	/	5,98	7,9	9,61	11,04	5,72	/	5,82	8,35	9,95	10,75	/	48,57	/	/
10.1	4,98	4,92	5,85	7,58	9,58	9,25	5,37	/	5,78	7,91	9,56	/	/	46,63	/	/
10.2	5,06	5,01	5,72	7,57	9,67	9,21	5,45	/	5,84	7,88	9,57	/	/	46,73	/	/
10.3	5,06	5,06	5,89	7,61	9,71	9,26	5,53	/	5,72	7,77	9,59	/	/	46,72	/	/

31-46 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

8.9 Messergebnisse 3Shape frühes Wechselgebiss

Tabelle 34. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefer frühes Wechselgebiss (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken														VZB	HZB	SZ re	SZ li
	11	12	53	54	55	16	21	22	63	64	65	26	26	26				
1.1	8,08	4,72	6,31	6,13	8,15	9,36	7,86	5,04	6,26	6,12	8,50	9,70	/	44,32	/	/		
1.2	7,97	4,74	6,13	6,11	8,2	9,66	7,98	5,01	6,2	6,14	8,35	9,46	/	44,77	/	/		
1.3	8,18	4,61	6,23	6,12	8,12	9,64	8,04	5,04	6,26	6,2	8,5	9,74	/	44,59	/	/		
2.1	8,64	5,57	6,83	6,86	9,24	/	8,76	/	6,61	6,72	9,17	/	/	41,07	/	/		
2.2	8,61	5,59	6,63	6,98	9,15	/	8,71	/	6,69	6,78	9,31	/	/	41,35	/	/		
2.3	8,64	5,69	6,72	6,94	9,23	/	8,68	/	6,67	6,78	9,41	/	/	41,28	/	/		
3.1	8,43	6,62	6,2	6,63	8,18	8,51	8,44	6,5	6,35	6,16	8,47	8,2	/	46,34	22,26	22,39		
3.2	8,38	6,61	5,99	6,51	8,11	8,64	8,37	6,34	6,25	6,15	8,3	8,21	/	46,7	22,23	22,57		
3.3	8,58	6,59	5,98	6,62	8,15	8,46	8,54	6,59	6,39	6,27	8,53	8,48	/	47,1	22,52	22,88		
4.1	8,49	7,32	6,59	7,18	8,81	10,83	8,39	6,66	/	7,18	8,56	10,61	/	48,38	23,48	18,89		
4.2	8,6	7,29	6,62	7,13	8,77	10,94	8,45	6,39	/	7,31	8,69	11,08	/	49,08	23,23	18,76		
4.3	8,66	7,22	6,85	7,06	8,66	10,71	8,41	6,47	/	7	8,68	11,61	/	49,09	23	18,65		
5.1	8,79	/	7,05	7,64	10,17	/	9,12	/	7,3	7,75	10,7	/	/	50,06	/	/		
5.2	8,7	/	7,1	7,47	10,42	/	9	/	7,06	7,72	10,32	/	/	50,11	/	/		
5.3	9,05	/	7,13	7,57	10,09	/	9,06	/	7,27	7,67	10,32	/	/	50,77	/	/		
6.1	8,3	/	6,68	6,53	8,41	10,27	8,44	/	6,65	6,66	8,59	10,75	/	43,49	/	/		
6.2	8,31	/	6,65	6,62	8,47	10,5	8,3	/	6,64	6,71	8,62	10,84	/	43,78	/	/		
6.3	8,29	/	6,72	6,68	8,51	10,24	8,48	/	6,67	6,78	8,54	10,84	/	43,78	/	/		
7.1	5,49	5,03	6,39	6,76	8,78	10,16	/	4,8	6,45	6,63	8,67	10,14	/	45,96	/	/		
7.2	5,69	5	6,51	6,82	8,78	10,07	/	4,85	6,53	6,64	8,73	10,01	/	45,31	/	/		
7.3	5,56	4,98	6,55	6,77	8,74	10,08	/	4,84	6,53	6,7	8,65	10,02	/	46,06	/	/		
8.1	6,36	5,25	6,67	6,97	8,82	/	6,6	5,3	6,54	6,99	9,02	/	/	39,82	/	/		
8.2	6,36	5,17	6,58	6,99	9,07	/	6,48	5,24	6,23	7,01	8,98	/	/	40,07	/	/		
8.3	6,36	5,17	6,56	6,84	8,92	/	6,36	5,24	6,4	7,04	8,83	/	/	39,85	/	/		
9.1	/	5,47	6,61	7,25	9,17	10,33	/	5,46	6,67	7,48	9,1	9,89	/	46,45	23,94	23,92		
9.2	/	5,54	6,6	7,35	9,23	10,53	/	5,77	6,57	7,29	9,21	9,89	/	46,4	23,77	23,64		
9.3	/	5,51	6,49	7,4	9,23	10,38	/	5,69	6,43	7,23	9,1	9,83	/	46,87	24,27	23,65		
10.1	6,3	4,62	6,75	6,63	8,77	/	/	4,62	6,26	6,34	8,46	/	/	46	/	/		
10.2	6,15	4,63	6,65	6,53	8,65	/	/	4,49	6,13	6,25	8,65	/	/	45,89	/	/		
10.3	6,1	4,62	6,64	6,66	8,49	/	/	4,54	6,14	6,33	8,48	/	/	45,75	/	/		

11-26 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, VZB Vordere Zahnbogenbreite, HZB Hintere Zahnbogenbreite, SZ re/li Stützzone rechts/links

