

# **Studie zur Passgenauigkeit von Zirkoniumdioxidkappchen auf Basis eines direkten und eines indirekten Scans präparierter Zähne**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Breloer, Eva Sabina

aus Recklinghausen

Gießen 2014

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Direktor: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: PD Dr. J.-F. Wilbrand

Tag der Disputation: 12.11.2015

## *Meinen Eltern*

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Ziel der Arbeit.....	3
3	Literaturübersicht.....	4
3.1	Herstellung von festsitzendem Zahnersatz .....	4
3.2	Konventioneller Arbeitsablauf.....	4
3.3	Indirekter Laborscan .....	9
3.3.1	Mechanische Laborscanner .....	11
3.3.2	Optische Laborscanner .....	12
3.3.2.1	Der Laborscanner 3Shape d700.....	15
3.4	Direkter intraoraler Scan.....	17
3.4.1	Optische intraorale Scanner .....	18
3.4.1.1	Der intraorale Scanner cara TRIOS (Fa. 3Shape/Fa. Heraeus Kulzer, Hanau) .....	22
3.5	Marginale Passungen von Restaurationen .....	23
3.5.1	Auswirkung auf die orale Mundgesundheit .....	23
3.5.2	Verfahren zur Bestimmung der marginalen Passgenauigkeit .....	24
4	Material und Methode.....	27
4.1	Rahmenbedingungen .....	27
4.2	Ein- und Ausschlusskriterien .....	27
4.3	Präparation.....	28
4.4	Abformung und Scan .....	28
4.4.1	Weichgewebsmanagement.....	28

4.4.2 Intraoraler Scan .....	29
4.4.3 Korrekturabformung.....	30
4.5 Datenversand .....	31
4.6 Modellherstellung .....	31
4.7 Indirekter Scan.....	32
4.8 Herstellung von Messkäppchen .....	32
4.9 Fräse.....	32
4.10 Anprobe der Messkäppchen .....	32
4.10.1 Messsonden .....	33
4.10.2 Replika-Technik .....	34
4.11 Makroskop.....	35
4.12 Statistische Auswertung .....	36
4.12.1 Replika-Methode .....	37
4.12.2 Präzision der Messsondenwerte.....	37
<b>5 Ergebnisse.....</b>	<b>39</b>
5.1 Replika-Methode .....	39
5.1.1 Vergleich der Scanverfahren insgesamt.....	39
5.1.2 Vergleich der Messstellen .....	40
5.1.3 Vergleich beider Scansysteme im Ober- und Unterkiefer .....	41
5.1.4 Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems.....	43
5.1.5 Vergleich von Ober- und Unterkiefer beide Scansysteme zusammengefasst .....	43
5.2 Präzision der Messsondenwerte .....	45
5.2.1 Vergleich der Scanverfahren insgesamt.....	45

5.2.2 Vergleich der Messstellen .....	45
5.2.3 Vergleich beider Scansysteme im Ober- und Unterkiefer .....	46
5.2.4 Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems.....	48
5.2.5 Vergleich von Ober- und Unterkiefer beide Scansysteme zusammengefasst .....	48
5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	50
<b>6 Diskussion.....</b>	<b>51</b>
6.1 Diskussion der Methoden .....	51
6.1.1 Patienten- und Zahnauswahl .....	51
6.1.2 Präparationsform und Lage der Präparationsgrenze .....	51
6.1.3 Weichgewebsmanagement .....	52
6.1.4 Scanvorgang .....	52
6.1.5 Abformmaterial und Abformtechnik.....	53
6.1.6 Datenverarbeitung .....	54
6.1.7 Messsonden-Technik.....	54
6.1.8 Replika-Methode .....	55
6.1.9 Statistische Auswertung .....	57
6.2 Diskussion der Ergebnisse .....	58
6.2.1 Vergleich der Scanverfahren insgesamt.....	58
6.2.2 Vergleich der Messstellen .....	59
6.2.3 Vergleich beider Scansysteme im Ober- und Unterkiefer .....	59
6.2.4 Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems.....	60
6.2.5 Vergleich von Ober- zu Unterkiefer beide Scansysteme zusammengefasst .....	60
6.3 Einordnung der Ergebnisse.....	60

6.4 Schlussfolgerung.....	63
7 Zusammenfassung .....	64
8 Summary.....	65
9 Literaturverzeichnis .....	66
10 Anhang.....	73
10.1 Abbildungsverzeichnis .....	73
10.2 Ergebnistabellen.....	75
10.3 Tabellenverzeichnis .....	80
11 Erklärung .....	81
12 Danksagung .....	82
13 Lebenslauf.....	83

# 1 Einleitung

Der Wunsch nach zahnfarbenen, festsitzenden Restaurationen ist in der heutigen Zahnmedizin sehr groß. Vor allem die wachsenden Ansprüche der Patienten bezüglich Ästhetik und Biokompatibilität machen die keramischen Versorgungen zu einer interessanten Alternative zu metallischen zahnmedizinischen Restaurationen<sup>75</sup>. Dabei werden Zirkoniumdioxidgerüste im CAD/CAM Verfahren hergestellt<sup>55</sup>. Bei dem CAD/CAM Verfahren werden drei verschiedene Wege unterschieden<sup>30</sup>:

- der indirekte Scan der Abformung<sup>41, 65</sup>,
- der indirekte Scan des Gipsmodells<sup>17, 41, 65, 84</sup>
- und der intraorale direkte Scan<sup>41, 65</sup>.

Bei den ersten beiden Verfahren ist die konventionelle Abformung immer noch Ausgangspunkt für die darauf folgenden Arbeitsschritte. Je präziser die Abformung ist, desto präziser kann die festsitzende Restauration im zahntechnischen Labor hergestellt werden, denn sowohl die marginale Passung als auch die interne Passung sind entscheidend für das klinische Ergebnis einer festsitzenden Restauration<sup>89</sup>. Wünschenswert sind marginale Passungen von 100-120µm und kleiner<sup>40</sup>. Bei der konventionellen Abformung besteht nämlich die Gefahr der Fehlerpotenzierung. Obwohl man mit einem standardisierten Arbeitsablauf versucht, die Genauigkeit einer Abformung zu erhöhen, gibt es aufgrund der zahlreichen Arbeitsschritte einige Fehlerquellen. Darüber hinaus wird die konventionelle Abformung von vielen Patienten als unangenehm empfunden. Deshalb ist eine Alternative zur konventionellen Abformung wünschenswert<sup>37, 38</sup>.

Wenn auch die prinzipielle Methodik der digitalen Abformung seit 25 Jahren verfügbar ist, kam es in den letzten Jahren zu erheblichen Weiterentwicklungen<sup>84</sup>. Der Vorteil einer digitalen intraoralen Abformung besteht darin, dass die Situation im Patientenmund direkt mit einer Kamera abgescannt wird und der Zahnersatz anschließend virtuell am Computer hergestellt werden kann. Somit gibt es weniger Zwischenschritte, bei denen sich Fehler einschleichen können<sup>51</sup>.

Obwohl die verschiedenen Scanner kommerziell verfügbar sind, gibt es kaum in-vivo Studien, die sich mit der Frage der Genauigkeit dieser Systeme befassen. In der vorliegenden Arbeit sollen deshalb die Passgenauigkeiten von Zirkoniumdioxidkronen, die



auf Basis eines direkten intraoralen Scanners (cara TRIOS von Heraeus) und eines indirekten Laborscanners (3Shape d700) entstanden sind, in-vivo verglichen werden.

## 2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, die Passgenauigkeiten von Zirkoniumdioxidkappchen miteinander zu vergleichen, welche zum einem auf Basis eines direkten intraoralen Scans und zum anderen auf Basis eines indirekten Laborscans hergestellt wurden. Es wird die marginale Diskrepanz der hergestellten Zirkoniumdioxidkappchen (Messkappchen) verglichen. Dazu werden zwei verschiedene Untersuchungsverfahren benutzt:

- Replika-Technik
- Messsonden-Technik

Die folgende Nullhypothese wird untersucht: Es gibt keinen Unterschied zwischen der marginalen Passgenauigkeiten der Zirkoniumdioxidkappchen, die durch einen intraoralen direkten Scan und durch einen indirekten Laborscan hergestellt wurden.

## 3 Literaturübersicht

### 3.1 Herstellung von festsitzendem Zahnersatz

In der heutigen Zahnmedizin gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten, eine prothetisch festsitzende Restauration herzustellen, den konventionellen und den digitalen Weg, dessen wesentlicher Bestandteil das sogenannte CAD/CAM-Verfahren (computer-aided design/computer-aided manufacturing) ist<sup>23, 68</sup>. Beiden Wegen gemein ist der Umstand, dass der Zahntechniker ein Modell als Grundlage zur Herstellung einer prothetischen Versorgung benötigt. Dieses liegt dem Zahntechniker beim konventionellen Weg als physisches Gipsmodell vor, hergestellt auf Basis einer konventionellen Abformung, wohingegen es bei dem digitalen Weg als virtuelles Modell zur Verfügung steht. Für den digitalen Weg gibt es wiederum grundsätzlich zwei verschiedene Akquisitionsprinzipien. Eine Möglichkeit ist die indirekte Digitalisierung, bei der entweder die Abformung selbst oder das Gipsmodell mittels eines Laborscanners digitalisiert wird. Der zweite Weg ist die direkte Digitalisierung, die mit einem optischen intraoralen Scanner direkt im Patientenmund erfolgt. Durch die CAD/CAM Technik können anschließend Hochleistungskeramiken zum Einsatz kommen, die biokompatibel sind und den heutigen ästhetischen Ansprüchen gerecht werden<sup>88</sup> (Abb. 1).

### 3.2 Konventioneller Arbeitsablauf

Nachdem bei einem Patienten mit der Indikation zur festsitzenden Restauration der entsprechende Zahn präpariert wurde, wird die Situation im Patientenmund abgeformt. Die Abformung spielt eine zentrale Rolle für die Herstellung von festsitzendem Zahnersatz. Sie stellt die Verbindung zwischen intraoraler Situation und zahntechnischem Labor her<sup>82, 92</sup>. Nur auf Grundlage einer Abformung kann im Labor die prothetische Restauration angefertigt werden. Deshalb ist die Qualität der Abformung besonders wichtig<sup>58</sup>. Vor allem die Dimensionstreue und die Detailwiedergabe einer Abformung sind entscheidend für die spätere Passgenauigkeit der zahnärztlichen Restauration<sup>58</sup>.

Wann eine Abformung von festsitzenden prothetischen Arbeiten stattfinden soll, muss gut überlegt sein, da der Zeitpunkt der Abformung die Qualität der Arbeit stark beeinflusst. In der Literatur werden zwei Varianten empfohlen<sup>99</sup>. Wird noch am selben Tag,

an dem die Präparation durchgeführt wurde, abgeformt, besteht der Vorteil, dass der Sulkus durch die Präparation offen ist<sup>93, 99</sup>. Findet die Abformung jedoch ein bis zwei Tage nach der Präparation statt, so hat bereits der Wundheilungsprozess des verletzten Gewebes begonnen. Dieses noch nicht stabile Granulationsgewebe kann allerdings durch den Vorgang der Abformung leicht verletzt werden, wodurch es zur Blutung kommen kann. Diese Blutung ist schwer zu stillen und die Qualität der Abformung wird durch sie negativ beeinflusst<sup>99</sup>. Nach sieben bis zehn Tagen ist die Wundheilung des Weichgewebes abgeschlossen. Kommt es nach sieben bis zehn Tagen dennoch zu einer Blutung, kann diese mit herkömmlichen Methoden des Weichgewebsmanagement gestillt werden.

Für die konventionelle Abformung muss im Vorhinein ein Abformlöffel in der passenden Größe für den Patienten bestimmt werden. Je nach Abformtechnik und –material sind diese konfektioniert, individuell, glatt oder perforiert. Der Abformlöffel wird mit einem Adhäsivlack bestrichen.

Da bei einem präparierten Zahn das Dentin frei liegt, empfinden viele Patienten Schmerzen an diesem Zahn. Allein das Lufttrocknen des Zahnes wird als unangenehm oder auch schmerzhaft empfunden. Für den Patienten stellt die Behandlung an diesem Zahn somit einen großen Stressfaktor dar. Mithilfe einer Infiltrationsanästhesie können diese Schmerzen ausgeschaltet werden, was für sowohl den Patienten, aber auch für den behandelnden Zahnarzt von Vorteil ist. Als weitere Anästhesieform wird die intrapapilläre Anästhesie empfohlen. Durch diese Form der Anästhesie kann eine Blutleere direkt um die Präparationsgrenze erreicht und die Fließrate der Sulkusflüssigkeit niedrig gehalten werden<sup>93, 99</sup>, der abzuformende Bereich ist leichter trocken zu halten.

Um eine möglichst gute Abformung zu bekommen, muss die Präparationsgrenze des abzuformenden Zahnes gut einsehbar sein. Bei der Lage der Präparationsgrenze wird zwischen supragingival, paragingival und subgingival unterschieden. Sie wird oft durch verschiedene Faktoren vorbestimmt. Dennoch hat die Lage der Präparationsgrenze einen signifikanten Einfluss auf den späteren Sitz der prothetischen Restauration<sup>100</sup>.

Grundsätzlich sind die supragingival gelegenen Präparationsgrenzen von Vorteil<sup>63, 77</sup>. Sie sind vom Behandler besser einsehbar, lassen sich einfacher abformen, und bei der späteren Eingliederung der Versorgung lässt sich der marginale Rand der Restauration besser kontrollieren. Auch für den Patienten ist es einfacher, diese Restauration zu pflegen<sup>61</sup>. Dennoch empfiehlt sich häufig eine subgingivale Präparation, in Fällen geringer

Retention<sup>63</sup> oder bei der Erneuerung einer schon vorhandenen Krone oder, wenn der kariöse Defekt bis nach subgingival reicht. Auch aus ästhetischen Gründen, vor allem im Frontzahnggebiet, kann eine subgingival gelegene Präparationsgrenze indiziert sein<sup>77</sup>. Subgingivale Präparationsgrenzen sind schwerer abzuformen<sup>59</sup>. *Wöstmann et al.*<sup>100</sup> zeigten in ihrer Studie, dass paragingivale Präparationsgrenzen zu besseren marginalen Passungen der Kronen führen als subgingivale Präparationsgrenzen. Zudem ist es für den Behandler schwer, den marginalen Rand vor und nach der Eingliederung der Krone zu beurteilen<sup>53</sup>. In mehreren Studien wurde außerdem der Zusammenhang von subgingivalen Präparationsrändern und Zahnfleischentzündungen, Attachmentverlust und gingivale Rezessionen dargestellt<sup>91, 90</sup>.

Um die Präparationsgrenze für die konventionelle Abformung eindeutig sichtbar zu halten, gibt es verschiedene Methoden zur Retraktion des Weichgewebes. Diese kann mechanisch, pharmakologisch und chirurgisch erfolgen:

Zu den mechanischen Retraktionsmaßnahmen zählen die Retraktionsfäden, die es in den Ausführungen geflochten, gezwirnt und rundgestrickt gibt.

Solche Retraktionsfäden werden zirkulär in den Sulkus des präparierten Zahnes gelegt. Bei der konventionellen Abformung wird die Einfaden-Technik angewandt. Diese Fäden können vom Hersteller mit einem medikamentösen Zusatz getränkt sein oder der Zahnarzt selbst trinkt die reinen Baumwollfäden vor Gebrauch.

Eine weitere rein mechanische Retraktionsmaßnahme ist die Anwendung von elastischen Retraktionsmanschetten. Sie werden vor allem bei Einzelzahnpräparationen eingesetzt<sup>93</sup>.

Ebenfalls zu den mechanischen Retraktionsmethoden gehören expandierende Pasten. Diese werden in den Sulkus appliziert und expandieren im Rahmen einer chemischen Reaktion, wodurch der Sulkus geöffnet wird<sup>94</sup>.

Als pharmakologische Zusätze dienen Vasokonstringentien oder Adstringentien<sup>21, 42</sup>. Zu den Vasokonstringentien zählt beispielsweise Adrenalin<sup>94</sup>. Zu den Adstringentien gehören Aluminiumchlorid, Aluminiumsulfat und Eisensulfat<sup>94</sup>. Grundsätzlich ist es nicht zu empfehlen, Fäden ohne medikamentösen Zusatz zu verwenden, da es sonst nach der Entnahme dieser ungetränkten Fäden aus dem Sulkus zu einer erhöhten Sulkusfließrate kommt<sup>21, 101</sup>.

Eine chirurgische Methode ist die Anwendung des Elektrotoms, mit dem das Weichgewebe entfernt werden kann. Da es bei dieser Art der Weichgewebsentfernung oft zu gingivalen Rezessionen kommt, sollte diese Maßnahme nur als Ergänzung gesehen werden<sup>94</sup>.

Bei der Abformung selbst hat der Behandler die Wahl zwischen verschiedenen Abformmaterialien und Abformtechniken.

Heutzutage sind die Silikone die meistverwendeten Materialien<sup>99</sup>. Dabei wird zwischen additions- und kondensationsvernetzenden Silikonen unterschieden. Bei der Aushärtung der Silikone findet eine „Vernetzung der einzelnen Polydimethylsiloxanketten zu einem Makromolekül“<sup>99</sup> statt. Bei den C-Silikonen handelt es sich bei der Vernetzungsreaktion um eine Polykondensation. Die Vernetzungsreaktion bei den A-Silikonen ist wiederum eine Polyaddition<sup>99</sup>. Beide Materialien haben ihre Vor- und Nachteile.

Ein Vorteil der C-Silikone liegt darin, dass sie am Anfang der Abbindereaktion hydrophil reagieren<sup>99</sup>. Zudem sind sie unempfindlich gegenüber Inhibitorsubstanzen<sup>52</sup>. Nachteile der C-Silikone sind jedoch, dass sie nicht leicht zu dosieren<sup>99</sup> und nicht sehr lagerstabil<sup>103</sup> sind. Außerdem kommt es bei den C-Silikonen zu endogenen Spannungen, da die Aushärtung bereits unmittelbar nach dem Mischbeginn anfängt<sup>52</sup>.

A-Silikone haben den Vorteil, dass sie ein höheres Rückstellvermögen besitzen und dimensionsstabiler als C-Silikone sind<sup>74</sup>. Zudem sind sie unbegrenzt lagerfähig und einfach zu desinfizieren<sup>52</sup>. Anders als die C-Silikone lassen sich A-Silikone präzise dosieren<sup>52</sup>, und es entstehen weniger endogene Spannungen bei der Aushärtung, da dieser Aushärtungsprozess in einer „Snap-Set“-Reaktion abläuft<sup>52</sup>. Nachteile der A-Silikone sind, dass sie am Anfang der Abbindereaktion hydrophob reagieren<sup>59</sup> und erst am Ende der Abbindereaktion hydrophil werden. Zudem sind die A-Silikone sehr empfindlich gegenüber Inhibitorsubstanzen<sup>99</sup>.

Ein weiteres Abformmaterial ist das Polyether-Material, das auch durch Polymerisation aushärtet<sup>52</sup>. Seine Abformgenauigkeit ist vergleichbar mit der des A-Silikons<sup>99</sup>. Doch auch dieses Material ist wie das A-Silikon empfindlich gegenüber Zusatzstoffen wie Metallsalzen oder Schwefelverbindungen<sup>99</sup>. Von Vorteil ist, dass dieses Material sehr lagerstabil ist<sup>99</sup>, eine hohe Detailwiedergabe bietet und hydrophil ist. Während der Polymerisation kommt es nur zu geringen Dimensionsänderungen<sup>74</sup>. *Samet et al.*<sup>79</sup> konnten in ihrer Studie zeigen, dass Polyether-Materialien weniger benutzt werden als

A- oder C-Silikone. Gründe dafür könnten der relativ hohe Preis des Materials oder der unangenehme Geschmack sein<sup>7</sup>. Weitere Nachteile vom Polyether sind, dass dieses Material schlecht zu desinfizieren ist und bei der Handhabung häufig ein individueller Löffel nötig ist<sup>22, 74</sup>.

Zu den neueren Abformmaterialien gehören die Hybridmaterialien. Sie wurden entwickelt, um „die positiven Eigenschaften von Silikonen und Polyethern zu kombinieren“<sup>74</sup>.

Bei den Abformtechniken wird zwischen einzeitig-einphasigen, einzeitig-zweiphasigen und zweizeitig-zweiphasigen Techniken unterschieden.

Bei der einzeitig-einphasigen Abformtechnik sollte möglichst ein individueller Löffel und Polyether verwendet werden. Mit dieser Technik können sehr genaue Abformungen erreicht werden<sup>99</sup>. Verdrängungseffekte oder endogene Spannung treten hier kaum auf<sup>74</sup>.

Die Doppelmischabformung ist eine einzeitige-zweiphasige Abformtechnik. Bei dieser Art von Abformung sollen im Gegensatz zur Korrekturabformung die Verdrängungseffekte vermieden werden<sup>99</sup>. Hier wird ein perforierter Metalllöffel verwendet. Dieser wird mit einem Putty-Material und anschließend mit einem Light-Body-Material beschickt. Die Doppelmischabformung zeigt im Laborversuch genauere Ergebnisse als die Korrekturtechnik<sup>28, 86, 99</sup>. Subgingivale Bereiche lassen sich jedoch mit der Doppelmischabformung schwieriger darstellen, da der Staudruck fehlt. Zudem kommt es durch den fehlenden Staudruck zu sogenannten „Saugnasen“<sup>99</sup>.

Die Korrekturabformung gehört zu den zweizeitigen-zweiphasigen Abformtechniken und ist die Methode, die in Deutschland am weitesten verbreitet ist. Als Materialien empfehlen sich A- oder C-Silikone<sup>99</sup>. Für die Korrekturabformung wird ein perforierter Metalllöffel mit Putty-Material beschickt und im Patientenmund positioniert. Nachdem diese erste Phase ausgehärtet ist, wird die Abformung beschnitten. Danach wird der Zahnkranz im Abformlöffel mit einem Light-Body-Material beschickt. Gleichzeitig wird der präparierte Stumpf mit demselben Material umspritzt und der Löffel wird wieder im Patientenmund repositioniert. Bei dieser Technik lässt sich ein guter Staudruck erzielen. Dieser Staudruck ist von Vorteil, wenn die Präparationsgrenze subgingival liegt<sup>99</sup>. Bei der Korrekturabformung besteht die Gefahr, dass die Modellstümpfe zu klein dargestellt werden<sup>59, 99</sup>. Trotzdem zeigen in-vivo Studien, dass die Korrekturab-

formung bessere Ergebnisse liefert als die Doppelmischabformung<sup>98</sup>. Polyether-Materialien sind für die Korrekturabformtechnik nicht geeignet<sup>99</sup>.

Nachdem die Abformung durchgeführt wurde, muss der Behandler diese kritisch daraufhin begutachten, ob alle wichtigen Details der Präparation gut zu erkennen sind. Anschließend wird die konventionelle Abformung desinfiziert und in ein zahntechnisches Labor geschickt. Dort wird auf Basis der Abformung ein physisches Gipsmodell hergestellt, auf dem der Zahntechniker die spätere Restauration herstellt.

### 3.3 Indirekter Laborscan

Die Nutzung eines indirekten Laborscanners stellt eine von zwei Möglichkeiten des digitalen Wegs zur Herstellung festsitzender Restaurationen dar. Grundlage der indirekten Digitalisierung ist die konventionelle Abformung. Diese wird auf die gleiche Weise durchgeführt wie bei dem konventionellen Arbeitsweg (Kap. 3.2), (Abb. 1). Erst im zahntechnischen Labor ändert sich der Arbeitsablauf zwischen konventionellem und indirektem digitalem Herstellungsprozess. Die indirekte Digitalisierung kann entweder an der Abformung oder am Gipsmodell erfolgen. Das Gipsmodell oder die Abformung wird im Laborscanner positioniert und sodann digitalisiert. Diese Digitalisierung erfolgt entweder durch einen mechanischen oder durch einen optischen Laborscanner. Beide Arten von Scanner werden im weiteren Verlauf der Arbeit genauer erläutert (Kap. 3.3.1 und 3.3.2). Durch die Digitalisierung erhält der Zahntechniker ein virtuelles Modell. Anhand dieses virtuellen Modells wird am Computer die gewünschte Restauration designt (CAD = computer aided design). Die designte Restauration wird als STL-Datei („Standard Tessellation Language“)<sup>13, 68</sup> an eine Fräsmaschine in einem Fräszentrum oder ins eigene Labor gesendet. Diese Maschine fräst aus vorgesinterten Keramikblöcken die Restauration. Für die CAD/CAM-Technologie werden Werkstoffe wie Aluminiumdioxid- und Zirkoniumdioxidblöcke angeboten<sup>12</sup>. Die Möglichkeit, die CAD/CAM gefertigte Restauration in einem zentralen Fräszentrum herstellen zu lassen, bietet mehrere Vorteile. Es herrschen in einem Fräszentrum meist konstante Bedingungen, die vor allem beim Sinterungsprozess sehr wichtig sind, und es gibt eine größere Auswahl an Materialien mit entsprechenden Frässystemen. Zudem stehen die Fräseinheiten unter ständiger Kontrolle und die kosten- und zeitintensiven Wartungen und Updates werden zentral gesteuert<sup>33</sup>.



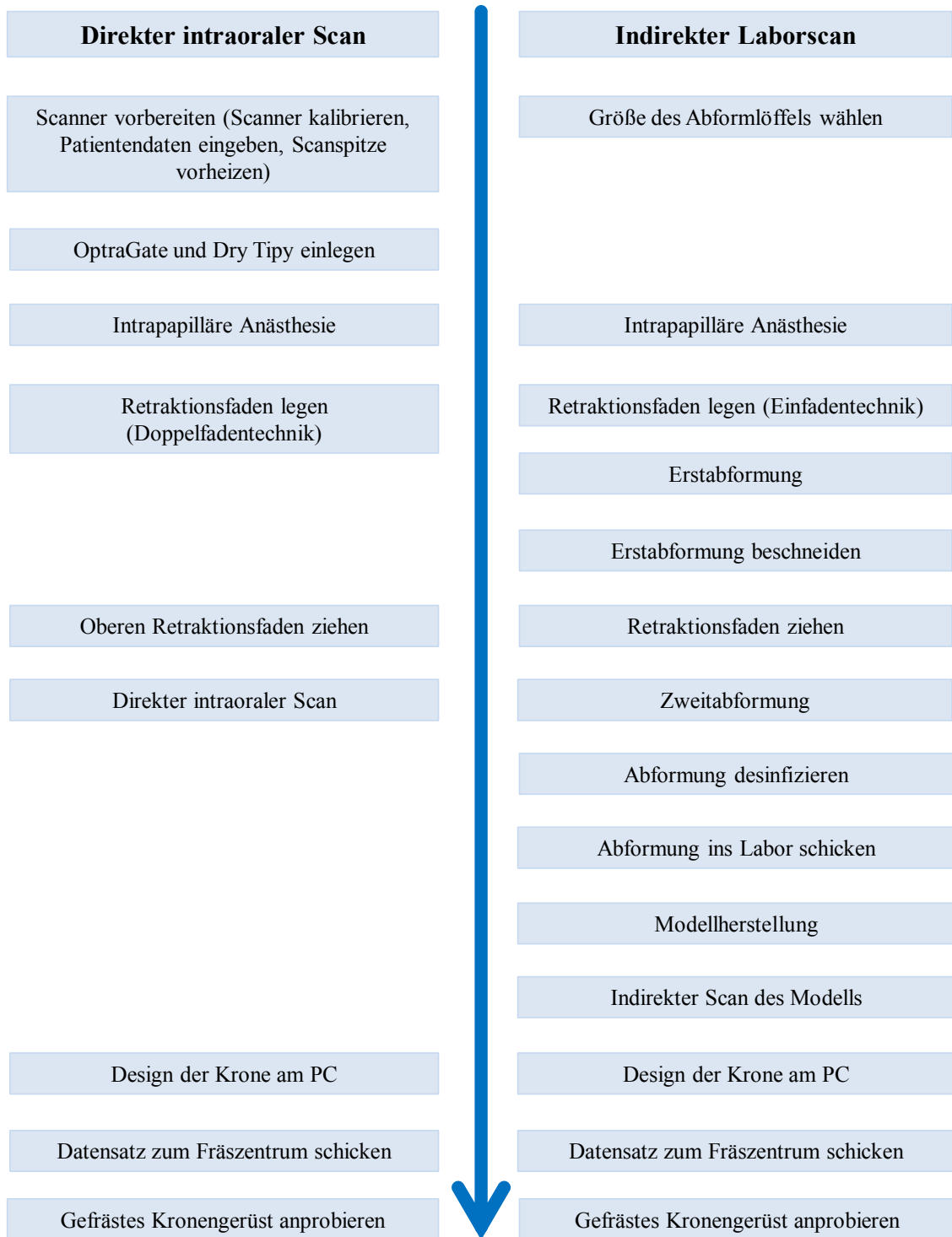


Abb. 1: Arbeitsablauf direkter intraoraler Scan vs. indirekter Laborscan

### 3.3.1 *Mechanische Laborscanner*

Der Scan mit einem mechanischen Laborscanner ist eine Variante der indirekten Digitalisierung. Das Procera-System (Nobel Biocare AB, Göteborg, Schweden), ein sogenannter „touch probe scanner“ (Kontaktsonden Scanner)<sup>6</sup>, war eins der ersten Systeme auf dem Markt, die dieses Verfahren benutzte.

Das Procera-System arbeitet mit einer Kontaktsonde. An der Spitze der Kontaktsonde befindet sich ein Saphir Ball. Dieser steht im 45° Winkel zur Oberfläche des abzutastenden Modells. In diesem Winkel ist es möglich, in einem Durchgang die ganze Oberfläche des Modells zu erfassen. Das abzutastende Modell wird dabei auf einem Teller befestigt, der sich während der Datenakquisition dreht und senkt. Die Geschwindigkeit ist dabei konstant. Während einer Umdrehung des Tellers wird ständig die Position der Sonde registriert. Dies geschieht 360mal pro Drehung, das entspricht einer Registrierung pro Grad. Die Ausmaße der Sondenspitze und die Gestaltung des Lesegerätes sind identisch zu den Schleifwerkzeugen und der Fräsmaschine. Somit erübrigt sich eine Umrechnung der Dimensionen, womit eine Fehlerquelle vermieden wird<sup>66</sup>.

Eine Studie von *Persson et al.*<sup>66</sup> belegt, dass das Procera-System einen präzisen Arbeitsweg ermöglicht, mit dem sich qualitativ gute CAD/CAM Restaurationen herstellen lassen.

Mit mechanischen Scannern lassen sich vor allem Gipsmodelle gut digitalisieren. Die Daten können als adäquat angesehen werden<sup>29</sup>. Jedoch besteht bereits bei der Herstellung eines Gipsmodells das Risiko der Fehlerentstehung, zum Beispiel durch Expansion des Gipses<sup>41, 66</sup>. Zudem grenzt der Durchmesser der Sonde den Einsatzbereich des mechanischen Scanners ein<sup>51</sup>. Vor allem bei komplexen Präparationsformen kommt es durch den Tastkopf/ die Kontaktsonde zu technischen Schwierigkeiten<sup>54</sup>.

Um Fehlerquellen bei der Modellherstellung zu vermeiden, kann eine Abformung direkt eingescannt werden. Für diesen Vorgang der indirekten Digitalisierung ist der mechanischen Scanner jedoch nicht geeignet, da diese verformt werden kann, falls während des Scanvorgangs die Abformung durch die Kontaktsonde berührt wird<sup>41, 64</sup>.

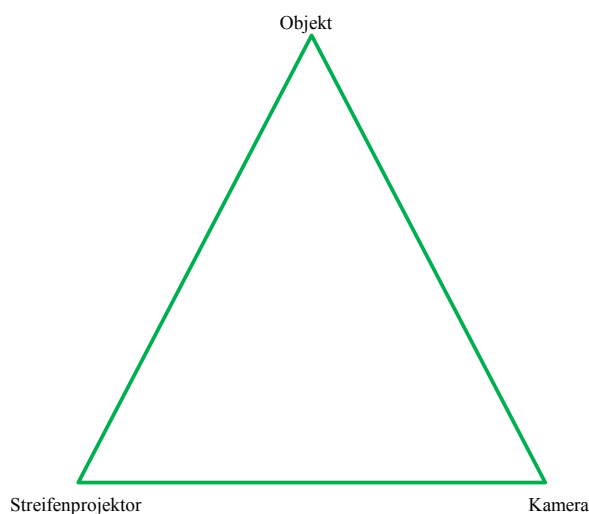
Oft werden deswegen die mechanischen Scanner durch die optischen Systeme ersetzt<sup>66</sup>. Zudem ermöglicht die erhöhte Rechenleistung von Computersystemen den Vormarsch von optischen Systemen<sup>46</sup>.

### 3.3.2 Optische Laborscanner

Die zweite Variante der indirekten Digitalisierung stützt sich auf optische Prinzipien. Diese Laborscanner arbeiten berührungsfrei und können somit sowohl Gipsmodelle als auch Abformungen digitalisieren. Es kommen verschiedene optische Messprinzipien zum Einsatz, die im Folgenden erläutert werden:

#### Triangulationsverfahren/ Streifenlichtprojektion

Das Triangulationsverfahren ist das am meisten verwendete Verfahren<sup>46</sup>. Dabei wird ein Lichtsignal durch eine Sendeeinheit auf das zu scannende Objekt projiziert. Das Objekt verändert das auftreffende Lichtsignal, und zwar entweder die Phase, die Richtung, die Amplitude oder die Polarisierung des Lichtsignals<sup>46</sup>. Diese Veränderung wird von einer Kamera registriert und erhält durch Triangulation die dreidimensionalen Punkte<sup>46, 64</sup> (Abb. 2).