Tabelle 35. Gemessene Strecken [mm] Unterkiefer frühes Wechselgebiss (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken															
	31	32	33	34	35	36	41	42	43	44	45	46	VZB	HZB	SZ re	SZ li
1.1	5,14	4,56	5,42	7,22	8,80	9,83	5,15	4,32	5,61	6,97	8,80	9,18	/	45,47	/	/
1.2	5,24	4,25	5,29	7,16	8,7	9,95	5,07	4,28	5,65	6,95	8,76	9,18	/	45,46	/	/
1.3	5,14	4,47	5,25	7,19	8,71	9,9	5,15	4,25	5,67	6,87	8,74	9,48	/	45,26	/	/
2.1	5,64	5,6	/	8,37	10,21	11,58	5,45	5,67	5,9	8,37	10,24	11,39	/	50,78	24,05	20,38
2.2	5,78	5,69	/	8,19	10,12	11,35	5,45	5,99	5,77	8,36	10,33	11,76	/	51,02	23,83	19,73
2.3	5,75	5,59	/	8,35	10,2	11,77	5,52	5,78	5,81	8,28	10,52	11,64	/	50,82	24,19	19,74
3.1	5,17	5,55	5,48	/	9,4	9,82	5,19	5,72	5,54	/	9,67	9,99	/	46,89	22,5	23,01
3.2	5,28	5,56	5,35	/	9,32	9,9	5,18	5,63	5,48	/	9,35	10,03	/	46,66	22,72	22,82
3.3	5,35	5,63	5,27	/	9,6	10,6	5,29	5,72	5,43	/	9,63	9,95	/	46,94	22,58	22,63
4.1	5,23	5,92	5,59	7,63	9,52	10,96	5,35	5,96	5,85	7,6	9,44	10,23	/	49,61	23,61	23,25
4.2	5,25	5,95	5,69	7,68	9,47	10,99	5,31	5,82	5,84	7,53	9,47	10,44	/	49,54	22,96	23,43
4.3	5,19	5,9	5,67	7,68	9,5	11,21	5,3	5,6	5,72	7,57	9,42	10,14	/	49,38	23,22	22,18
5.1	5,83	/	6,09	8	10,98	/	6,12	/	6,17	8,1	11,21	/	/	43,02	/	/
5.2	5,74	/	6,21	8,08	11,09	/	6,1	/	6,23	8,03	11,1	/	/	43,43	/	/
5.3	5,83	/	6,19	8,12	11,02	/	6,09	/	6,14	8,12	11,09	/	/	43,21	/	/
6.1	5,5	5,68	5,59	7,86	9,68	9,99	5,74	5,45	5,44	7,65	9,71	/	/	48,33	23,94	22,72
6.2	5,51	5,73	5,61	7,65	9,63	9,95	5,61	5,57	5,64	7,51	9,69	/	/	48,27	23,86	22,83
6.3	5,49	5,81	5,6	7,61	9,56	9,92	5,61	5,75	5,57	7,54	9,69	/	/	48,24	23,93	22,82
7.1	5,19	5,56	5,61	7,55	9,4	9,79	5,33	5,44	5,71	7,7	9,39	9,73	/	44,28	24,45	24,55
7.2	5,22	5,55	5,69	7,7	9,33	9,88	5,17	5,5	5,66	7,74	9,4	9,79	/	44,28	24,49	24,26
7.3	5,27	5,57	5,67	7,7	9,35	9,83	5,32	5,44	5,75	7,61	9,35	9,72	/	44,07	24,99	24,55
8.1	5,19	4,44	5,69	7,42	10,08	/	/	4,45	5,42	7,82	9,84	/	/	42,48	/	/
8.2	4,99	4,39	5,83	7,55	10,1	/	/	4,47	5,58	7,69	9,73	/	/	42,24	/	/
8.3	4,87	4,41	5,66	7,62	9,97	/	/	4,43	5,45	7,71	9,7	/	/	42,26	/	/
9.1	5,97	/	5,8	7,82	10	10,81	5,72	/	5,8	8,19	9,96	11,09	/	48,72	/	/
9.2	5,77	/	5,9	7,84	9,98	10,9	5,55	/	5,79	7,98	10,03	11,12	/	48,87	/	/
9.3	5,82	/	5,95	7,91	9,96	10,94	5,61	/	5,74	8,15	10,03	11,14	/	48,38	/	/
10.1	4,95	4,87	5,9	7,74	9,89	9,09	5,7	/	5,8	7,67	9,44	8,91	/	46,75	/	/
10.2	4,96	4,91	5,84	7,74	9,65	9,21	5,72	/	5,84	7,66	9,64	9,04	/	46,7	/	/
10.3	5,04	4,97	5,97	7,68	9,61	9,05	5,64	/	5,74	7,8	9,62	9	/	46,49	/	/

31-46 Mesiodistaler Durchmesser der jeweiligen Zähne, **VZB** Vordere Zahnbogenbreite, **HZB** Hintere Zahnbogenbreite, **SZ re/li** Stützzone rechts/links

8.10 Messergebnisse Handmessung 1. Dentition

Tabelle 36. Gemessene Strecken [mm] 1. Dentition (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken							
	OK VZB	OK HZB	OK VZH	OK HZH	UK VZB	UK HZB	UK VZH	UK HZH
1.1	22,2	26,13	10,75	27,68	19,1	27,13	9,05	23,11
1.2	21,15	26	11,92	27,88	19,02	27,09	8,84	23,9
1.3	22,04	26,13	11,69	27,56	18,94	27,15	9,07	22,6
2.1	24,79	29,82	12,41	29,4	19,05	27,59	9,14	23,82
2.2	24,55	29,66	12,65	29,56	18,88	27,63	9,14	24,79
2.3	24,67	29,76	12,66	29,36	18,63	27,63	9,57	23,6
3.1	23,21	30,75	11,35	26,11	20,21	27,76	7,39	18,46
3.2	22,76	30,44	10,9	25,49	19,92	27,98	7,44	19,17
3.3	22,85	30,66	11,44	25,61	20,04	27,65	7,77	18,37
4.1	24,05	35,22	11	27,44	20,11	30,69	10,32	26,26
4.2	24,24	34,77	9,82	26,84	20,45	30,7	9,72	25,81
4.3	23,97	35,02	11,25	27	20,25	30,85	10,13	25,77
5.1	20,76	28,08	10,08	26,14	20,08	29,13	9,08	23,37
5.2	21,56	28,27	10,75	26,99	20,63	29,04	9,3	24,64
5.3	20,62	27,96	10,72	26,37	20,24	29,27	9,09	23,14
6.1	20,3	25,81	10,19	27,68	16,66	29,39	7,89	23,79
6.2	20,06	25,58	12,11	28,16	16,84	29,4	8,47	23,64
6.3	20,29	25,84	11,92	27,54	16,66	29,26	9,16	23,62
7.1	22,36	33,43	11,54	29,09	18,44	27,92	8,46	24,66
7.2	22,5	33,41	11,65	28,62	18,42	27,99	8,97	24,4
7.3	22,62	33,31	12,22	28,57	18,44	27,9	9,15	24,17
8.1	17,64	27,34	10,03	25,36	16,8	27,96	8,63	22,17
8.2	17,5	27,38	11,31	25,64	16,57	27,96	8,84	21,91
8.3	17,83	27,08	11,41	25,8	16,61	28,17	8,79	21,18
9.1	20,79	32,46	11,2	26,05	18,37	30,07	7,92	23,52
9.2	20,52	32,08	11,78	26,58	18,52	30,08	8,99	23,24
9.3	20,1	32,16	11,8	26,41	18,5	30,12	8,97	23,02
10.1	20,77	29,01	11,11	25,41	17,06	27,97	8,63	22,86
10.2	20,78	29,15	11,82	26,94	16,93	28,02	8,89	22,92
10.3	20,59	29,01	12,7	26,27	16,64	27,98	9,3	23,5

OK VZB Oberkiefer Vordere Zahnbogenbreite, **OK HZB** Oberkiefer Hintere Zahnbogenbreite, **OK VZH** OK Vordere Zahnbogenhöhe, **OK HZH** Oberkiefer Hintere Zahnbogenhöhe, **UK VZB** Unterkiefer Vordere Zahnbogenbreite, **UK HZB** Unterkiefer Hintere Zahnbogenbreite, **UK VZH** Unterkiefer Vordere Zahnbogenhöhe, **UK HZH** Unterkiefer Hintere Zahnbogenhöhe

8.11 Messergebnisse Zirkonzahn 1. Dentition

Tabelle 37. Gemessene Strecken [mm] 1. Dentition (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken							
	OK VZB	OK HZB	OK VZH	OK HZH	UK VZB	UK HZB	UK VZH	UK HZH
1.1	21,13	26,18	11,39	26,9	19,03	26,9	8,32	22,58
1.2	21,21	25,93	11,36	26,95	19,13	27,01	8,27	22,55
1.3	20,9	26,29	11,49	26,87	19,18	27,1	8,25	22,53
2.1	24,3	29,99	11,84	28,30	19,37	27,29	8,95	24,39
2.2	24,56	29,82	11,72	28,35	19,37	27,32	8,95	24,38
2.3	24,65	29,8	11,68	28,35	19,37	27,27	8,95	24,39
3.1	22,91	30,71	10,31	25,65	20,13	27,63	6,55	17,47
3.2	22,73	30,66	10,39	25,66	19,6	27,99	6,9	17,33
3.3	22,89	30,79	10,32	25,63	20,2	27,68	6,5	17,45
4.1	23,87	35,01	9,93	25,47	19,99	30,73	9,19	24,49
4.2	24,23	34,77	9,73	25,55	20,13	30,76	9,12	24,49
4.3	24,13	35,04	9,78	25,46	20,6	30,68	8,86	24,51
5.1	20,82	27,84	9,97	25,22	20,08	29,27	8,43	22,09
5.2	21,34	27,92	9,7	25,2	20,06	29,12	8,44	22,14
5.3	21,34	27,73	9,7	25,25	20,25	29,04	8,33	22,17
6.1	20,38	25,91	11,59	28,04	16,81	29,33	7,98	22,1
6.2	20,42	25,58	11,57	28,11	16,71	29,31	8,03	22,1
6.3	20,41	25,85	11,58	28,05	16,88	29,17	7,94	22,15
7.1	22,99	33,18	12,1	27,9	18,81	27,73	8,31	23,54
7.2	22,86	33,3	12,13	27,87	18,31	27,74	8,59	23,54
7.3	22,62	33,32	12,24	27,86	18,47	27,68	8,49	23,55
8.1	17,71	27,33	11,4	25,27	16,52	28,01	8,16	20,9
8.2	17,71	27,43	11,4	25,24	16,73	28,16	8,06	20,85
8.3	17,8	27,21	11,37	25,3	16,61	28,18	8,11	20,84
9.1	20,77	32,17	11,42	26,4	18,58	30	7,07	21,53
9.2	20,34	31,99	11,6	26,45	18,23	30,16	7,28	21,47
9.3	20,76	32,12	11,43	26,42	18,03	30,2	7,4	21,49
10.1	20,79	29,12	11,9	26,09	17,14	28,05	8,29	22,87
10.2	20,82	29,05	11,89	26,1	16,82	28,11	8,44	22,85
10.3	20,96	29,06	11,83	26,1	16,85	27,94	8,43	22,9

OK VZB Oberkiefer Vordere Zahnbogenbreite, **OK HZB** Oberkiefer Hintere Zahnbogenbreite, **OK VZH** OK Vordere Zahnbogenhöhe, **OK HZH** Oberkiefer Hintere Zahnbogenhöhe, **UK VZB** Unterkiefer Vordere Zahnbogenbreite, **UK HZB** Unterkiefer Hintere Zahnbogenbreite, **UK VZH** Unterkiefer Vordere Zahnbogenhöhe, **UK HZH** Unterkiefer Hintere Zahnbogenhöhe

8.12 Messergebnisse 3Shape 1. Dentition

Tabelle 38. Gemessene Strecken [mm] 1. Dentition (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken							
	OK VZB	OK HZB	OK VZH	OK HZH	UK VZB	UK HZB	UK VZH	UK HZH
1.1	22,03	26,23	11,7	26,99	19,31	27,02	8,26	22,60
1.2	22,29	26,14	11,59	27,01	19,61	27,1	8,09	22,58
1.3	22,31	26,15	11,58	27,01	19,05	27,08	8,4	22,59
2.1	24,5	29,73	12,07	28,63	18,95	27,4	9,17	24,32
2.2	24,57	29,94	12,03	28,59	18,91	27,36	9,18	24,33
2.3	24,65	29,77	11,99	28,63	18,57	27,29	9,31	24,35
3.1	23	30,53	10,98	25,69	20,41	27,54	7,67	17,04
3.2	22,39	30,88	11,25	25,59	20,23	27,73	7,78	19,96
3.3	22,27	30,4	11,31	25,72	20,08	27,74	7,87	16,96
4.1	24,27	35,11	9,59	25,86	20,94	30,58	8,82	24,56
4.2	24,19	34,82	9,64	25,95	20,72	30,43	8,95	24,62
4.3	23,99	35,04	9,75	25,88	20,67	30,55	8,78	24,59
5.1	20,77	27,8	9,31	25,31	20,38	29,08	8,48	22,26
5.2	21,16	27,95	9,12	25,28	20,3	29,13	8,53	22,24
5.3	20,9	28,03	9,25	25,25	20,52	29,1	8,4	22,25
6.1	20,6	25,81	11,54	27,91	16,6	29,46	7,73	22,59
6.2	20,44	25,67	11,6	27,95	16,65	29,62	7,7	22,54
6.3	20,55	25,42	11,56	28	16,63	29,39	7,71	22,61
7.1	22,82	33,24	11,43	27,79	18,57	27,9	8,32	23,77
7.2	22,95	33,17	11,37	27,81	18,4	27,94	8,41	23,76
7.3	22,53	33,39	11,55	27,75	18,47	27,91	8,37	23,77
8.1	17,63	27,3	11,54	25,26	16,84	27,97	8,26	20,49
8.2	17,82	27,31	11,48	25,26	16,68	27,96	8,34	20,5
8.3	18,07	27,58	11,39	25,19	16,64	27,95	8,35	20,5
9.1	20,2	32,13	11,03	26,41	18,13	30,28	7,72	21,03
9.2	20,51	32,09	10,83	26,43	18,56	30,18	7,48	21,06
9.3	20,04	31,98	11,02	26,46	18,55	30,14	7,49	21,08
10.1	20,56	28,85	11,5	26,15	16,91	28,12	8,52	22,86
10.2	20,73	29	11,43	26,11	17,06	28,15	8,45	22,85
10.3	20,74	29,03	11,42	26,10	16,95	27,95	8,5	22,91