**Abb. 2: Prinzip der optischen Triangulation**

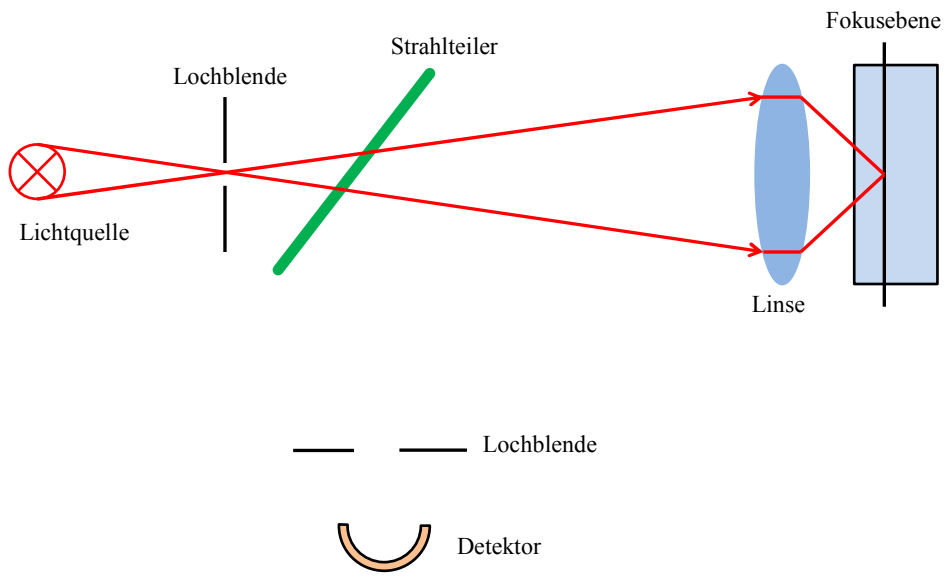
Bei der Streifenlichtprojektion projiziert eine Sendeeinheit ein Streifenmuster auf das zu scannende Objekt. Dieses Streifenmuster wird durch die unterschiedlichen Höhen in der Objektoberfläche verzerrt dargestellt. Das Bild des verzerrten Streifenmusters wird von einer Kamera (CCD-Chip) aufgenommen. Anschließend wird durch das statische und dynamische Projektionsmuster mittels einer Messsoftware das 3D-Profil des Objektes berechnet. Die Anordnung von Sendeeinheit, Objekt und Kamera ergibt ein Triangula-

tionsdreieck. Deswegen kann die Streifenlichtprojektion zu den Triangulationsverfahren gezählt werden<sup>82, 102</sup>.

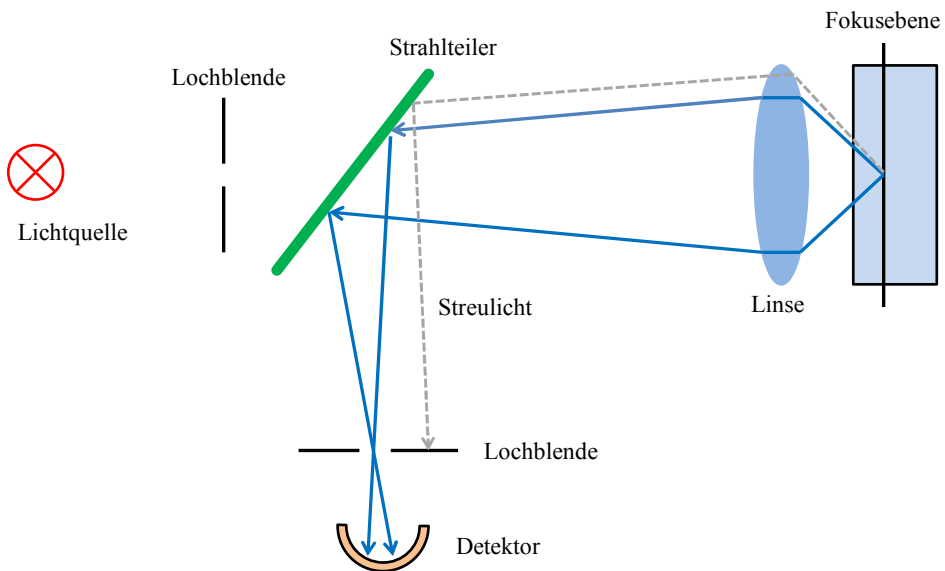
Bei der Streifenlichtprojektion kann zwischen zwei verschiedene Projektionsmuster unterschieden werden. Zum einem gibt es das phasenverschobene Sinusmuster, bei dem eine Bildsequenz aus Gittern auf das Objekt projiziert wird. Diese Gitter haben einen sinusförmigen Intensitätsverlauf. Die Breite dieser Gitter ist einheitlich zueinander verschoben. Zum anderen gibt es das Gray-Code Verfahren. Bei diesem Verfahren sind die einzelnen Streifen im Sinusmuster mit einer Nummer versehen. Dafür wird das Objekt mit einer Rechteckgittersequenz beleuchtet. Die Streifendicke wird von Bild zu Bild verdoppelt<sup>46</sup>.

### Konfokales Prinzip

Bei dem konfokalen Prinzip wird das Licht einer punktförmigen Lichtquelle über eine Linse auf eine Oberfläche fokussiert. Das reflektierte Licht wird auf das gleiche Objektiv zurückgeführt. Ein Strahlteiler sondert dort einen Teil des reflektierten Lichtes in den Detektor ab. Das Ausgangslicht und das reflektierte Licht liegen übereinander. Bereiche, die außerhalb der fokalen Ebene liegen, werden herausgefiltert. Dies geschieht dadurch, dass die Lichtintensität der Strahlen, die außerhalb des Fokusbereiches (Streulicht) liegen, zu schwach ist und weil die Lochblende nur von den Strahlen passiert wird, die im Fokus liegen. Dadurch wird der Kontrast erhöht. Der Detektor (Photodetektor) wandelt das empfangene Lichtsignal in ein elektrisches Signal um. Indem die Fokussierung verändert wird, können unterschiedlichen Fokusebenen abgebildet werden. Eine Fokusebene stellt eine Schicht von 50µm dar. Somit entsteht ein Stapel an Bildern mit einer Schicht von 50µm. Durch das Zusammenfügen dieser vielen 2D-Bilder entsteht ein 3D-Bild<sup>50, 82</sup> (Abb. 3 und 4).



**Abb. 3: Konfokales Prinzip: emittiertes Licht**



**Abb. 4: Konfokales Prinzip: reflektiertes Licht**

Active wavefront sampling

Ein optisches Prinzip, das derzeit nur bei den direkten intraoralen Scannern eingesetzt wird, ist das „active wavefront sampling“. Dabei wird das zu scannende Objekt von mehreren Kameras gleichzeitig erfasst, die das Objekt aus verschiedenen Perspektiven aufnehmen. Eine Kamera hat zwei Blenden, die in einem definierten Abstand zueinander stehen. Je nachdem wie weit das Objekt entfernt ist, wird dieses unterschiedlich auf dem Bildwandler dargestellt<sup>2</sup>. Dadurch entstehen zwei Bilder. Eine Messsoftware ermittelt auf den verschiedenen Bildern Bildpunkte, die identisch sind. Durch die Kenntnis der Geometrie der Kameras, deren Abstände zueinander und der Lage der Bildpunkte, können die 3D-Koordinaten ermittelt werden<sup>2, 88, 102</sup> (Abb. 5).

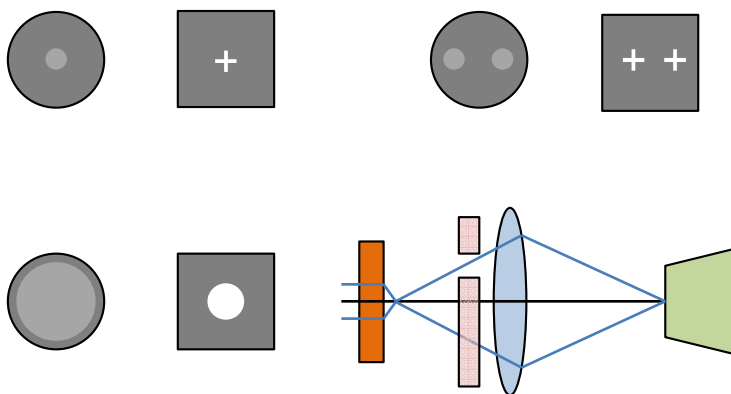


Abb. 5: Prinzip des „active wavefront sampling“

### 3.3.2.1 Der Laborscanner 3Shape d700

Der Scanner 3Shape d700 ist ein Modell- und Abdruckscanner (Abb. 6). Mit diesem Scanner ist es möglich, Abformungen und Gipsmodelle einzuscannen<sup>20</sup>. Er wird genutzt, um Einzelstümpfe, Modelle, Abformungen, Antagonisten, Wax-ups, Bissregistrare, Abutments, Set-ups und Scankörper zu digitalisieren<sup>71</sup>. Der Scanner 3Shape d700 wurde 2009 auf dem Markt gebracht. Seine Aufnahmetechnologie beruht auf einem Laserschnittverfahren und der Triangulation<sup>71</sup>. Der 3Shape D700 hat drei Achsen und arbeitet mit zwei Kameras. Die Größe des Messfeldes beträgt ungefähr 200cm<sup>2</sup>. Die Auflösung des Detektors liegt bei 1,3 Millionen Pixel. Um einen Einzel-

stumpf abzumessen, benötigt der 3Shape d700 eine Minute, für einen Quadranten zwei Minuten. Die Daten werden als STL-Output zu Verfügung gestellt<sup>71</sup>. Laut Hersteller beträgt die Scangenaugigkeit  $20\mu\text{m}$ . In einer in-vitro Studie wurden mit dem Laborscanner 3Shape d700 Mittelwerte von  $54\mu\text{m}$  (Prämolar) und  $75\mu\text{m}$  (Molar) für die marginale Diskrepanz erreicht<sup>49</sup>.

*Keul et al.*<sup>44</sup> erreichten in ihrer In-vitro-Studie mit dem Laborscanner CS2 von Straumann einen Mittelwert von  $141\mu\text{m}$  für die marginale Diskrepanz von Zirkoniumgerüsten. Mit dem Laborscanner Lava Scan ST wurden in einer In-vitro-Studie ein Mittelwert von  $65\mu\text{m}$  für die marginale Diskrepanz erreicht<sup>5</sup>. In einer anderen In-vitro-Studie von *Seelbach et al.*<sup>84</sup> wurde durch den Scan mit dem Lava Scan ST mit dem Material *Lava zirconia* ein Mittelwert von  $33\mu\text{m}$  (Doppelmischabformung) und  $60\mu\text{m}$  (Korrekturabformung) erreicht. Für das Material *Cera E alloy* wurden mit dem Lava Scan ST in dieser Studie ein Mittelwert von  $38\mu\text{m}$  (Doppelmischabformung) und  $68\mu\text{m}$  (Korrekturabformung) erzielt<sup>84</sup>. *Flügge et al.*<sup>30</sup> untersuchten in vitro die Präzision des Laborscanners 3Shape D250 und ermittelten mittlere Abweichung von  $10\mu\text{m}$ . In einer anderen In-vitro-Studie erreichten die Restaurationen auf Basis des 3Shape D250 eine mittlere Abweichung von  $40\mu\text{m}$  zum Referenz-Modell<sup>65</sup>.



**Abb. 6: Modell- und Abdruckscanner 3Shape d700** [[http://carakulzer.de/de/scanner/3shape\\_d700\\_710/3shape\\_d700\\_710\\_modell\\_und\\_abdruckscanner.html](http://carakulzer.de/de/scanner/3shape_d700_710/3shape_d700_710_modell_und_abdruckscanner.html)]

### 3.4 Direkter intraoraler Scan

Wie beim konventionellen Arbeitsablauf muss auch beim direkten intraoralen Scan nach der Präparation die Situation im Patientenmund festgehalten und übermittelt werden. Für den Zeitpunkt der digitalen Abformung und sämtlicher vorbereitender Maßnahmen wie eine Anästhesie gelten dieselben Prinzipien wie bei der konventionellen Abformung (Kapitel 3.2). Beim intraoralen Scan ist es besonders wichtig, dass die Präparationsgrenze eindeutig sichtbar ist, da die optische Aufnahmeeinheit selbstverständlich nur optisch sichtbare Stellen aufnehmen kann. Deshalb wird zur Retraktion beim intraoralen Scan die Doppelfaden-Technik empfohlen. „Dabei werden zwei Fäden unterschiedlicher Größe in den Sulkus gelegt“<sup>102</sup>. Der Faden mit der kleineren Größe wird als erstes gelegt und dient als unterer Faden. Darüber wird ein Faden mit der nächst zur Verfügung stehenden Größe gelegt<sup>102</sup>. Auch bei der digitalen Abformung muss unter möglichst trockenen Bedingungen gearbeitet werden, was bedeutet, dass die Mundsituation möglichst blut- und speichelfrei sein sollte<sup>26</sup>. Bei dem intraoralen Scan empfiehlt es sich, ein OptraGate zu verwenden, um die Wange leichter abhalten zu können. Diese kann sonst zu Artefakten auf dem Scan führen. Zudem sind Dry Tips zum Aufsagen des Speichels sehr hilfreich. Bevor mit dem direkten intraoralen Scan begonnen werden kann, müssen alle Daten des Patienten am Scanner eingegeben werden. Der Scanner muss kalibriert werden. Zudem wird ein Vorheizen der Scanspitze empfohlen, damit die Optik im Patientenmund nicht beschlägt<sup>81</sup>.

Der zuvor gelegte obere Faden wird kurz vor Beginn des intraoralen Scans gezogen, der untere Faden hält während des Scans den Sulkus weiterhin offen<sup>102</sup>. Der Scanvorgang an sich dauert nur wenige Minuten. Für eine Einzelzahnkrone reicht ein Quadrantenscan mit Gegenkiefer und Bissregistrator. Für die verschiedenen Scansysteme wurden Empfehlungen - sogenannte Scanpfade - herausgeben. Es empfiehlt sich, den jeweiligen Scanpfad einzuhalten, da dadurch die Genauigkeit des Scans erhöht wird<sup>25</sup>. Der Zahnarzt hat danach die Möglichkeit, den Scan am Bildschirm genau zu betrachten und eventuelle Ungenauigkeiten zu verbessern. Dazu gibt es die Möglichkeit, im gescannten Bild den Bereich zu „radieren“ und wieder nachzuscannen<sup>13, 37, 102</sup>. Sobald der Scan als gut bewertet wird, muss dieser über das Internet an das zahntechnische Labor beziehungsweise an das Designzentrum versandt werden<sup>13, 37</sup>. Anhand der Daten kann virtuell die Krone designt und modelliert werden<sup>13</sup>. Die fertigen Daten werden als STL-Datei an eine Fräse geschickt, in der die Zirkoniumdioxidkronengerüste gefräst werden.



### ***3.4.1 Optische intraorale Scanner***

Im Jahr 1971 beschrieb Francois Duret als erster die computergestützte Herstellung von Zahnersatz<sup>23, 68</sup>. 1983 wurde in Frankreich auf der „Garanière Conference“ die erste dentale CAD/CAM-Einheit als Prototyp vorgestellt<sup>68</sup>. Der erste intraorale Scanner Cerec-1, ein „chairside“-System, wurde 1985 von Mörmann und Brandstenini<sup>56</sup> entwickelt und von der damaligen Firma Siemens Dental, heute Sirona Dental Systeme, Bensheim, auf den Markt gebracht<sup>14</sup>.

Basierend auf den direkten intraoralen Scannern kann der Zahnersatz verschieden hergestellt werden:

#### Chairside-Methode

Bei der Chairside-Methode ist der intraorale Scanner mit einer Fräsmaschine verbunden. Die gewünschte Restauration kann mit dieser Maschine direkt in der Praxis hergestellt werden<sup>12, 81</sup>. Die Methode ist für den Patienten sehr angenehm, da er innerhalb eines Termins seine definitive festsitzende Restauration eingegliedert bekommt. Momentan bieten nur das CEREC® System (Sirona) und das E4D System die Chairside-Methode an<sup>12, 102</sup>.

#### Labside-Methode

Bei der Labside-Methode werden die Daten des intraoralen Scans über das Internet an ein Labor gesendet, welches dann die Daten verarbeitet (vgl. Kapitel 3.4). Durch den Datenversand ist es für den Zahntechniker und Zahnarzt möglich, sich über das Internet über die Qualität der Abformung auszutauschen, wodurch diese Kommunikation erheblich erleichtert wird<sup>13, 37</sup>. Die designten Restaurationen werden in einer Fräse hergestellt<sup>12</sup>. Ein Nachteil der Labside-Methode besteht jedoch darin, dass eine CAD/CAM-Herstellung von Provisorien nicht möglich ist, da bei den Systemen keine Ausgabeinheit existiert<sup>13</sup>.

Mit der Entwicklung von intraoralen Scannern ist die Hoffnung verbunden, dass die Qualität der hergestellten zahnmedizinischen Restaurationen steigt. Erste In-vitro-Studien belegen, dass dies der Fall ist<sup>24</sup>. Da die Datenermittlung direkt, also im Mund des Patienten geschieht, kann der Schritt der Abformung umgangen werden. Dies ist

insbesondere von Vorteil, da der Vorgang der Abformung aus Sicht des Patienten oft als unangenehm empfunden wird<sup>1, 18</sup>. Vor allem für Patienten, die unter starken Würgereizen leiden, ist eine Abformung ein erheblicher Stressfaktor<sup>13, 26</sup>. Es besteht zudem die Möglichkeit, während der optischen Abformung Pausen einzulegen, falls der Patient sich zwischendurch sammeln muss<sup>37</sup>. Bei einer Umfrage unter 2000 Zahntechnikern wurde deutlich, dass die größte Schwierigkeit bei der Herstellung von Zahnersatz die mangelnde Qualität der Abformung sei<sup>37, 62</sup>. Obwohl die Abformungen optimiert wurden und es immer bessere Möglichkeiten zur Standardisierung des Arbeitsablaufes gibt, können Fehler, die während der Abformung und der weiteren Prozesskette entstehen können, nicht gänzlich ausgeschlossen werden<sup>25, 68</sup>. Als Beispiele seien das partielle oder gesamte Lösen der Abformmasse aus dem Abformlöffel, die begrenzte Lagerungsfähigkeit der Abformmasse und der dadurch mögliche Verzug der Masse sowie das Desinfizieren der Abformung und der anschließende Transport in das zahntechnische Labor zu nennen – all diese Punkte stellen mögliche Fehlerquellen in der Herstellungskette dar<sup>14</sup>.