OK VZB Oberkiefer Vordere Zahnbogenbreite, **OK HZB** Oberkiefer Hintere Zahnbogenbreite, **OK VZH** OK Vordere Zahnbogenhöhe, **OK HZH** Oberkiefer Hintere Zahnbogenhöhe, **UK VZB** Unterkiefer Vordere Zahnbogenbreite, **UK HZB** Unterkiefer Hintere Zahnbogenbreite, **UK VZH** Unterkiefer Vordere Zahnbogenhöhe, **UK HZH** Unterkiefer Hintere Zahnbogenhöhe

8.13 Messergebnisse Handmessung unilaterale Spalten

Tabelle 39. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefermodelle mit unilateralen Spalten (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messtrecken			
	P-P'	T-T'	C2-C2'	TK-TK'
1.1	4,06	31,13	21,21	37,18
1.2	4,06	31,25	21,4	36,24
1.3	3,95	31,31	21,36	36,89
2.1	1,64	28,37	23,12	33,39
2.2	1,66	28,75	22,9	34,47
2.3	1,53	28,62	23,18	33,15
3.1	11,65	33,64	31,98	39,4
3.2	11,7	33,32	32,11	39,65
3.3	11,82	33,19	32,91	39,87
4.1	3,84	32,56	23,96	39,22
4.2	4,01	32,55	23,91	39,91
4.3	3,85	32,67	23,91	39,14
5.1	7,26	27,16	27,58	33,33
5.2	7,35	27,22	27,56	33,33
5.3	7,4	27,23	27,69	32,75
6.1	7,26	32,56	32,69	39,98
6.2	7,15	32,79	32,82	39,23
6.3	7,18	33,2	32,79	39,98
7.1	0,8	31,47	29,51	35,24
7.2	0,77	31,38	29,4	35,88
7.3	0,7	31,72	28,82	35,72
8.1	10,51	28,61	26,66	33,51
8.2	10,4	28,49	26,76	33,22
8.3	10,38	28,59	26,78	33,96
9.1	11,25	31,06	28,66	34,81
9.2	11,25	31,33	28,64	35,07
9.3	11,17	31,6	28,61	34,65
10.1	7,14	29,51	29,48	34,96
10.2	7,21	29,54	29,48	34,94
10.3	7,46	29,42	29,65	34,86

P und *P'* Spaltränder der Alveolarkammlinie, *T* und *T'* Foveola palatina, *C2* und *C2'* Schnittpunkt vom lateralen Sulcus (distal der Eckzahnanlagen) und der Alveolarkammlinie, *TK* und *TK'* Übergang der Alveolarkammlinie zum Umriss der Tuberositas maxillaris

8.14 Messergebnisse Zirkonzahn unilaterale Spalten

Tabelle 40. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefermodelle mit unilateralen Spalten (Zirkonzahn)

Modelle und Messwiederholung	Messstrecken			
	P-P'	T-T'	C2-C2'	TK-TK'
1.1	4,06	31,16	21,01	36,75
1.2	4,17	31,11	21,28	36,72
1.3	4,15	31,12	21,34	36,21
2.1	1,62	28,62	23,4	33,48
2.2	1,51	28,98	23,69	34,32
2.3	1,57	28,82	23,39	33,4
3.1	11,55	33,57	31,77	39,72
3.2	11,45	33,47	32,13	39,8
3.3	11,73	33,71	31,34	39,33
4.1	4,07	32,76	23,71	39,05
4.2	4,28	32,89	23,57	38,93
4.3	4,14	32,51	23,93	39,14
5.1	7,54	27,39	27,78	33,29
5.2	7,41	27,36	27,65	33,47
5.3	7,44	27,19	27,42	33,88
6.1	7,06	32,61	32,64	39,87
6.2	7,03	32,88	32,84	39,78
6.3	7,17	33,71	32,83	39,53
7.1	0,8	31,4	29,14	35,31
7.2	0,76	31,37	29,39	35,53
7.3	0,65	31,42	29,45	35,12
8.1	10,53	28,02	26,61	33,76
8.2	10,68	28,31	26,52	33,47
8.3	10,69	28,54	26,37	33,91
9.1	11,22	31,66	28,28	35,31
9.2	11,41	31,44	28,79	35,77
9.3	11,81	31,6	28,69	35,89
10.1	7,77	29,55	29,48	34,84
10.2	7,76	29,54	29,68	35,18
10.3	7,19	29,65	29,91	34,5

P und *P'* Spaltränder der Alveolarkammlinie, *T* und *T'* Foveola palatina, *C2* und *C2'* Schnittpunkt vom lateralen Sulcus (distal der Eckzahnanlagen) und der Alveolarkammlinie, *TK* und *TK'* Übergang der Alveolarkammlinie zum Umriss der Tuberositas maxillaris