Durch die direkte optische Abformung entfällt zudem die Modellherstellung im Labor. Der Schritt der Modellherstellung selbst kann auch eine potenzielle Fehlerquelle darstellen<sup>54</sup>, da die Expansion des Gipses die Dimensionstreu beeinflussen kann. Bei Abweichungen des Gipsmodells kommt es zu Defiziten in der Passung. Ein standardisierter Arbeitsablauf ist mit einem direkten intraoralen Scanner besser zu realisieren<sup>84</sup>.

Im Folgenden sollen die intraoralen Scanner von CEREC (Sirona CEREC AC Omnicam (Abb. 7)) und Lava (3M True Definition (Abb. 8)) vorgestellt werden.

### CEREC

Das CEREC-System wird schon seit 25 Jahren kommerziell angeboten<sup>14, 84</sup>. Es basiert auf dem Prinzip der optischen Triangulation<sup>14, 15, 37, 54, 88, 102</sup>. Das Prinzip der optischen Triangulation wurde bereits im Kapitel 3.3.2 erläutert.

Für den Scanvorgang mit der CEREC Bluecam müssen die Zähne des Patienten im Voraus mit einem Titanoxid-Puder (Optispray, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland) bestäubt werden, um eine einheitliche Reflexion zu erreichen<sup>82</sup>. Beim Scannen werden Einzelbilder im Point-and-klick-Verfahren aufgenommen. Die Bluecam arbeitet mit blauem Licht<sup>32, 37</sup>, welches eine Genauigkeitszunahme von 60%

gegenüber dem zuvor benutzten Infrarotlicht verspricht<sup>54</sup>. Die neue CEREC Omnicam hingegen erfordert keine Puderung (Abb. 7). Die Datenakquisition erfolgt hier durch einen Videomodus<sup>102</sup>. Wie oben erwähnt, hat das CEREC-System einen entscheidenden Vorteil gegenüber den anderen intraoralen Scannern. Es ist ein System, das als „chairside“ CAD/CAM System funktioniert<sup>12, 102</sup>.

Die CEREC Bluecam zeigte in einer In-vitro-Studie von *Mehl et al.*<sup>54</sup> eine Genauigkeit von  $19\mu\text{m}$  beim Vermessen von Präparationen. Zum Vergleich zeigte ein Referenzscanner in dieser Studie eine Abweichung von  $12\mu\text{m}$ . Die hohe Präzision der Bluecam wird durch die Wiederholungsgenauigkeit von  $11\mu\text{m}$  bestätigt. Zudem konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass auch Quadrantenaufnahmen in hoher Genauigkeit möglich sind. Vor allem durch die Verwackelungsdetektion ist der Scanvorgang gut durchzuführen<sup>54</sup>.

In einer In-vitro-Studie von *Ender und Mehl*<sup>24</sup> hatte die digitale Abformung der CEREC Bluecam eine Präzision von  $30,9 \pm 7,1\mu\text{m}$  und eine Richtigkeit von  $49 \pm 14,2\mu\text{m}$  und schnitt damit im Vergleich zur konventionellen Abformung besser ab. In einer anderen In-vitro-Studie von *Seelbach et al.*<sup>84</sup> wurde die erreichbare Randgenauigkeit im Durchschnitt mit  $30\mu\text{m}$  ( $\pm 17\mu\text{m}$ ) beschrieben.

In der Studie von *Brawek et al.*<sup>18</sup> wurde mit dem CEREC AC Scanner bezüglich der marginalen Passgenauigkeit ein Mittelwert von  $83\mu\text{m}$  erreicht. In einer anderen Studie mit dem Scanner CEREC AC wurde ein Mittelwert von  $30\mu\text{m}$ <sup>84</sup> beziehungsweise von  $146\mu\text{m}$ <sup>81</sup> für die marginale Diskrepanz ermittelt.



**Abb. 7: Sirona CEREC AC Omnicam**

## Lava™

Der Lava™ Chairside Oral Scanner (Lava C.O.S) wurde 2009 auf der IDS vorgestellt<sup>37, 102</sup> und basiert auf dem Prinzip des „active wavefront sampling“<sup>15, 78</sup> (vgl. Kapitel 3.3.2). Der Scan erfolgt in einem Videomodus „3D in Motion“. Dadurch wird eine Echtzeitaufnahme möglich<sup>3</sup>. Das Handstück des Lava C.O.S besitzt 192 LEDs und 22 Linsen und arbeitet wie die CEREC Bluecam mit blauem Licht<sup>26</sup>. Auch hier ist die Verwendung eines Puders notwendig. Um die Videoaufnahmen zusammenfügen zu können, ist eine leichte Puderung (Lava Powder, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland), die als stochastisches Muster dient, notwendig<sup>14, 32</sup>. 3M stellte im Oktober 2012 in den USA den Nachfolger True Definition vor (Abb. 8). Dieser Scanner arbeitet mit demselben Prinzip wie sein Vorgänger. Eine leichte Puderung ist nach wie vor nötig. Neu ist das kleinere Handstück.



**Abb. 8: 3M True Definition Scanner**

In der In-vivo-Studie von *Syrek et al.*<sup>88</sup> zeigten Kronen, die auf Basis der optischen Abformung mit dem Lava C.O.S hergestellt wurden, eine mittlere marginale Diskrepanz von  $49\mu\text{m}$ . Im Vergleich dazu lag die mittlere marginale Diskrepanz bei der Gruppe der konventionellen Abformung bei  $71\mu\text{m}$ . In einer anderen In-vivo-Studie von *Scotti et al.*<sup>83</sup> wurden auch mittlere marginale Diskrepanzen von  $49\mu\text{m}$  gemessen. Die Richtigkeit der digitalen Abformung mit dem Lava C.O.S wurde mit  $40 \pm 14\mu\text{m}$  angegeben. Die Präzision vom Lava C.O.S lag bei  $60 \pm 31\mu\text{m}$  (Vergleich zur konventionellen Abformung: Präzision  $61 \pm 18\mu\text{m}$  und Richtigkeit  $55 \pm 22\mu\text{m}$ )<sup>24</sup>. In der Studie von

*Seelbach et al.*<sup>84</sup> wurde die erreichbare Randgenauigkeit mit  $48\mu\text{m}$  ( $\pm 25\mu\text{m}$ ) beim Lava C.O.S ermittelt. In anderen Studien wurde mit dem Lava C.O.S. ein Mittelwert für die marginale Diskrepanz von  $51\mu\text{m}$ <sup>18</sup> und  $107\mu\text{m}$ <sup>89</sup> erreicht. In einer aktuellen Studie aus dem Jahr 2014 zeigten Restaurationen, die auf Basis des Lava C.O.S entstanden sind, bezüglich der marginalen Passgenauigkeit einen Mittelwert von  $48\mu\text{m}$ <sup>87</sup>. In der Studie von *Schäfer et al.*<sup>81</sup> erreichten Scans mit dem Lava C.O.S einen Mittelwert von  $109\mu\text{m}$  für die marginale Diskrepanz.

Bei beiden Systemen, Lava™ und CEREC, ist es wichtig, die vorgegebene Scanstrategie zu befolgen, um einen möglichst genauen Scan zu erhalten<sup>25</sup>. In einer Studie von *Rohaly et al.*<sup>78</sup> wurde untersucht, ob die Art der Bildakquisition, also ob eine Videoaufnahme oder das Aufnehmen von Standbildern Einfluss auf die marginale Diskrepanz hat. Dabei wurde festgestellt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Videoaufnahme, so wie es bei dem Lava True Definition und bei dem Scanner cara TRIOS der Fall ist, und der Standbild-Aufnahme (bei der CEREC Bluecam) gibt<sup>81</sup>. Leider liegen bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Studien zur Genauigkeit der beiden neuen Systeme True Definition und CEREC Omnicam vor.

#### ***3.4.1.1 Der intraorale Scanner cara TRIOS (Fa. 3Shape/Fa. Heraeus Kulzer, Hanau)***

3Shape kündigte im Dezember 2010 die Einführung eines neuen patientenfreundlichen Hochleistungs-Intraoralscanner an<sup>50</sup>. Der intraorale Scanner cara TRIOS (Fa. 3shape/Fa. Heraeus Kulzer, Hanau) konnte 2011 zum ersten Mal auf der IDS bestellt werden<sup>14</sup> (Abb. 9).

Er basiert auf dem konfokalen Prinzip, welches im Kapitel 3.3.2 dargestellt wurde<sup>14, 102</sup>. Die Bildakquisition erfolgt in einem Videomodus. Dabei werden Einzelbilder in hoher Geschwindigkeit und entsprechend großer Datenmenge erzeugt. Um diese zu transportieren, werden sie mit Hilfe eines Bildbearbeitungsrechners vorverarbeitet. Dieser Bildverarbeitungsrechner befindet sich in dem Handstück des Scanners, weshalb dieses auch relativ groß ausfällt<sup>102</sup> (Abb. 10). Zudem ist das Handstück ergonomisch designt worden, damit ein ermüdungsfreies Arbeiten möglich ist<sup>14</sup>. Der cara TRIOS Scanner ist ein Scanner, der puderfrei arbeitet<sup>14, 102</sup>. Das puderfreie System zeigt bezüglich marginaler und interner Passung in-vitro signifikant bessere Werte als die Systeme Lava C.O.S und

CEREC Bluecam, die mit Puder arbeiten<sup>81</sup>. Die Scanner-Software signalisiert dem Nutzer, ob der Scanner kalibriert werden muss. Der Scanaufsatz, der nach dem Aufwärmen des Handstücks aufgesetzt wird, kann je nach Belieben für den Ober- oder Unterkiefer auf das Handstück aufgesetzt werden<sup>81</sup>. In einer In-vitro-Studie von *Schäfer et al.*<sup>81</sup> wurde die marginale und interne Passung von Teilkronen gemessen, die auf Basis verschiedener intraoraler Scanner hergestellt wurden. Mit dem Scanner cara TRIOS wurde hier eine marginale Passung von 128 $\mu$ m und eine interne Passung von 106 $\mu$ m erreicht. Leider liegen derzeit noch keine In-vivo-Studien zu diesem Scanner vor.



Abb. 9: Heraeus cara TRIOS Scanner



Abb. 10: Heraeus cara TRIOS Handstück

## 3.5 Marginale Passungen von Restaurationen

### 3.5.1 Auswirkung auf die orale Mundgesundheit

Ziel einer prothetischen Behandlung ist es, den zu behandelnden Zahn optimal zu versorgen. Dazu gehört bei Kronen und Brücken, dass die angefertigte Restauration spaltfrei auf dem präparierten Stumpf sitzt. Vor allem der Randschluss der Krone ist sehr wichtig. Die marginale Passung ist ein essentieller Faktor für die Langlebigkeit einer solchen Restauration<sup>70</sup>. Wünschenswert sind marginale Passungen von 100-120 $\mu$ m oder weniger<sup>40</sup>. Durch fehlerhafte Kronenränder kommt es zur Anhaftung von Plaque, und zwar unabhängig vom verwendeten Material<sup>57</sup>. Jedoch ist zu erwähnen, dass bei keramischen Materialien die vergleichsweise niedrigste Plaqueansammlung beobachtet wird<sup>45</sup>. Eine Plaqueansammlung kann wiederum zur Irritation der Gingiva führen und auch die Entstehung von Sekundärkaries begünstigen<sup>9, 34</sup>. Zudem können sich die Bak-

terien in der Plaque zu einer pathogenen und virulenten Flora organisieren<sup>72</sup>. Abstehende subgingivale Kronenränder können eine Gingivitis auslösen und zu einer Parodontitis mit Verlust des Attachments führen<sup>61</sup>.

### 3.5.2 Verfahren zur Bestimmung der marginalen Passgenauigkeit

In der Literatur werden unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Passgenauigkeit von Kronen beschrieben. Dabei sind einige nur zur In-vivo- beziehungsweise In-vitro-Bestimmung geeignet<sup>58</sup>. Die genaue Definition der verschiedenen Messstellen zur Bestimmung der Kronenpassung lieferte Holmes<sup>39</sup> (Abb. 11):

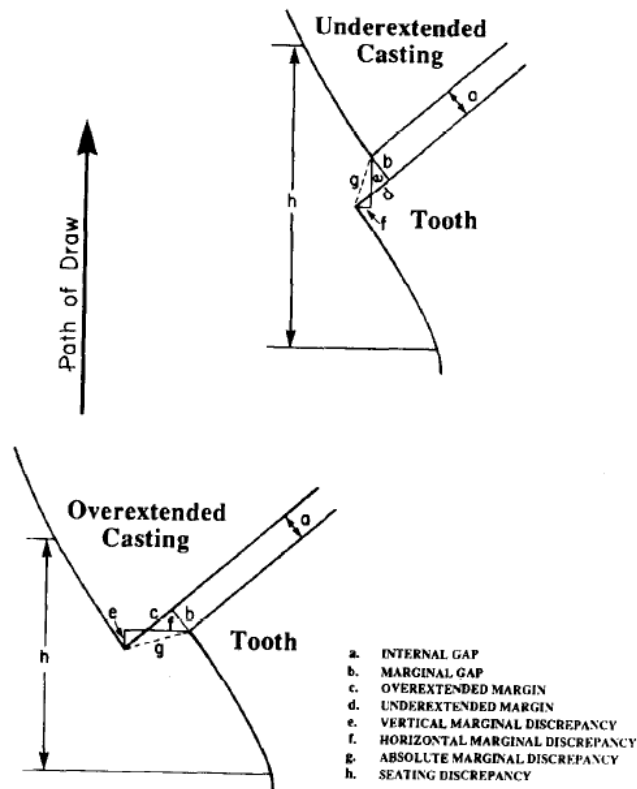


Abb. 11: Holmes et al. [39] „Casting misfit terminology“

- |                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| a: interne Diskrepanz     | e: vertikale marginale Diskrepanz   |
| b: marginale Diskrepanz   | f: horizontale marginale Diskrepanz |
| c: überextendierter Rand  | g: absolute marginale Diskrepanz    |
| d: unterextendierter Rand | h: Passungsdiskrepanz               |

Bei In-vitro-Studien lassen sich bessere Passgenauigkeiten erreichen als bei In-vivo-Studien, da es im Labor einfacher ist, kleinere Randspalten zu erreichen als im klinischen Alltag<sup>48</sup>. Im Labor können die Untersuchungen unter standardisierten Bedingungen ablaufen. Faktoren wie Speichel, Blut und Patientenbewegungen, die mögliche Fehler darstellen können, sind in Laborstudien ausgeschlossen.

Eine der am meisten benutzten Methoden ist die direkte Beurteilung des marginalen Randes mittels Mikroskop. Dieses Verfahren zur Bestimmung der Passgenauigkeit ist jedoch nur bei In-vitro-Studien einsetzbar<sup>58</sup>. Hier wird nur der Randspalt zwischen der einzementierten Krone und der Präparationsgrenze gemessen, die interne Passung kann nicht beurteilt werden. Vorteilhaft bei dieser Methode ist, dass sie kostengünstig und einfach durchzuführen ist<sup>58</sup>. Ein Nachteil dieser Methode besteht in der Schwierigkeit, unter dem Mikroskop die richtige Stelle zum Vermessen zu finden<sup>11</sup>, da der Kontrast zwischen Zahn und zahnfarbenem Zement nicht leicht zu erkennen ist<sup>95</sup>.

Eine weitere In-vitro-Methode ist die Cross-sectioning-Methode. Dabei werden Querschnitte hergestellt, an denen direkt die Zementdicke und die marginale Diskrepanz in der vertikalen und horizontalen Ebene gemessen wird<sup>58</sup>. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass es zu einer Minimierung von Repositionierungsfehlern kommt<sup>35</sup>. Zudem hat der Betrachter eine ununterbrochene Sicht auf die zu beurteilende Stelle<sup>47</sup>. Da das zu untersuchende Objekt jedoch zerschnitten wird, ist keine Langzeitanalyse möglich<sup>58</sup> beziehungsweise können keine Vergleiche zwischen der Passung vor und nach dem Zementieren erhoben werden<sup>85</sup>.

Die Replika-Methode ist ein Verfahren, welches in vivo angewendet wird. Dabei wird in die Krone ein dünnflüssiges Silikon gegeben, bevor die Krone auf den dazugehörigen Stumpf gesetzt wird. Beim Einsetzen wird der Druck, der beim Zementieren benötigt wird, simuliert. Danach wird die Krone abgenommen und das Lumen wird mit einem anderen andersfarbigen Silikon aufgefüllt. Nach Aushärten der zweiten Silikonschicht liegt ein zweifarbiges Silikonreplika vor, das in definierte Teile geschnitten wird. Diese Teile werden unter dem Mikroskop hinsichtlich der Dicke des dünnflüssigen Silikons beurteilt<sup>16, 31, 43, 58</sup>. Diese Methode wurde in manchen Studien modifiziert<sup>8, 10, 60, 96</sup>. Bei der Modifizierung wird die Krone auf den Stumpf gesetzt und es wird eine reguläre Abformung genommen. Diese Abformung wird mit einem Epoxy-Resin-Material ausgegossen. An dem entstandenen Modell wird mit einem Mikroskop die marginale Diskrepanz gemessen. Nachteil der Replika-Methode ist, dass dieses Verfahren sehr tech-



niksensitiv ist. Zum einem ist es schwierig, den Silikonfilm unbeschädigt vom Zahn beziehungsweise vom Modell zu lösen<sup>96</sup>, zum anderen ist es oft problematisch, die Präparationsgrenze und den Kronenrand unter dem Mikroskop zu identifizieren<sup>96</sup>.

Ein weiteres In-vivo-Verfahren zur Beurteilung der marginalen Passgenauigkeit stellen zum Beispiel Bissflügelaufnahmen dar<sup>27</sup>. Nachteil dieser röntgenologischen Kontrolle ist, dass immer eine rechtfertigende Indikation vorliegen muss, damit der Patient nicht unnötiger Strahlenbelastung ausgesetzt wird. Zudem ergibt ein Röntgenbild nur eine 2-dimensionale Aufnahme wodurch die marginale Passgenauigkeit nicht im Ganzen bestimmt werden kann.

Die Beurteilung der marginalen Passgenauigkeit mittels Messsonden ist eine weitere Möglichkeit für In-vivo-Untersuchungen<sup>34, 73, 97</sup>. Dabei wird mit verschiedenen Messsondengrößen der Kronenrandspalt zirkulär am Zahn gemessen. In der Arbeit von *Wöstmann und Hufnagel*<sup>97</sup> wurde deutlich, dass es bei der Beurteilung von absoluten marginalen Diskrepanzen mittels Messsonden öfter zu Unter- als zu Überschätzungen kommt.

Zudem gibt es prospektive Studien mit Zähnen, die für eine Extraktion geplant sind<sup>95</sup>, oder auch retrospektive Studien mit Zähnen, die aus medizinischen Gründen nach Jahren extrahiert werden müssen<sup>67</sup>.

## 4 Material und Methode

### 4.1 Rahmenbedingungen

Die vorliegende In-vivo-Studie wurde im Deutschen Register klinischer Studien (DRKS ID: DRKS00005958) und bei der Weltgesundheitsorganisation (UTN No.: U1111-1154-0039) registriert. Die Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen hat dieser Studie zugestimmt (AZ.: 267/13). Die ausgewählten Patienten waren für eine Kronen-, Brücken-, oder Teleskopversorgung in zahnärztlicher Behandlung. Bei der Studie haben 25 Patienten teilgenommen. Insgesamt wurden 51 Zähne für die Aufnahme einer Kronen-, Brücken- oder Teleskopversorgung präpariert, gescannt und abgeformt.

Durch die Teilnahme an der Studie bestand für die Patienten kein gesundheitlicher Nachteil. Sie wurden darüber aufgeklärt, dass es lediglich zu einem höheren Zeitaufwand kommt. Der Patient bekam nach jedem Aufklärungsgespräch einen Aufklärungsbogen und hatte eine Einverständniserklärung zu unterschreiben. Aus Datenschutzgründen ersetzten Fallkürzel die Patientendaten. Die gesamte Behandlung und die damit verbundenen Untersuchungen fanden in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Justus-Liebig-Universität Gießen statt. Eine approbierte Zahnärztin, die gleichzeitig die Verfasserin dieser Dissertation ist, hat diese In-vivo-Studie als Prüferin betreut.

### 4.2 Ein- und Ausschlusskriterien

#### Einschlusskriterien:

Für diese In-vivo-Studie war eine sichtbare, trockene sowie blut- und speichelfreie Präparationsgrenze am präparierten Zahn notwendig. Die Lage der Präparationsgrenze war somit nicht ausschlaggebend.

#### Ausschlusskriterien:

Nicht einsehbare und nicht trocken zu haltende Präparationsgrenzen schieden aus dieser Studie aus.

### 4.3 Präparation

Die Präparation des jeweiligen Zahnes erfolgte im Studentenkurs durch die behandelnden Studenten. Die Prüferin betreute alle Behandlungsschritte, so auch vorbereitende Maßnahmen wie zum Beispiel eine neue Aufbaufüllung. Standardmäßig wurde im Studentenkurs eine Hohlkehlpräparation durchgeführt. Die Prüferin begutachtete den Zahn nach der Präparation.

### 4.4 Abformung und Scan

Die Korrekturabformung und der intraorale Scan wurden am selben Tag durchgeführt. So konnte sichergestellt werden, dass gleiche Bedingungen bezüglich des Weichgewebes vorlagen. Um ein optimales Abform- bzw. Scanergebnis zu bekommen, führte die Prüferin 7-10 Tage nach der Präparation beide Abformmethoden durch.

#### 4.4.1 Weichgewebsmanagement

Als vorbereitende Maßnahmen wurde an dem präparierten Zahn eine intrapapilläre Anästhesie mit Ultracain® D-S forte (Sanofi-Aventis, Frankfurt) vorgenommen. Wenn aus anamnestischen Gründen eine Anästhesie mit diesem Medikament nicht möglich war, wurde Ultracain® D-S (Sanofi-Aventis, Frankfurt) verwendet. Dieses Anästhetikum verringerte die Blutung. Zur besseren Übersicht und auch zur Abhaltung der Schleimhäute während des Scanvorgangs wurde ein OptraGate (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) benutzt (Abb. 12). Dry Tips (Mölnycke Health Care AB, Göteborg, Schweden) wurden in die Region des Parotisausführungsganges gelegt, um ein möglichst trockenes Arbeitsfeld zu schaffen (Abb. 13).



Abb. 12: OptraGate



Abb. 13: Dry Tips

Um den Sulkus zu öffnen, fand die Doppelfadentechnik Anwendung. Dabei wurde zuerst ein kleiner Faden mit Hilfe eines Fadenlegeinstruments (Abb. 14) in den Sulkus gelegt und darüber ein Faden mit der nächstgrößeren Größe. In der Studie kamen gestrickte Ultrapak® Clean Cut Retraktionsfäden (Ultradent Products, South Jordan, USA) in der Größe „00“ und „0“ zum Einsatz. Diese Fäden wurden in Orbat sensitive Al (lege artis, Dettenhausen), einer 25%ige Aluminiumsulfat-Lösung, getränkt (vgl. Kapitel 3.1), (Abb. 15). Der obere Faden wurde vor dem intraoralen Scan gezogen.



Abb. 14: Fadenlegerset



Abb. 15: Orbat

#### 4.4.2 Intraoraler Scan

Eine Kalibrierung des Scanners cara TRIOS von Hereaus fand vor jedem Scan statt. An einem virtuellen Zahnbogen wurden die zu scannenden Zähne ausgewählt. Um ein optimales Scanergebnis zu erzielen, wurde vor dem Scannen die Schutz- und Heizspitze angebracht und mindestens zehn Minuten erwärmt. Somit wurde ein Beschlagen der Optik im Patientenmund vermieden. Der zu scannende Bereich wurde sauber und trocken gehalten. Die schon vorher durchgeführten Maßnahmen wie OptraGate einlegen, Verwendung von Dry Tips und das Legen von Retraktionsfäden wurden durch zusätzliches Absaugen und Trockenpüsten der Zähne ergänzt. Bei dem Scanvorgang wurde darauf geachtet, dass die Wangenschleimhaut oder die Zunge nicht mit aufgenommen werden. Da für diese Studie nur der präparierte Zahn wichtig und keine Okklusion nötig war, reichte es aus, den präparierten Zahn mit seinen Nachbarzähnen zu scannen. Es erfolgte kein Scan des Gegenkiefers oder des anderen Quadranten. Es wurde sich an den vom Hersteller angegebenen Scanpfad gehalten. Dieser lautete für das Scannen eines

Seitenzahnquadranten: „Gehen Sie von der okklusalen Seite vom Weisheitszahn zum Eckzahn. Dann gehen Sie an der Wangenseite vom Eckzahn zum Weisheitszahn. Dann gehen Sie an der lingualen Seite vom Weisheitszahn zum Eckzahn.“<sup>4</sup>. Weiterhin wird im Frontzahngebiet das Scannen im Zickzack-Verlauf empfohlen. Zudem wurde darauf geachtet, dass die Scannerspitze stets sauber war. Für einen Scan im Oberkiefer wurde der Scankopf abgenommen und seitenverkehrt auf das Handstück aufgesetzt. Während des Scanvorgangs lag die Scanspitze den Zähnen auf. Falls während des Scanvorgangs ein schwarzer Fleck im Livebild erschien, befand sich der zu scannende Zahn in der Scanspitze. Um dieses Problem zu beheben, wurde die Scanspitze etwas vom Zahn wegbewegt<sup>4</sup>. Der Scanvorgang endete, nachdem die gesamte Präparation erfasst wurde. Abschließend begutachtete die Prüferin die Präparation am Bildschirm von allen Seiten. Stellen, die den Anforderungen der Prüferin nicht entsprachen, wurden gelöscht und nachgescannt.

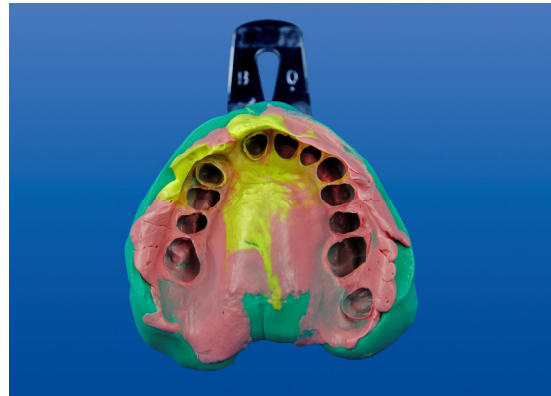
#### **4.4.3 Korrekturabformung**

Die Korrekturabformung erfolgte mit einem perforierten Metalllöffel. Nach Anprobe wurde der Löffel mit dem universal VPS Haftlack (GC Universal VPS Adhesive, GC, Tokyo, Japan) dünn bestrichen. Das OptraGate und die Dry Tips wurden entfernt. Um weiterhin ein möglichst trockenes Arbeitsfeld zu haben, wurden die Zähne mit Watterollen trockengelegt. Für die erste Phase der Korrekturabformung wurde das Material EXA'lence Putty (GC, Tokyo, Japan) (Abb. 16) im Verhältnis 1:1 Base und Katalysator angemischt. Nach der Anmischung einer homogenen Masse wurde der Abformlöffel gleichmäßig mit Material beschickt. Danach wurde der Abformlöffel in den Patientenmund gebracht und positioniert. Nachdem das Material ausgehärtet war, wurde der Abformlöffel entnommen. Die erste Phase wurde beschnitten und alle Interdentalsepten und Unterschnitte wurden entfernt. An den präparierten Zähnen wurde die Abformung nicht beschnitten. Nach dem Beschneiden wurde der Abformlöffel noch einmal in den Mund repositioniert, um sicherzugehen, dass der Löffel wieder in die alte Position zurückfindet. Nach Entfernen des kleineren Retraktionsfadens am präparierten Zahn wurde im gleichen Zuge dieser Zahn mit dem Material EXA'lence extra-light-body umspritzt. Wichtig dabei war, dass das Material gut in den Sulkus gedrückt wurde. Parallel dazu wurde die beschnittene Abformung mit dem Material EXA'lence light-body entlang des Zahnkranzes beschickt. Anschließend wurde der Löffel in den Patienten-

mund repositioniert und 3 Sekunden mit festem Druck eingesetzt. Für den Rest der Aushärtungszeit verblieb der Abformlöffel nur leicht gehalten im Patientenmund. Nach der Aushärtung wurde der Abformlöffel entnommen. Die Prüffärztin begutachtete kritisch die Abformung, um sich sicher zu sein, dass die Präparationsgrenze eindeutig sichtbar ist (Abb. 17). War dies der Fall, wurde die Abformung desinfiziert und in ein zahntechnisches Labor geschickt.



**Abb. 16: Abformmaterial EXA'lence**



**Abb. 17: Fertige Korrekturabformung: Oberkiefer**

## 4.5 Datenversand

Die Korrekturabformung wurde in das zahntechnische Labor (Zahntechnik Zentrum Eisenach GmbH & Co. KG, Labor Eisenach, Eisenach) geschickt. Beigefügt war ein Laborauftrag mit dem Vermerk, von welchen Stümpfen ein indirekter Scan angefertigt werden soll und unter welchem Kürzel dieser gespeichert wird.

Die Datenübertragung vom cara TRIOS Scanner erfolgte über das Internet an das Kompetenzzentrum von Heraeus.

## 4.6 Modellherstellung

Die Modellherstellung erfolgte gemäß dem Qualitätsmanagement-Handbuch des Zahntechnik Zentrums Eisenach. Es wurden Pin-Modelle aus Superhartgips Typ IV (Fuji-Rock, GC-CORP., Tokyo, Japan) hergestellt.

## 4.7 Indirekter Scan

Für den indirekten Scan stand der Modell- und Abdruckscanner 3Shape d700 im Zahn-technik Zentrum zur Verfügung. Nach dem Scannen der einzelnen Gipsstümpfe, wurden mithilfe des DentalDesigner™ die Off-Set-Käppchen designt.

## 4.8 Herstellung von Messkäppchen

In den Kompetenzzentren wurden nach definierten Parametern die Messkäppchen als Off-Set-Käppchen designt. Die Parameter lauteten wie folgt:

- Zementspalt 0,09 mm groß
- Materialschichtstärke 0,6 mm mit 0,2 mm Randverstärkung

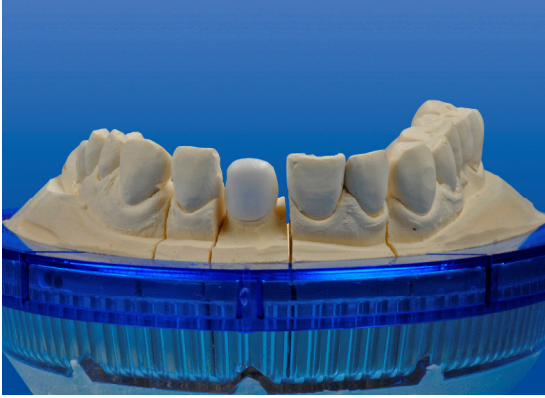
Die designten Off-Set-Käppchen wurden als STL-Datei gespeichert.

## 4.9 Fräse

Um gleiche Bedingungen zu schaffen, wurden die Messkäppchen in einem externen Fräszentrum gefräst. Somit wurden Unterschiede bezüglich der Fräse ausgeschlossen. Das Fräszentrum (Dentallabor Kappert, Essen) erhielt die designten Off-Set-Messkäppchen im STL-Format und stellte diese in der Fräse Roland DVX 50 (Roland, Irvine, U.S.A) her. Als Material wurde jeweils das Copran Zr (White Peaks Dental Systems, Essen) verwendet.

## 4.10 Anprobe der Messkäppchen

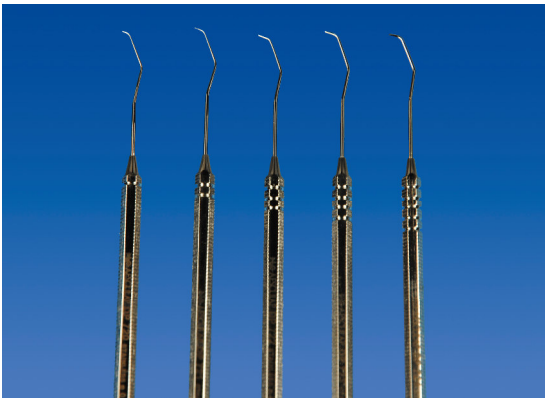
Die Patienten wurden entweder außerhalb oder im Rahmen des Studentenkurses wieder einbestellt. Nach Entfernung der temporären Versorgungen wurden die entsprechenden Zahnstümpfe sorgfältig versäubert. Um eine mögliche Voreingenommenheit der Prüfärztin beim Messen auszuschließen, wurden die Messkäppchen ohne Hinweis auf die Scansysteme von der Prüfärztin vermessen (Abb. 18).



**Abb. 18: Messkappchen vom Zahn 21 auf dem Gipsmodell**

#### ***4.10.1 Messsonden***

Zur Randspaltmessung wurde ein Messsondensatz (AESCULAP, Tuttlingen) verwendet (Abb. 19). Dieser SONDENSATZ besteht aus fünf Sonden, die im  $\mu\text{m}$ -Bereich messen (100-500 $\mu\text{m}$ /Abstand 100 $\mu\text{m}$ ).



**Abb. 19: Messsondensatz (AESCULAP, Tuttlingen)**

Es wurde pro Stumpf an sechs Stellen gemessen: mesio-vestibulär, vestibulär, disto-vestibulär, mesio-oral, oral sowie disto-oral. Begonnen wurde mit der kleinsten Messsonde (100 $\mu\text{m}$ ). Die größte Sonde, die nicht unter den Messkappchenrand griff, wurde notiert. In dem Fall, in dem selbst die 100 $\mu\text{m}$  Messsonde nicht einhakte, wurde der Wert <100 $\mu\text{m}$  notiert. Die gemessenen Werte wurden in einer Tabelle dokumentiert. Messkappchen, die nicht auf den Zahnstumpf passten oder die Präparationsgrenze nicht erreichten, wurden entsprechend dokumentiert. Die Messkappchen, die nicht auf den Zahnstumpf passten, konnten nicht weiter ausgewertet werden.



#### 4.10.2 Replika-Technik

Für die Replika-Technik wurden in dieser Studie das A-Silikon Fit Test ® C & B (VOCO, Cuxhaven) und das A-Silikon Express™ 2 Ultra-Light Body Quick (3M, St. Paul, USA) verwendet (Abb. 20 und 21).