8.15 Messergebnisse 3Shape unilaterale Spalten

Tabelle 41. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefermodelle mit unilateralen Spalten (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken			
	P-P'	T-T'	C2-C2'	TK-TK'
1.1	4,07	30,65	21,65	36,74
1.2	4,1	31,49	21,18	36,52
1.3	4,1	31,37	21,38	36,38
2.1	1,73	28,8	23,55	33,38
2.2	1,58	28,36	23,55	33,44
2.3	1,71	28,62	23,39	33,1
3.1	11,64	34,38	31,57	40,23
3.2	11,57	33,5	31,74	40,23
3.3	11,63	33,09	31,10	39,72
4.1	4,06	32,66	23,29	38,84
4.2	4,48	33,06	22,83	39,66
4.3	4,2	32,55	22,63	38,37
5.1	7,46	27,2	27,45	33,57
5.2	7,51	27,13	28,02	33,93
5.3	7,71	27,25	28,41	32,96
6.1	7,72	32,83	32,44	39,76
6.2	7,63	32,67	32,03	38,46
6.3	7,42	32,98	32,41	39,57
7.1	0,78	31,79	29,08	35,75
7.2	0,76	31,33	29,14	35,45
7.3	0,75	31,48	29,21	35,54
8.1	10,55	28,45	26,85	33,48
8.2	10,57	28,23	26,94	33,13
8.3	10,51	28,25	26,24	33,31
9.1	11,72	31,35	28,23	35,06
9.2	11,72	31,26	28,98	35,45
9.3	11,74	31,43	28,22	34,75
10.1	7,21	29,55	29,45	34,12
10.2	7,21	29,48	29,68	34,95
10.3	7,3	29,8	29,43	34,96

P und *P'* Spaltränder der Alveolarkammlinie, *T* und *T'* Foveola palatina, *C2* und *C2'* Schnittpunkt vom lateralen Sulcus (distal der Eckzahnanlagen) und der Alveolarkammlinie, *TK* und *TK'* Übergang der Alveolarkammlinie zum Umriss der Tuberositas maxillaris

8.16 Messergebnisse Handmessung bilaterale Spalten

Tabelle 42. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefermodelle mit bilateralen Spalten (Handmessung)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken			
	A-A'	P-P'	C-C'	T-T'
1.1	13,57	18,1	14,33	30,99
1.2	13,58	18,16	14,34	30,66
1.3	13,49	18,27	13,68	30,69
2.1	13,83	16,65	16,58	33,24
2.2	13,75	16,63	16,54	33,77
2.3	13,97	16,62	16,76	33,76
3.1	9,36	15,22	14,38	30,15
3.2	9,65	15,89	14,77	30,32
3.3	9,45	15,23	14,51	30,56
4.1	11,22	16,8	16,82	29,2
4.2	11,38	16,41	17,12	29,89
4.3	11,5	15,67	17,31	29,63
5.1	10,81	17,62	14,91	32,82
5.2	10,78	17,38	14,95	32,85
5.3	10,9	17,05	15,23	32,73
6.1	11,56	12,79	19,33	34,01
6.2	11,41	12,42	19,38	34,02
6.3	11,56	12,56	19,36	34,1
7.1	10,32	18,7	19,03	34,3
7.2	10,4	18,56	18,92	34,16
7.3	10,43	18,56	19,1	34,25
8.1	14,06	18,21	19,71	31,47
8.2	14,4	18,2	19,5	31,33
8.3	14,46	18,29	19,48	31,67
9.1	11,01	19,24	19,6	35,71
9.2	11,11	19,51	20,25	35,48
9.3	10,74	19,18	20,8	35,61
10.1	10,06	18,84	17,97	28,88
10.2	9,84	18,91	17,77	28,57
10.3	10,08	18,92	17,61	28,67

A ventralster Punkt der Prämaxillakontur, **A'** dorsalster Punkt der Prämaxillakontur, **P** und **P'** laterale Punkte der Prämaxillakontur in Verlängerung der Kieferkammlinie, **C** und **C'** Anfangspunkte der Spalten in Verlängerung der Kieferkammlinie, **T** und **T'** posteriores Ende des Tuber maxillae

8.17 Messergebnisse Zirkonzahn bilaterale Spalten

Tabelle 43. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefermodelle mit bilateralen Spalten (Zirkonzahn)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken			
	A-A'	P-P'	C-C'	T-T'
1.1	13,66	18,09	14,35	30,78
1.2	13,72	18,06	13,73	30,8
1.3	13,93	18,11	14,45	30,59
2.1	13,89	16,91	16,88	32,94
2.2	13,76	16,57	16,71	32,68
2.3	13,41	16,56	16,79	32,7
3.1	9,9	12,41	14,43	30,51
3.2	9,81	12,53	14,81	30,12
3.3	10,2	12,37	14,56	30,42
4.1	11,68	17,1	16,87	29,3
4.2	11,63	17,1	16,18	29,58
4.3	11,74	16,9	16,7	29,4
5.1	10,35	17,77	14,93	32,35
5.2	10,96	17,76	14,69	31,63
5.3	11	17,66	14,67	31,61
6.1	11,1	12,64	19,42	34,04
6.2	11,3	12,92	19,34	34,02
6.3	11,2	12,9	19,3	34
7.1	10,77	18,45	19	33,51
7.2	10,35	18,48	19,14	33,4
7.3	10,43	18,61	19,1	33,46
8.1	14,64	18,31	19,64	31,75
8.2	14,41	17,79	19,47	31,57
8.3	14,52	17,87	19,49	31,65
9.1	11,87	17,99	19,29	35,96
9.2	11,5	20,02	19,45	35,91
9.3	11,98	17,55	19,13	35,87
10.1	10,15	19,6	18,12	27,29
10.2	9,95	19,02	18,97	27,06
10.3	10,38	19,57	18,73	27,12

A ventralster Punkt der Prämaxillakontur, **A'** dorsalster Punkt der Prämaxillakontur, **P** und **P'** laterale Punkte der Prämaxillakontur in Verlängerung der Kieferkammlinie, **C** und **C'** Anfangspunkte der Spalten in Verlängerung der Kieferkammlinie, **T** und **T'** posteriores Ende des Tuber maxillae

8.18 Messergebnisse 3Shape bilaterale Spalten

Tabelle 44. Gemessene Strecken [mm] Oberkiefermodelle mit bilateralen Spalten (3Shape)