Abb. 20: Fit Test® C & B (VOCO)

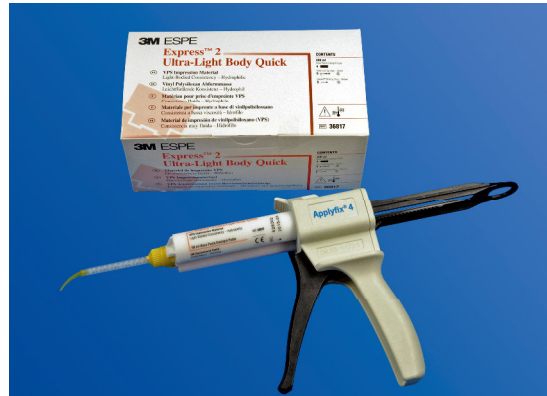
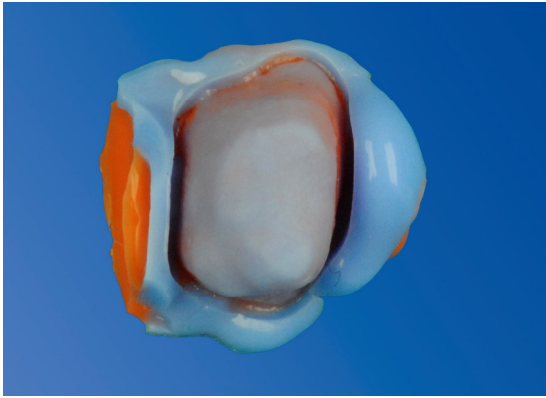


Abb. 21: Express™ 2 Ultra-Light Body Quick (3M)

Die Messkäppchen und der Zahnstumpf im Patientenmund wurden getrocknet beziehungsweise relativ trocken gelegt. Zuerst wurde das A-Silikon in ein Messkäppchen gegeben und auf den entsprechenden Zahnstumpf gesetzt. Der Anpressdruck entsprach dem Druck beim Einzementieren einer Krone. Laut Gebrauchsanweisung beträgt die intraorale Abbindezeit maximal zwei Minuten. Danach wurde das Messkäppchen vorsichtig vom Stumpf entfernt. Es wurde darauf geachtet, dass der Silikonfilm im Messkäppchen bleibt und sich nicht löst. Die kritische Begutachtung des Silikonfilms erfolgte durch die Prüffärztin; bei eventuellen Einrissen im Silikon wurde der Vorgang wiederholt.

Nach positiver Bewertung des Silikonfilms wurde in das Lumen des Messkäppchens das Express™ 2 Ultra-Light Body Quick luftblasenfrei eingespritzt. Laut Herstellerangaben beträgt die Verweildauer für dieses Material im Mund zwei Minuten und dreißig Sekunden. Die sich anschließende Abbindezeit betrug mindestens vier Minuten, da dieser Vorgang außerhalb des Patientenmundes stattfand.

Nachdem das A-Silikon ausgehärtet war, wurde das Messkäppchen mithilfe einer anatomischen Pinzette vom Silikonstumpf abgezogen (Abb. 22 und 23).



**Abb. 22: Replika von oben**



**Abb. 23: Replika von der Seite**

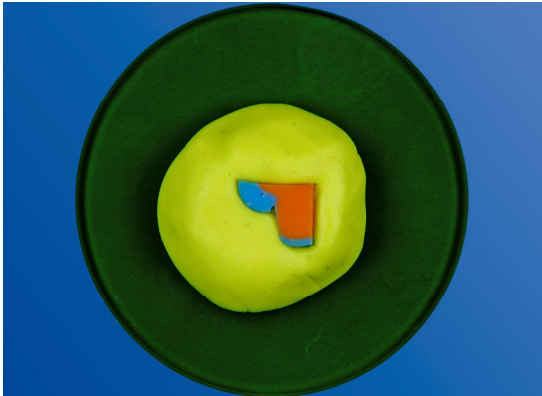
Abschließend wurde der Zahn wieder mit der temporären Versorgung versehen beziehungsweise im Studentenkurs weiterbehandelt.

#### 4.11 Makroskop

Um die Replika unter dem Makroskop untersuchen zu können, wurden sie in vier Teile geschnitten. Die Schnitte erfolgten in orovestibulärer und in mesiodistaler Richtung. Somit erhielt man jeweils eine mesiale, distale, orale und vestibuläre Schnittfläche. Die Schnitte wurden unter dem Makroskop untersucht.

Mit Hilfe einer Parallelpresse wurde ein Schnitt in Puttymasse (giroform putty, Amann Girrbach, Koblach, Österreich) eingebettet (Abb. 24). Dieser wurde unter dem Makroskop Leica M420 (Leica, Wetzlar) mit 40,0x Vergrößerung betrachtet (Abb. 25). Parallel dazu erfolgte die Übertragung des Makroskopbildes auf einen PC über eine integrierte Leica DFC 480 (Leica, Wetzlar). So konnten sich zwei Betrachter über die zu messende Stelle einigen und Betrachtungsfehler konnten vermieden werden.

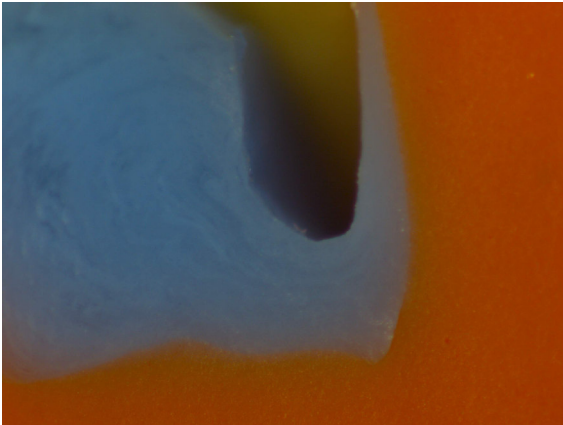
Die jeweiligen Schnitte wurden möglichst nah an ihrer Präparationsgrenze vermessen, um die marginale Diskrepanz zu bestimmen. Dazu wurde senkrecht die kürzeste Distanz vom Innenrand der Krone bis zum Rand gemessen. Diese wurde durch den blauen Silikonfilm des Silikon Fit Test ® C & B (VOCO, Cuxhaven) repräsentiert (Abb. 26). Die gemessenen Werte wurden in einer Tabelle dokumentiert.



**Abb. 24: Zurechtgeschnittenes Replika in der Putty Masse**



**Abb. 25: Makroskop Leica M420**



**Abb. 26: Replika unter dem Makroskop**

## 4.12 Statistische Auswertung

Ziel der statistischen Auswertung war es, beide Methoden hinsichtlich ihrer marginalen Passgenauigkeit zu untersuchen. Dazu wurden verschiedene Aspekte untersucht:

- Vergleich der Scanverfahren insgesamt
- Vergleich der Messstellen
- Vergleich beider Scansysteme im Ober- und Unterkiefer
- Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems
- Vergleich von Ober- und Unterkiefer beide Scansysteme zusammengefasst

#### **4.12.1 Replika-Methode**

Für die statistische Auswertung der beiden Scan-Methoden mit Hilfe der Replika-Technik wurde neben deskriptiven Statistiken der Wilcoxon-Test angewendet.

Die einzelnen Messstellen wurden mit einer Häufigkeits- und Teststatistik verglichen.

Bei dem Vergleich beider Scan-Methoden bezüglich eines Kiefers wurden deskriptive Statistiken und der Wilcoxon-Test benutzt.

Um die Werte der Kiefer innerhalb einer Scan-Methode zu vergleichen, wurde der Mann-Whitney-Test herangezogen.

Für den kompletten Vergleich von Ober- zu Unterkiefer wurde ein gemischtes lineares Modell (Prozedur MIXED) gerechnet. Scanner wurden als fester, Probanden als zufälliger Effekt (Kovarianztyp: Varianzkomponenten (random-intercept-Modell)) modelliert. In der Auswertung wird sich auf transformierte Werte bezogen. Diese wurden aufgrund von Ausreißern logarithmiert.

#### **4.12.2 Präzision der Messsondenwerte**

Die Werte der Sondenmessung wurden als ordinale Variablen dargestellt (Tab. 1) und bezüglich ihrer Präzision untersucht. Der Wert  $<100$  zeigt, dass der Randspalt weniger als  $100\mu\text{m}$  beträgt. Der Wert  $<100^*$  bedeutet, dass zu dem Randspalt von  $100\mu\text{m}$  noch eine Über- beziehungsweise Unterkonturierung der Krone dazukommt. Demnach ist  $<100$  besser einzuschätzen als  $<100^*$  und bekommt bei den Ordinalen den Rang 1.

Um beide Scan-Methoden zu vergleichen, wurden deskriptive Statistiken und der Wilcoxon-Test genutzt.

Die einzelnen Messstellen wurden mit deskriptiven Statistiken und dem Wilcoxon-Test ausgewertet.

Deskriptive Statistiken und der Wilcoxon-Test wurden sowohl für den Vergleich der Oberkieferwerte als auch für den Vergleich der Unterkieferwerte verwendet.

Für den Vergleich von Ober- zu Unterkiefer innerhalb einer Scan-Methode wurde der Mann-Whitney-Test angewendet.

Für den Vergleich von Ober- zu Unterkiefer wurde die Prozedur GEE (Generalisierte Schätzungsgleichungen) verwendet. Die abhängige Variable wurde als Zählvariable

angesehen und aufgrund von einer für eine Poisson-Verteilung zu großen Varianz im Verhältnis zum Mittelwert wurde die Verknüpfungsfunktion negativ binominal verwendet.

Tab. 1: Ordinale Präzision: \* = Präparationsgrenze über- oder unterkonturiert; x = Messköpchen hat nicht gepasst

Ordinale Präzision												
<100	<100*	100	100*	200	200*	300	300*	400	400*	500	500*	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

## 5 Ergebnisse

Die Studie wurde an insgesamt 25 Patienten durchgeführt. Dabei wurden 51 Zähne gescannt und abgeformt. Bei der Anprobe der Messkäppchen passten in der Gruppe des Scanners cara TRIOS zwei Messkäppchen nicht. In der Gruppe des Laborscanners 3Shape d700 passte ein Messkäppchen nicht. Bei diesen Messkäppchen konnten keine Replika angefertigt werden.

### 5.1 Replika-Methode

#### *5.1.1 Vergleich der Scanverfahren insgesamt*

Bei dem Vergleich der beiden Scanverfahren insgesamt gab es keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,397$ ) zwischen dem cara TRIOS und dem 3Shape d700 (Abb. 26), (Tab. 2). Die Messkäppchen vom cara TRIOS erzielten für die marginale Diskrepanz einen Medianwert von  $111\mu\text{m}$  (Q1:  $90,25\mu\text{m}$ ; Q3:  $145,5\mu\text{m}$ ) und einen Mittelwert von  $149,1\mu\text{m}$  ( $\pm 109,42\mu\text{m}$ ).

Die Messkäppchen vom 3Shape d700 erzielten für die marginale Diskrepanz einen Medianwert von  $112,5\mu\text{m}$  (Q1:  $82\mu\text{m}$ ; Q3:  $156,25\mu\text{m}$ ) und einen Mittelwert von  $128,35\mu\text{m}$  ( $\pm 58,15\mu\text{m}$ ).

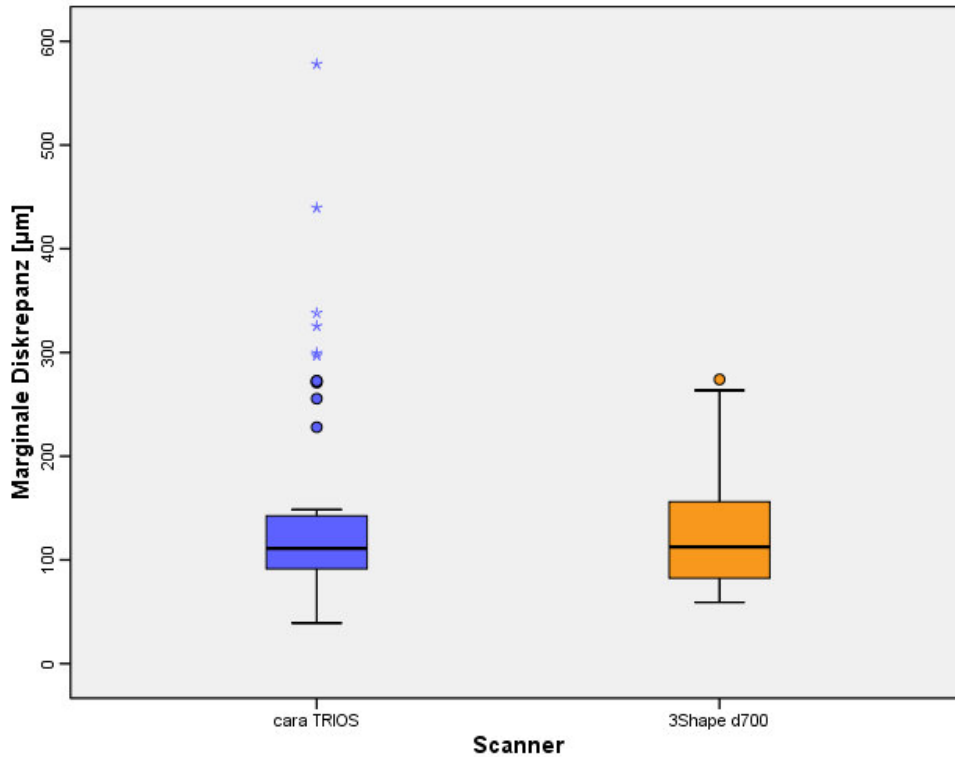


Abb. 27: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Replika-Methode)

### 5.1.2 Vergleich der Messstellen

Sowohl beim cara TRIOS als auch beim 3Shape d700 wurden keine signifikanten Unterschiede bei den einzelnen Messstellen (mesial, distal, vestibulär, oral) hinsichtlich der marginalen Diskrepanz festgestellt ( $p > 0,05$ ); (Abb. 27), (Tab. 3 und 4).

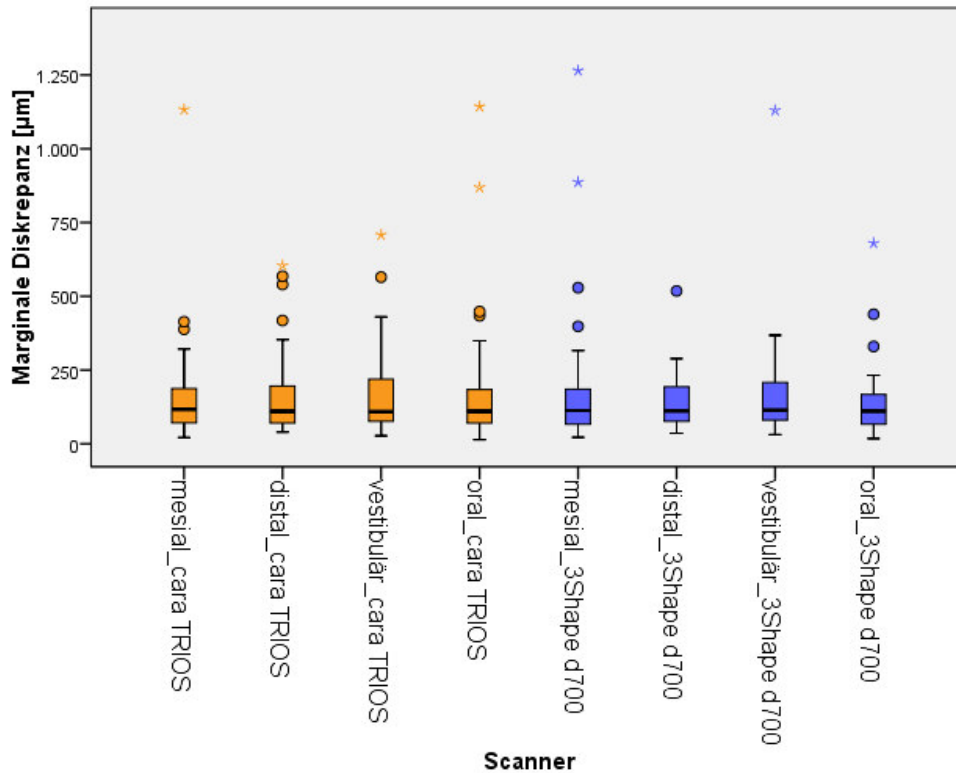


Abb. 28: Messstellen im Vergleich beider Scanverfahren (Replika-Methode)

### 5.1.3 Vergleich beider Scansysteme im Ober- und Unterkiefer

Bei dem Vergleich der Scansysteme für Ober- und Unterkiefer getrennt gab es sowohl für den Ober- als auch für den Unterkiefer keine signifikanten Unterschiede bezüglich der marginalen Passgenauigkeit (Abb. 28 und 29), (Tab. 5 und 6):

- Oberkiefer:  $p=0,909$
- Unterkiefer:  $p=0,089$



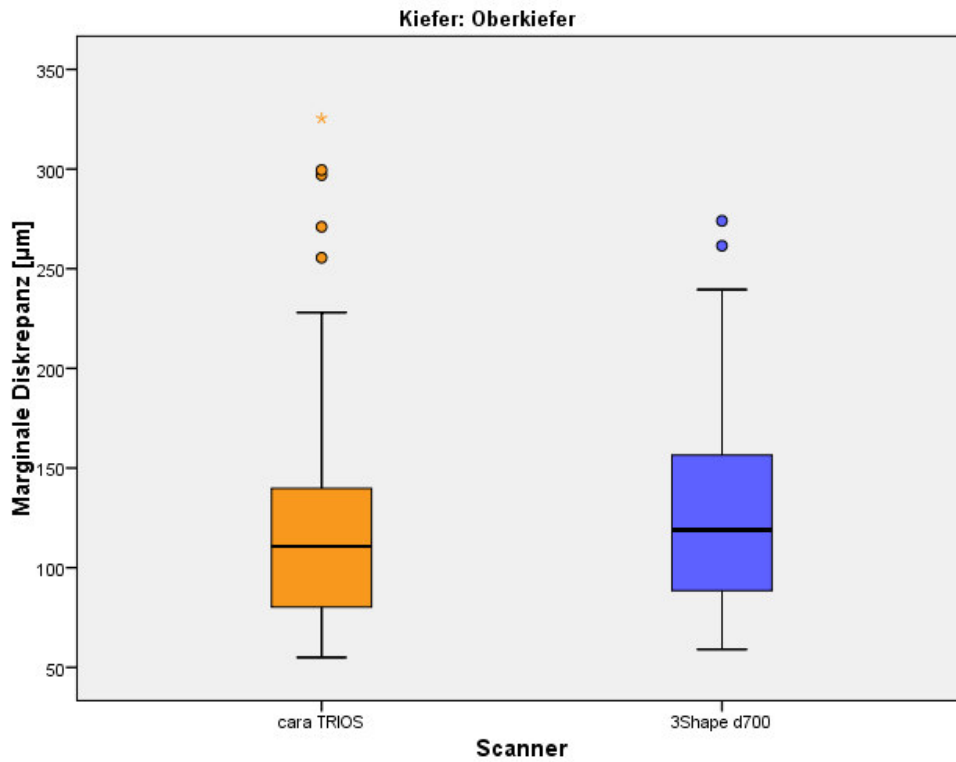


Abb. 29: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode)

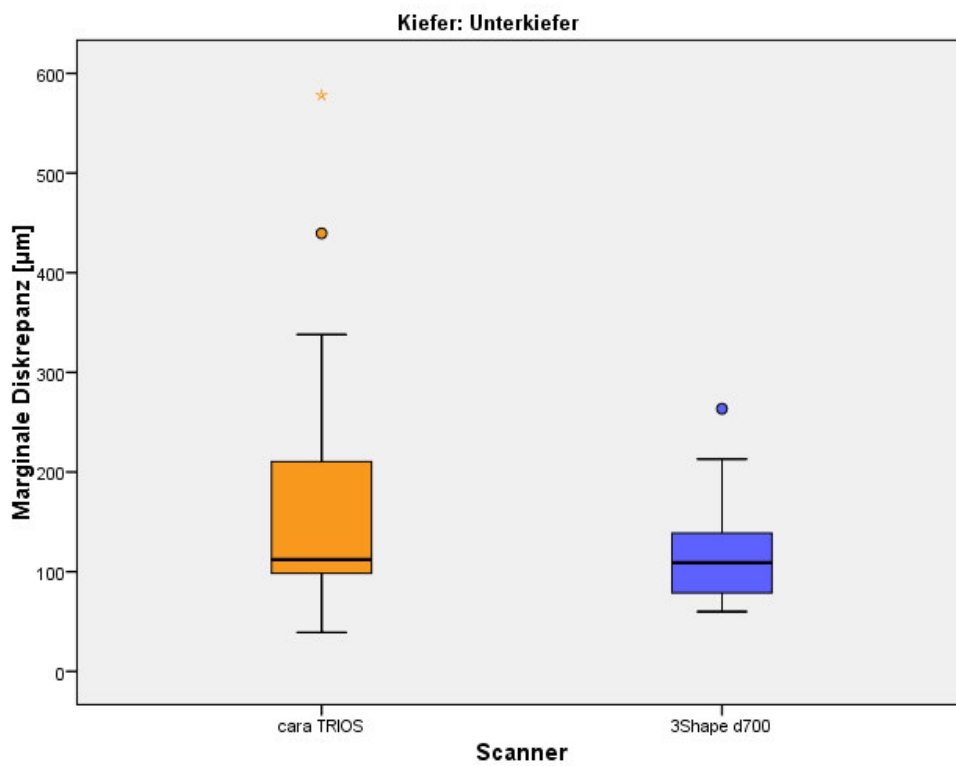


Abb. 30: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode)

### 5.1.4 Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems

Es gab keine signifikanten Unterschiede für die marginalen Diskrepanzen beim Vergleich der Werte der unterschiedlichen Kiefer innerhalb eines Systems (Abb. 30):

- cara TRIOS:  $p = 0,544$
- 3Shape d 700:  $p = 0,385$

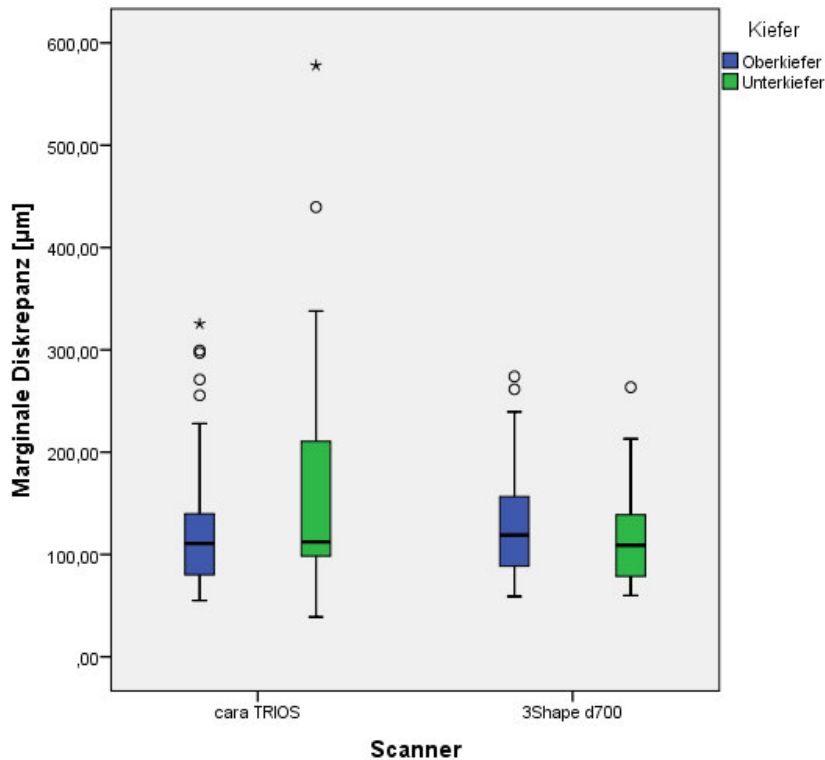


Abb. 31: Kiefer im Vergleich innerhalb eines Systems (Replika-Methode)

### 5.1.5 Vergleich von Ober- und Unterkiefer beide Scansysteme zusammengefasst

Fasst man beide Systeme zusammen und vergleicht den Oberkiefer mit dem Unterkiefer, wurde kein signifikanter Unterschied in Hinsicht auf die marginale Diskrepanz zwischen beiden Kiefern ermittelt ( $p = 0,980$ ); (Abb. 31), (Tab. 7).

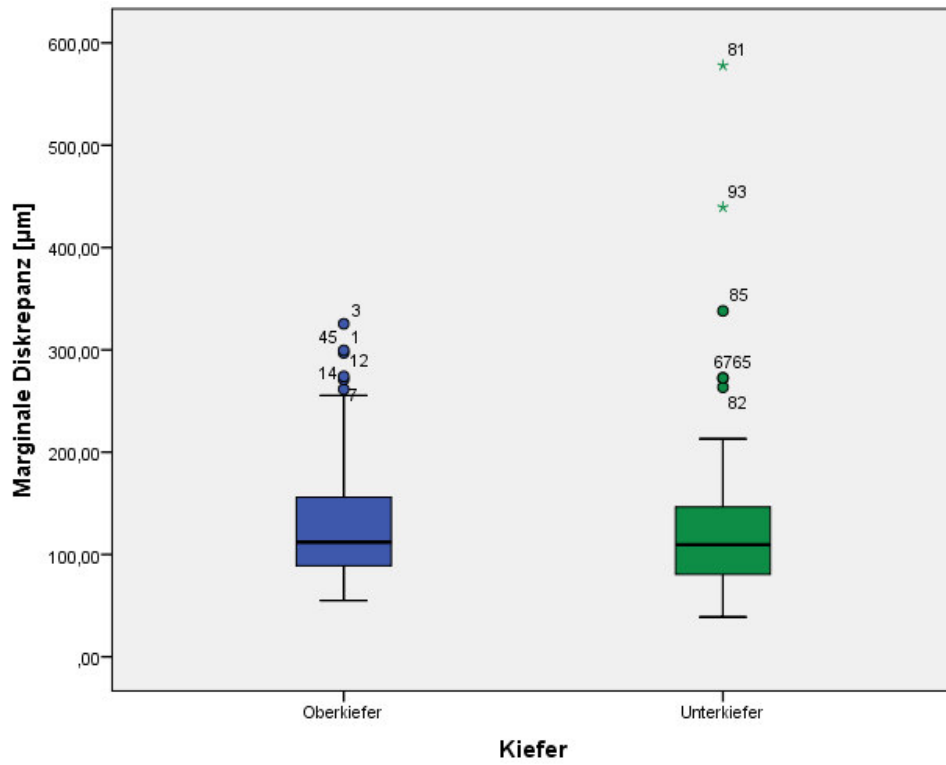


Abb. 32: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Replika-Methode)

## 5.2 Präzision der Messsondenwerte

Bei den Messsonden-Werten für die Präzision wurden ordinale Variablen von 1 bis 13 festgelegt (Seite 37, Tab. 1).

### 5.2.1 Vergleich der Scanverfahren insgesamt

Bei dem Vergleich beider Scanverfahren insgesamt wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt ( $p=0,021$ ); (Abb. 32), (Tab. 8). Die Messköppchen vom cara TRIOS wiesen hinsichtlich der marginalen Passgenauigkeit einen Medianwert von 3 (Q1: 2; Q3: 4), (Minimum: 1; Maximum: 13) auf. Die vom 3Shape d700 erreichten diesbezüglich einen Medianwert von 2 (Q1: 1; Q3: 3), (Minimum: 1; Maximum: 13).

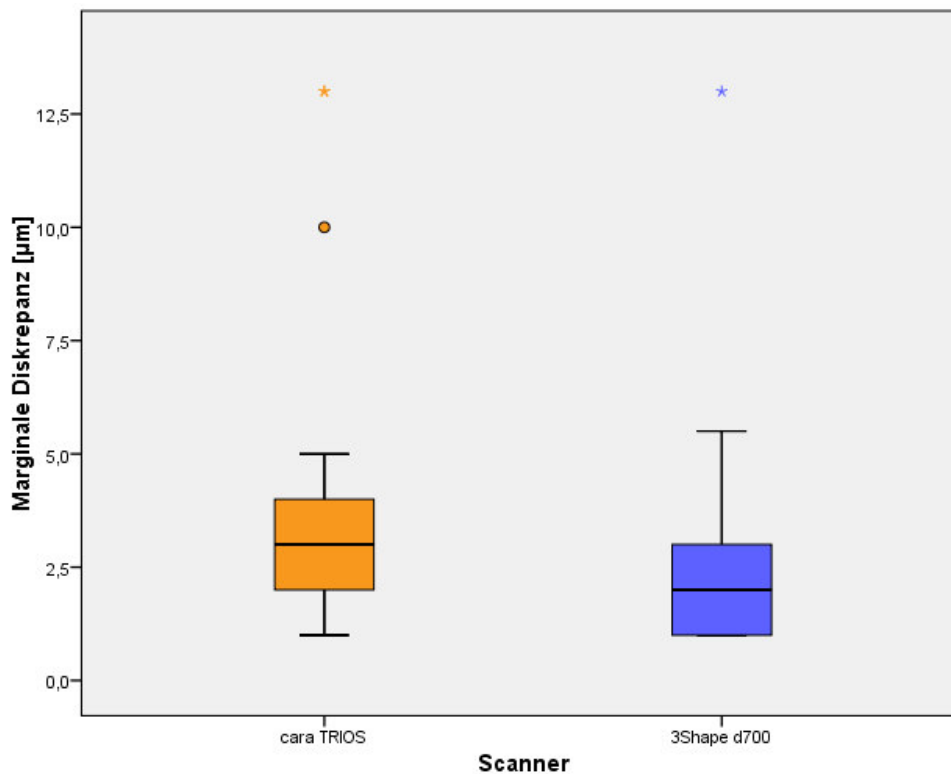


Abb. 33: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Ordinale Präzision)

### 5.2.2 Vergleich der Messstellen

Bei dem Vergleich der einzelnen Messstellen innerhalb eines Systems wurden für den cara TRIOS signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) hinsichtlich der marginalen Diskrepanz zwischen den folgenden Messstellen ermittelt: mesiooral und mesiovestibulär ( $p=$

0,030), oral und mesiovestibulär ( $p = 0,017$ ) und oral und vestibulär ( $p = 0,045$ ); (Abb. 33), (Tab. 9).

Bei dem Laborscanner 3Shape d700 wurden signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den Messstellen oral und vestibulär ( $p = 0,007$ ), oral und mesiooral ( $p = 0,039$ ) und distooral und oral ( $p = 0,035$ ) festgestellt (Abb. 33), (Tab. 10).

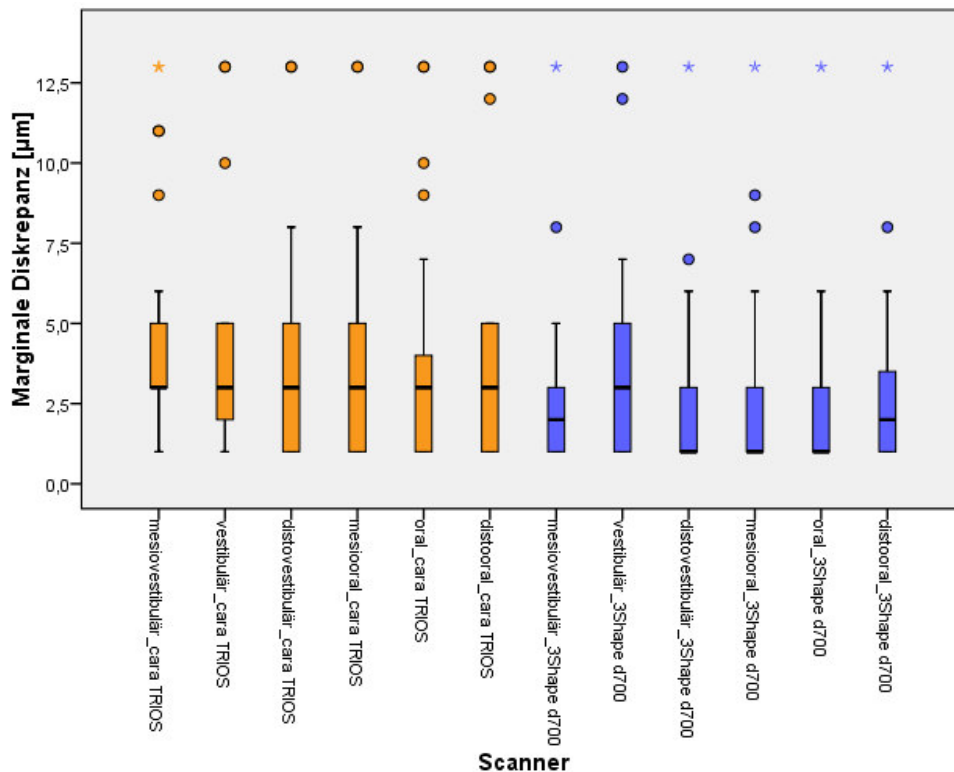


Abb. 34: Messstellen im Vergleich beider Scanverfahren (Ordinale Präzision)

### 5.2.3 Vergleich beider Scansysteme im Ober- und Unterkiefer

Die Vergleiche der Scansysteme, getrennt nach Ober- und Unterkiefer, ergab für die marginale Passgenauigkeit keine signifikanten Unterschiede (Abb. 34 und 35), (Tab. 11 und 12):

- Oberkiefer:  $p = 0,085$
- Unterkiefer:  $p = 0,110$

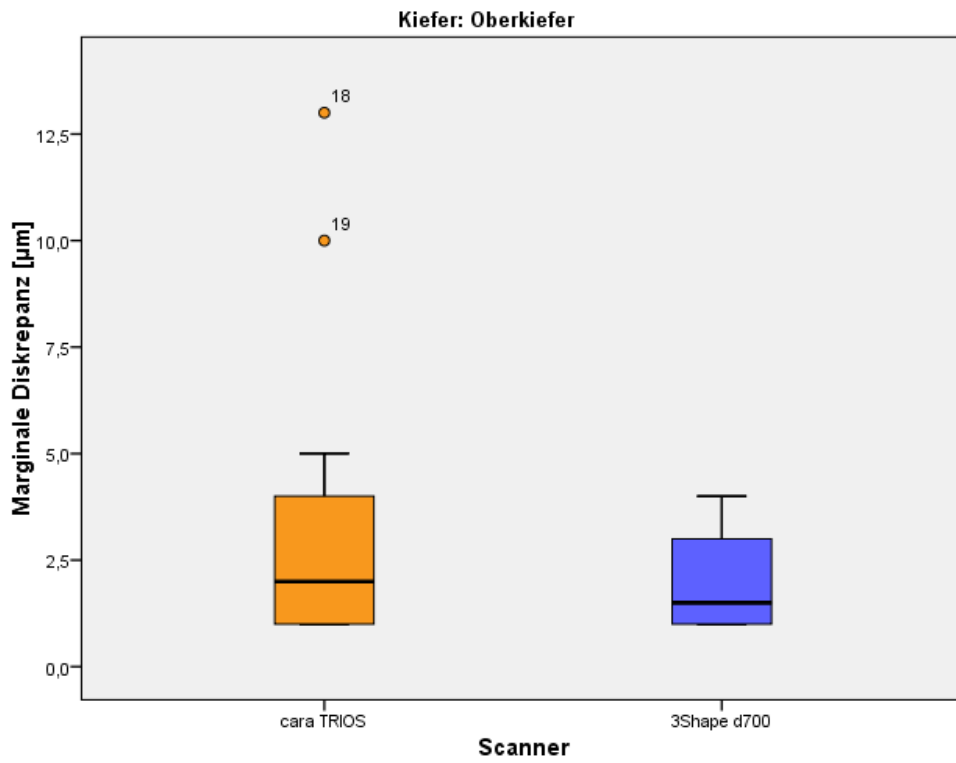


Abb. 35: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision)