Modell und Messwiederholung	Messstrecken			
	A-A'	P-P'	C-C'	T-T'
1.1	13,48	18,19	14,40	30,48
1.2	13,46	18,02	14,37	30,52
1.3	13,64	17,87	14,35	30,48
2.1	14,02	16,72	16,44	33,21
2.2	14,01	16,63	16,36	33,03
2.3	14,1	16,58	16,66	33,69
3.1	9,37	15,45	15,10	30,68
3.2	9,95	15,6	15,21	30,46
3.3	9,54	15,57	15,55	30,68
4.1	11,51	16,38	17,16	29,99
4.2	11,53	16,7	17,17	29,86
4.3	11,97	17,1	17,15	30,01
5.1	11,58	17,74	14,65	32,76
5.2	11,66	17,91	14,62	32,01
5.3	11,68	17,38	14,43	32,1
6.1	12,16	12,56	19,20	35,32
6.2	12,24	12,58	19,28	35,32
6.3	12,1	12,57	19,71	34,65
7.1	10,04	18,5	19,60	34,56
7.2	10,03	18,5	19,35	34,31
7.3	10,22	18,26	19,28	34,28
8.1	14,15	17,81	19,60	31,72
8.2	14,62	17,82	19,9	31,9
8.3	15,06	18,34	19,96	31,81
9.1	11,32	19,31	19,62	35,56
9.2	11,11	19,35	19,65	35,85
9.3	11,47	19,28	19,29	36,2
10.1	11,20	19,21	17,67	28,05
10.2	11,9	19,05	17,5	28,8
10.3	11,31	19,07	18,04	28,8

A ventralster Punkt der Prämaxillakontur, **A'** dorsalster Punkt der Prämaxillakontur, **P** und **P'** laterale Punkte der Prämaxillakontur in Verlängerung der Kieferkammlinie, **C** und **C'** Anfangspunkte der Spalten in Verlängerung der Kieferkammlinie, **T** und **T'** posteriores Ende des Tuber maxillae

8.19 Messergebnisse Handmessung Prüfkörper „2 Stümpfe“

Tabelle 45. Gemessene Strecken [mm] Prüfkörper „2 Stümpfe“ (Handmessung)

Messwiederholung	Messstrecken			
	B-B'	L-L'	D-D'	M-M'
1.	13,98	44,07	7,88	30,26
2.	14,01	44,08	8,83	30,11
3.	14	44,02	8,12	29,98

B-B' Breite der Basis, **L-L'** Länge der Basis, **D-D'** Breite des Stumpfes, **M-M'** Distanz vom Mittelpunkt des einen Stumpfes zum Mittelpunkt des kontralateralen Stumpfes

8.20 Messergebnisse Zirkonzahn Prüfkörper „2 Stümpfe“

Tabelle 46. Gemessene Strecken [mm] Prüfkörper „2 Stümpfe“ (Zirkonzahn)

Messwiederholung	Messstrecken			
	B-B'	L-L'	D-D'	M-M'
1.	14,03	44,05	8,02	30,24
2.	14,02	44,05	8,08	30,25
3.	14,02	44,05	8	30,24

B-B' Breite der Basis, **L-L'** Länge der Basis, **D-D'** Breite des Stumpfes, **M-M'** Distanz vom Mittelpunkt des einen Stumpfes zum Mittelpunkt des kontralateralen Stumpfes

8.21 Messergebnisse 3Shape Prüfkörper „2 Stümpfe“

Tabelle 47. Gemessene Strecken [mm] Prüfkörper „2 Stümpfe“ (3Shape)

Messwiederholung	Messstrecken			
	B-B'	L-L'	D-D'	M-M'
1.	14,04	44,03	8,05	30,21
2.	14,04	44,03	7,98	30,1
3.	14,06	44,02	7,93	30,21

B-B' Breite der Basis, **L-L'** Länge der Basis, **D-D'** Breite des Stumpfes, **M-M'** Distanz vom Mittelpunkt des einen Stumpfes zum Mittelpunkt des kontralateralen Stumpfes

8.22 Messergebnisse Handmessung Prüfkörper „Inlay“

Tabelle 48. Gemessene Strecken [mm] Prüfkörper „Inlay“ (Handmessung)

Messwiederholung	Messstrecken			
	A-A'	K-K'	I-I'	H-H'
1.	16	4,98	5,01	6,41
2.	16	5,08	5	6,37
3.	16,03	5,02	4,95	6,36

A-A' Breite der Basis, K-K' Tiefe der Kavität, I-I' Untere Breite der Kavität, H-H' Obere Breite der Kavität

8.23 Messergebnisse Zirkonzahn Prüfkörper „Inlay“

Tabelle 49. Gemessene Strecken [mm] Prüfkörper „Inlay“ (Zirkonzahn)

Messwiederholungen	Messstrecken			
	A-A'	K-K'	I-I'	H-H'
1.	16,03	4,94	4,97	6,38
2.	16,02	4,99	5	6,42
3.	16,03	5,05	5,04	6,42

A-A' Breite der Basis, K-K' Tiefe der Kavität, I-I' Untere Breite der Kavität, H-H' Obere Breite der Kavität

8.24 Messergebnisse 3Shape Prüfkörper „Inlay“

Tabelle 50. Gemessene Strecken [mm] Prüfkörper „Inlay“ (3Shape)

Messwiederholungen	Messstrecken			
	A-A'	K-K'	I-I'	H-H'
1.	15,99	5,03	5	6,39
2.	15,98	4,95	5,08	6,58
3.	15,96	4,99	4,99	6,47

A-A' Breite der Basis, K-K' Tiefe der Kavität, I-I' Untere Breite der Kavität, H-H' Obere Breite der Kavität

9. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1. ZUSAMMENSETZUNG DER VERMESSENEN MODELLARTEN	11
TABELLE 2. DEFINITION DER MESSPUNKTE UND MESSSTRECKEN BEI MODELLEN DER 2. DENTITION UND WECHSELGEBISSE	15
TABELLE 3. DEFINITION DER MESSSTRECKEN UND MESSPUNKTE BEI MODELLEN DER 1. DENTITION	17
TABELLE 4. DEFINITION DER MESSPUNKTE UND MESSSTRECKEN AN OBERKIEFERN MIT BILATERALEN SPALTEN	18
TABELLE 5. DEFINITION DER MESSPUNKTE UND MESSSTRECKEN AN OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN	20
TABELLE 6. DEFINITION DER MESSPUNKTE UND MESSSTRECKEN AM PRÜFKÖRPER „2 STÜMPFE“	21
TABELLE 7. DEFINITION DER MESSPUNKTE UND MESSSTRECKEN AM PRÜFKÖRPER „INLAY“	21
TABELLE 8. TECHNISCHE DATEN DER VERWENDETEN SCANNER NACH HERSTELLERANGABEN	23
TABELLE 9. AUFLISTUNG DER VERGLICHENEN MESSSTRECKEN (WECHSELGEBISSE ENTFALLEN)	26
TABELLE 10. DESKRIPTIVE STATISTIK ÄUßERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION	27
TABELLE 11. DESKRIPTIVE STATISTIK ÄUßERE MESSSTRECKEN BILATERALE LIPPEN-KIEFER-GAUMENSPALTEN	32
TABELLE 12. DESKRIPTIVE STATISTIK INNERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION	37
TABELLE 13. DESKRIPTIVE STATISTIK INNERE MESSSTRECKEN 1. DENTITION	41
TABELLE 14. DESKRIPTIVE STATISTIK INNERE MESSSTRECKEN UNILATERALE LIPPEN-KIEFER-GAUMENSPALTEN	45
TABELLE 15. DESKRIPTIVE STATISTIK MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG 2. DENTITION	50
TABELLE 16. DESKRIPTIVE STATISTIK MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG UNILATERALE LIPPEN-KIEFER-GAUMENSPALTEN ...	54
TABELLE 17. MITTELWERTE DER GEMESSENEN WERTE AN DEN PRÜFKÖRPERN VERGLICHEN MIT IHREN TATSÄCHLICHEN ABMESSUNGEN	58
TABELLE 18. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER 2. DENTITION (HANDMESSUNG)	76
TABELLE 19. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER 2. DENTITION (HANDMESSUNG)	77
TABELLE 20. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER 2. DENTITION (ZIRKONZAHN)	78
TABELLE 21. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER 2. DENTITION (ZIRKONZAHN)	79
TABELLE 22. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER 2. DENTITION (3SHAPE).....	80

TABELLE 23. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER 2. DENTITION (3SHAPE).....	81
TABELLE 24. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER SPÄTES WECHSELGEBISS (HANDMESSUNG)	82
TABELLE 25. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER SPÄTES WECHSELGEBISS (HANDMESSUNG)	83
TABELLE 26. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER SPÄTES WECHSELGEBISS (ZIRKONZAHN)	84
TABELLE 27. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER SPÄTES WECHSELGEBISS (ZIRKONZAHN)	85
TABELLE 28. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER SPÄTES WECHSELGEBISS (3SHAPE)	86
TABELLE 29. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER SPÄTES WECHSELGEBISS (3SHAPE)	87
TABELLE 30. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER FRÜHES WECHSELGEBISS (HANDMESSUNG)	88
TABELLE 31. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER FRÜHES WECHSELGEBISS (HANDMESSUNG)	89
TABELLE 32. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER FRÜHES WECHSELGEBISS (ZIRKONZAHN)	90
TABELLE 33. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER FRÜHES WECHSELGEBISS (ZIRKONZAHN)	91
TABELLE 34. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFER FRÜHES WECHSELGEBISS (3SHAPE)	92
TABELLE 35. GEMESSENE STRECKEN [MM] UNTERKIEFER FRÜHES WECHSELGEBISS (3SHAPE)	93
TABELLE 36. GEMESSENE STRECKEN [MM] 1. DENTITION (HANDMESSUNG)	94
TABELLE 37. GEMESSENE STRECKEN [MM] 1. DENTITION (ZIRKONZAHN)	95
TABELLE 38. GEMESSENE STRECKEN [MM] 1. DENTITION (3SHAPE)	96
TABELLE 39. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFERMODELLE MIT UNILATERALEN SPALTEN (HANDMESSUNG)	97
TABELLE 40. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFERMODELLE MIT UNILATERALEN SPALTEN (ZIRKONZAHN)	98
TABELLE 41. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFERMODELLE MIT UNILATERALEN SPALTEN (3SHAPE)	99
TABELLE 42. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFERMODELLE MIT BILATERALEN SPALTEN (HANDMESSUNG)	100
TABELLE 43. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFERMODELLE MIT BILATERALEN SPALTEN (ZIRKONZAHN)	101
TABELLE 44. GEMESSENE STRECKEN [MM] OBERKIEFERMODELLE MIT BILATERALEN SPALTEN (3SHAPE)	102
TABELLE 45. GEMESSENE STRECKEN [MM] PRÜFKÖRPER „2 STÜMPFE“ (HANDMESSUNG)	103
TABELLE 46. GEMESSENE STRECKEN [MM] PRÜFKÖRPER „2 STÜMPFE“ (ZIRKONZAHN)	103

TABELLE 47. GEMESSENE STRECKEN [MM] PRÜFKÖRPER „2 STÜMPFE“ (3SHAPE).....	103
TABELLE 48. GEMESSENE STRECKEN [MM] PRÜFKÖRPER „INLAY“ (HANDMESSUNG)	104
TABELLE 49. GEMESSENE STRECKEN [MM] PRÜFKÖRPER „INLAY“ (ZIRKONZAHN)	104
TABELLE 50. GEMESSENE STRECKEN [MM] PRÜFKÖRPER „INLAY“ (3SHAPE).....	104

10. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1. PRÜFKÖRPER „2 STÜMPFE"	12
ABBILDUNG 2. PRÜFKÖRPER „INLAY"	12
ABBILDUNG 3. MESSSTRECKEN IM OBERKIEFER EINES MODELLS DER 2. DENTITION	16
ABBILDUNG 4. MESSSTRECKEN IM UNTERKIEFER EINES MODELLS DER 2. DENTITION	16
ABBILDUNG 5. MESSSTRECKEN IN EINEM OBERKIEFERMODELL DER 1. DENTITION	18
ABBILDUNG 6. MESSSTRECKEN IN EINEM UNTERKIEFERMODELL DER 1. DENTITION	18
ABBILDUNG 7. MESSSTRECKEN AN OBERKIEFERMODELLEN MIT BILATERALEN SPALTEN	19
ABBILDUNG 8. MESSSTRECKEN AN OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN.....	19
ABBILDUNG 9. SCHIEBLEHRE MODEL NR. CD-15APX.....	22
ABBILDUNG 10. BEISPIEL FÜR IN DER SOFTWARE 3D-TOOL VERMESSENES 3D-MODELL	23
ABBILDUNG 11. VERTEILUNG DER MESSWERTE BEI ÄUßEREN MESSSTRECKEN IN DER 2. DENTITION BEZOGEN AUF DIE JEWEILIGE MESSMETHODE	28
ABBILDUNG 12. DIFFERENZEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN MESSMETHODEN BEI ÄUßEREN MESSSTRECKEN IN DER 2. DENTITION	28
ABBILDUNG 13. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖßE DER MESSSTRECKE (ÄUßERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION).....	29
ABBILDUNG 14. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG	

MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (ÄUßERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION).....	30
ABBILDUNG 15. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (ÄUßERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION).....	30
ABBILDUNG 16. VERTEILUNG DER MESSWERTE BEI ÄUßEREN MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT BILATERALEN SPALTEN BEZOGEN AUF DIE JEWEILIGE MESSMETHODE.....	33
ABBILDUNG 17. DIFFERENZEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN MESSMETHODEN BEI ÄUßEREN MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT BILATERALEN SPALTEN	33
ABBILDUNG 18. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (ÄUßERE MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT BILATERALEN SPALTEN)	34
ABBILDUNG 19. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (ÄUßERE MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT BILATERALEN SPALTEN)	35
ABBILDUNG 20. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (ÄUßERE MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT BILATERALEN SPALTEN	35
ABBILDUNG 21. VERTEILUNG DER MESSWERTE BEI INNEREN MESSSTRECKEN IN DER 2. DENTITION BEZOGEN AUF DIE JEWEILIGE MESSMETHODE.....	38
ABBILDUNG 22. DIFFERENZEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN MESSMETHODEN BEI INNEREN MESSSTRECKEN IN DER 2. DENTITION	38
ABBILDUNG 23. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION).....	39
ABBILDUNG 24. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION).....	40
ABBILDUNG 25. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÙE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN 2. DENTITION).....	40
ABBILDUNG 26. VERTEILUNG DER MESSWERTE BEI INNEREN MESSSTRECKEN IN DER 1. DENTITION BEZOGEN AUF DIE JEWEILIGE MESSMETHODE	42

ABBILDUNG 27. DIFFERENZEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN MESSMETHODEN BEI INNEREN MESSSTRECKEN IN DER 1. DENTITION.....	42
ABBILDUNG 28. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN 1. DENTITION).....	43
ABBILDUNG 29. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN 1. DENTITION).....	44
ABBILDUNG 30. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN 1. DENTITION).....	44
ABBILDUNG 31. VERTEILUNG DER MESSWERTE BEI INNEREN MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN BEZOGEN AUF DIE JEWEILIGE MESSMETHODE.....	46
ABBILDUNG 32. DIFFERENZEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN MESSMETHODEN BEI INNEREN MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN	46
ABBILDUNG 33. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN)	47
ABBILDUNG 34. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN)	48
ABBILDUNG 35. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (INNERE MESSSTRECKEN BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN).....	48
ABBILDUNG 36. VERTEILUNG DER MESSWERTE BEI MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG IN DER 2. DENTITION BEZOGEN AUF DIE JEWEILIGE MESSMETHODE.....	51
ABBILDUNG 37. DIFFERENZEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN MESSMETHODEN BEI MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG IN DER 2. DENTITION.....	51
ABBILDUNG 38. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG 2. DENTITION).....	52
ABBILDUNG 39. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG	

MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG 2. DENTITION).....	53
ABBILDUNG 40. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG 2. DENTITION).....	53
ABBILDUNG 41. VERTEILUNG DER MESSWERTE BEI MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN BEZOGEN AUF DIE JEWEILIGE MESSMETHODE	55
ABBILDUNG 42. DIFFERENZEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN MESSMETHODEN BEI MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN	55
ABBILDUNG 43. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN)	56
ABBILDUNG 44. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER HANDMESSUNG UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN)	57
ABBILDUNG 45. BLAND-ALTMANN-PLOT ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZEN ZWISCHEN DER MESSUNG MIT ZIRKONZAHN UND DER MESSUNG MIT 3SHAPE BEZOGEN AUF DIE GRÖÖE DER MESSSTRECKE (MESSSTRECKEN OHNE BEGRENZUNG BEI OBERKIEFERMODELLEN MIT UNILATERALEN SPALTEN)	57

11. Erklärung zum Eigenanteil

Die vorliegende Dissertation wurde in der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde / Abteilung Poliklinik für Kieferorthopädie (Ärztlicher Direktor Univ.-Prof. Dr. B. Koos) unter Betreuung von Priv. Doz. Dr. T. E. Bechtold durchgeführt.

Die Konzeption der Studie fand in Zusammenarbeit mit Priv. Doz. Dr. T. E. Bechtold, Dr. G. Blumenstock, sowie M. Sc. ZT S. Spintzyk statt.

Die Modellherstellung, sowie Vermessung der Modelle fand durch mich statt.

Die Digitalisierung der Modelle mittels 3D-Scanner fand nach Einarbeitung durch Mitarbeiter der Firma CA-Digital ebenfalls durch mich statt.

Die Herstellung der Prüfkörper fand nach der DIN EN ISO-Norm 12836 durch die Firma CPM-Precision GmbH statt.

Die statistische Auswertung fand nach Beratung durch Dr. G. Blumenstock vom Institut für Biometrie der Universität Tübingen durch Frau Dipl.-Math. U. v. Hehn statt.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir genannten Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 15.01.2022

12. Danksagung

Nachfolgend möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Erstellung meiner Dissertation begleitet und unterstützt haben.

Ich möchte mich herzlichst bei Herrn Prof. Dr. B. Koos für die Überlassung des Themas, sowie seine Betreuung und Unterstützung beim Verfassen meiner Dissertation bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv. Doz. Dr. T. E. Bechtold, der mir während der Zeit mit hervorragender Betreuung und fachlicher Hilfe zur Seite stand.

Weiter gilt mein Dank Herrn Dr. Gunnar Blumenstock für seine biometrische Beratung und Unterstützung bei der Konzeption dieser Studie.

Weiterer Dank gilt der Firma „CA-Digital“ für die freundliche Bereitstellung ihrer Scanner. Auch der Firma „Schütz-Dental“, sowie Herrn Gresch und M. Sc. ZT Spintzyk, gilt mein Dank für ihre Unterstützung bei der Herstellung der Prüfkörper.

Ich möchte mich auch bei Frau Dipl.-Math. U. v. Hehn für ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten bedanken.

Mein ganz persönlicher Dank gilt meiner Familie, die mir stets motivierend zur Seite stand. Insbesondere meinen Eltern möchte ich danken, dass sie mir das Studium der Zahnmedizin ermöglicht haben.