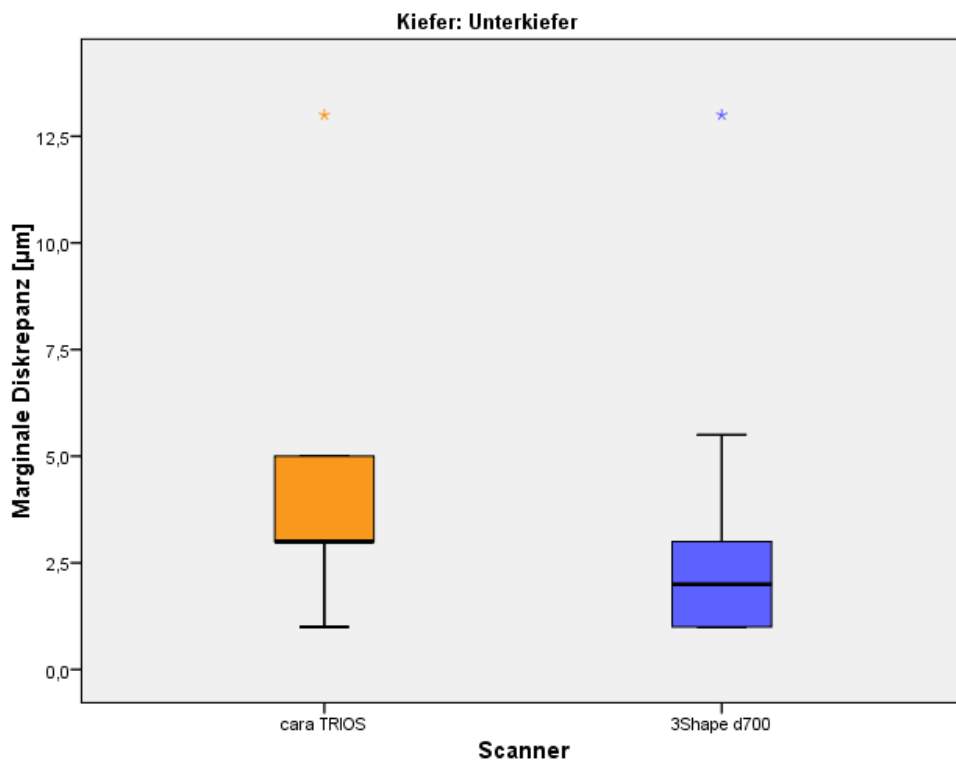


Abb. 36: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision)

### 5.2.4 Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems

Der Vergleich von Ober- und Unterkiefer beim Scanner cara TRIOS zeigte signifikante Unterschiede ( $p = 0,027$ ) hinsichtlich der marginalen Diskrepanz. Bei dem Scanner 3Shape d700 gab es diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0,124$ ); (Abb. 36).

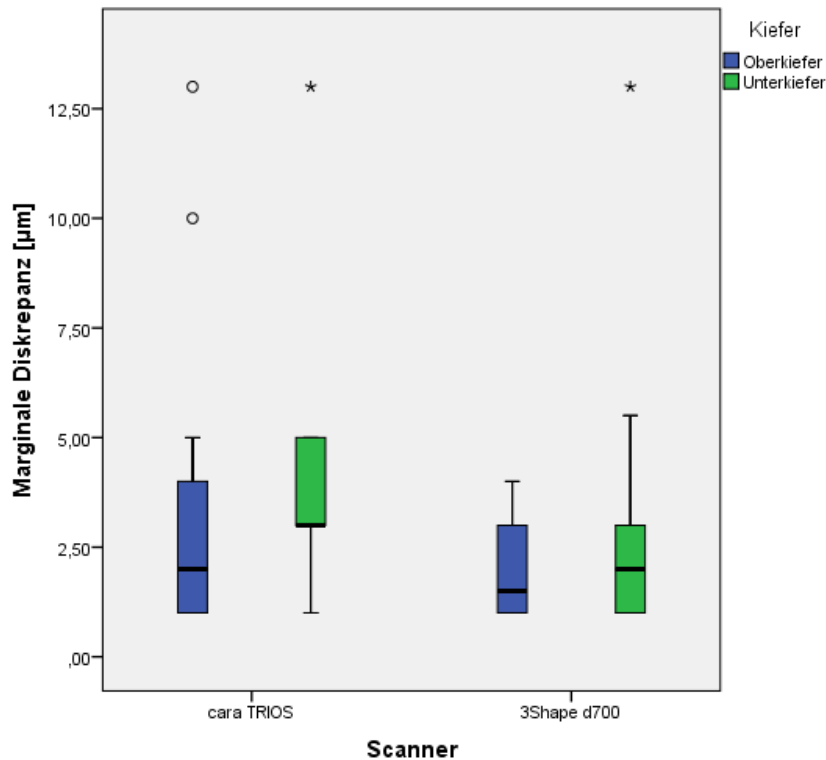


Abb. 37: Kiefer im Vergleich innerhalb eines Systems (Ordinale Präzision)

### 5.2.5 Vergleich von Ober- und Unterkiefer beide Scansysteme zusammenfasst

Fasst man beide Scansysteme zusammen, gab es bei dem Vergleich von Ober- zu Unterkiefer signifikante Unterschiede ( $p = 0,046$ ) in Hinsicht auf die marginale Passgenauigkeit. Im Oberkiefer lag der Medianwert bei 2 (Q1: 1; Q3: 3), (Minimum: 1; Maximum: 13). Im Unterkiefer lag der Medianwert bei 3 (Q1: 2; Q3: 4.75), (Minimum: 1; Maximum: 13); (Abb. 37), (Tab. 13).

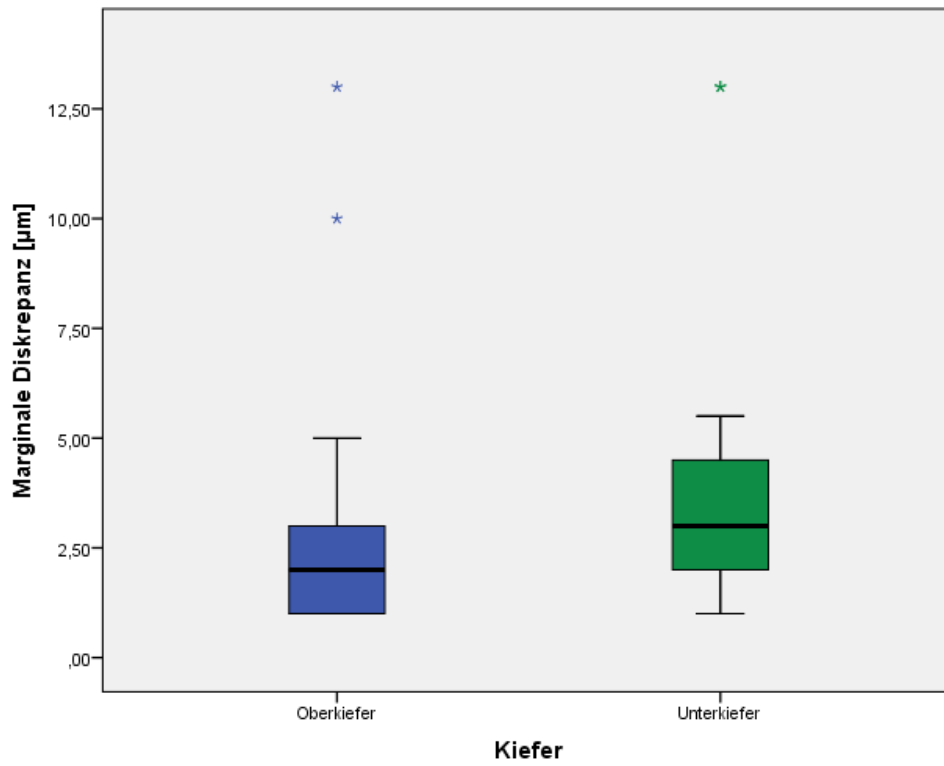


Abb. 38: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Ordinale Präzision)



### 5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es kann zusammenfassend festgehalten werden, dass es bei der Replika-Methode keinen signifikanten Unterschied zwischen den Resultaten der beiden Scansysteme gab. Auch in Bezug auf die einzelnen Messstellen oder Kiefer konnten keine signifikanten Abweichungen festgestellt werden.

Bei der Auswertung der Messsondenwerte für die Präzision konnten beim Vergleich der Scansysteme insgesamt sowie beim Vergleich der einzelnen Messstellen signifikante Unterschiede ermittelt werden. Beim cara TRIOS gab es signifikante Unterschiede beim Vergleich von Ober- und Unterkiefer. Beim 3Shape d700 gab es diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede. Keinen signifikanten Unterschied ergab der für Ober- und Unterkiefer getrennte Vergleich zwischen beiden Scansystemen. Der Vergleich von Ober- zu Unterkiefer, wenn beide Scansysteme zusammengefasst werden, zeigte signifikante Unterschiede.

## 6 Diskussion

### 6.1 Diskussion der Methoden

#### **6.1.1 Patienten- und Zahnauswahl**

Die relativ hohe Anzahl an Studienteilnehmern für diese In-vivo-Studie wurde durch eine Patientenakquirierung aus der prothetischen Abteilung der Zahnklinik Gießen ermöglicht. Voraussetzung für die Studienteilnahme war eine Indikation für eine Kronen-, Brücken- oder Teleskopversorgung.

Für diese vorliegende Arbeit wurde keine bestimmte Zahngruppe favorisiert. Es konnten auch nicht - wie bei In-vitro-Studien - standardisierte Modellzähne verwendet werden. Vorausgesetzt wurde, dass eine Indikation zur Überkronung vorlag, die Präparationsgrenze einsehbar und das Arbeitsfeld trocken zu legen war. Die Präparationen der einzelnen Zähne erfolgten durch die behandelnden Studenten. Die Betreuung und Kontrolle durch die Prüffärztin gewährleistete stets eine bestmögliche Präparation der Zähne durch die Studenten.

#### **6.1.2 Präparationsform und Lage der Präparationsgrenze**

Im Studentenkurs der Zahnklinik Gießen wird standardmäßig eine Hohlkehlpräparation angestrebt. Sie hat sich in der Vergangenheit und auch in anderen Studien als beste Präparationsform bewährt<sup>26, 76</sup>. Aber nicht nur die Präparationsform, sondern auch die Lage der Präparationsgrenze spielt eine wichtige Rolle bei der Abformung (vergl. Kapitel 3.1). Von den Einschlusskriterien profitierte vor allem der intraorale Scanner cara TRIOS, da die intraoralen Scanner nur das aufnehmen, was sie wirklich sehen können. Bei einer Abformung, vor allem bei einer Korrekturabformung, ist es möglich, durch den Staudruck auch schwer einsehbare Präparationsgrenzen darzustellen<sup>99</sup>. Hätte es das Kriterium der einsehbaren Präparationsgrenze nicht gegeben, hätte der Scanner cara TRIOS einen erheblichen Nachteil gegenüber der Korrekturabformung gehabt.

### **6.1.3 Weichgewebsmanagement**

Das richtige Weichgewebsmanagement ist wichtig für die Qualität einer konventionellen oder digitalen Abformung. Wie auch in der Literatur empfohlen, wurden die Abformungen (konventionell und digital) 7-10 Tage nach der Präparation durchgeführt<sup>99</sup>. Für diese In-vivo-Studie war es maßgeblich, dass beide Arten von Abformungen am selben Tag gemacht wurden. Nur so konnten gleiche Bedingungen bezüglich der Weichgewebsbeschaffenheit erreicht werden. Zudem ist es für den Patienten sehr unangenehm, wenn an zwei Terminen jeweils anästhesiert wird und Retraktionsfäden gelegt werden müssen. Die Verwendung von OptraGates und Dry Tips ist vor allem für den intraoralen Scan von Vorteil. Das OptraGate hält die Wangenschleimhaut ab, damit diese beim Scanvorgang nicht mit aufgenommen wird. Die Dry Tips helfen, ein trockenes Arbeitsfeld zu schaffen. Für die Korrekturabformung sind diese beiden Hilfsmittel eher störend und wurden deshalb auch vorher aus dem Patientenmund entnommen.

Die intrapapilläre Anästhesie mit Ultracain® D-S forte wird für Abformungen in der Literatur empfohlen<sup>93, 99</sup>. Durch diese wird eine relative Blutleere im umliegenden Gewebe erreicht.

Für eine konventionelle Abformung reicht es aus, einen entsprechend großen Retraktionsfaden in den Sulkus des abzuformenden Zahnes zu legen. Da aber die Doppelfadentechnik für den intraoralen Scan empfohlen wird<sup>102</sup>, wurde diese Technik für beide Methoden verwendet. Die Doppelfadentechnik stellte keinen Nachteil für die Korrekturabformung dar. Es konnte sogar beobachtet werden, dass durch die verlängerte Liegedauer des unteren Fadens der Sulkus besonders weit geöffnet war und somit leichter mit dem Silikon umspritzt werden konnte. Die Verwendung von in 25%iger Aluminiumsulfatlösung getränkten Ultrapak-Retraktionsfäden hat sich als gut bewährt. In der Literatur konnte kein signifikanter Unterschied zu in Adrenalin getränkten Fäden ausgemacht werden<sup>42</sup>.

### **6.1.4 Scanvorgang**

Damit in dieser In-vivo-Studie stets gleiche Bedingungen vorlagen, wurde der Scanner cara TRIOS vor jedem Gebrauch kalibriert. Die Tatsache, dass in dieser Studie immer mit dem intraoralen Scan begonnen wurde, liegt vor allem an den Retraktionsfäden. Ein intraoraler Scan erfordert die Doppelfadentechnik, wobei der obere Faden kurz vor dem

Scannen gezogen wird. Der untere Faden soll während des Scanvorgangs den Sulkus weiterhin offen halten. Wäre die Korrekturabformung zuerst durchgeführt worden, wären beide Retraktionsfäden nach Durchführung der Abformung gezogen worden. Für den intraoralen Scan müsste erneut die Doppelfadentechnik angewendet werden, was für das Weichgewebe und den Patienten traumatisierend gewesen wäre. Zudem hätte diese Vorgehensweise einen negativen Einfluss auf das Ergebnis gehabt.

Für diese In-vivo-Studie wurde nur der einzelne präparierte Zahn gescannt. Es war nicht erforderlich, einen Ganzkieferscan, einen Gegenkieferscan oder eine Bissregistrierung durchzuführen. Es hätte auch der ganze Kiefer gescannt werden können, allerdings lag der Fokus auf der marginalen Passung der Restauration. Die Fragestellungen nach einem guten Approximalkontakt oder einer guten Okklusion waren in dieser Studie nicht gegeben, sollten jedoch in weiterführenden Studien berücksichtigt werden.

Das Handstück des cara TRIOS ist im Vergleich zu den Handstücken anderer Systeme (3M True Definition oder Sirona CEREC Omnicam) sehr groß. Der Pistolengriff ermöglicht dennoch eine ergonomische Handhabung. Trotz der Größe ist es kein Problem, distale Bereiche im Patientenmund zu scannen, da das Aufnahmefeld des cara TRIOS vergleichsweise groß ist.

Vorteil einer digitalen Abformung ist es, dass nach dem Scanvorgang das virtuelle Modell vergrößert auf dem Bildschirm begutachtet werden kann. Kleine Fehler oder Ungenauigkeiten können durch „radieren“ der entsprechenden Stelle gelöscht und nachgescannt werden. Bei einer konventionellen Abformung kann ein Fehler oder eine Ungenauigkeit nur durch Wiederholen des ganzen Prozesses korrigiert werden. Das Risiko, dass dabei wieder ein Fehler entsteht, kann nicht ausgeschlossen werden.

### ***6.1.5 Abformmaterial und Abformtechnik***

Für die Abformung wurde die Korrekturtechnik gewählt. Diese wird standardmäßig in den Studentenkursen der prothetischen Abteilung der Zahnklinik Gießen zur Herstellung von festsitzenden prothetischen Restaurationen verwendet. Mit dieser Abformtechnik lassen sich subgingivale Bereiche sehr gut darstellen, da ein hoher Staudruck erzielt werden kann<sup>99</sup>. Zudem zeigt die Korrekturabformung im Vergleich zur Doppelmischabformung bessere Ergebnisse in vivo<sup>98</sup>. Die Doppelmischabformung ist zwar bei

der Durchführung einfacher, aber durch den fehlenden Staudruck werden subgingivale Bereiche nicht genau genug abgeformt und es können „Fließnasen“ entstehen<sup>99</sup>.

Das Abformmaterial EXA'lence ist ein VPS-Material und gehört somit zu den Hybridabformmaterialien. Von den Eigenschaften her wird es den klassischen A-Silikon zugeordnet<sup>80</sup>. EXA'lence zeigt auch in feuchten Bereichen eine hohe Dimensionstreue<sup>19, 104</sup>. Dies ist vor allem bei subgingival gelegenen Präparationsgrenzen von Vorteil, da diese schwierig trocken zu halten sind. Um die positiven Eigenschaften der A-Silikone und Polyether-Materialien zu kombinieren (vgl. Kapitel 3.1), wurde für diese Studie ein Hybridabformmaterial verwendet.

### **6.1.6 Datenverarbeitung**

Vor Beginn dieser Studie wurden bezüglich der Datenverarbeitung verschiedene Überlegungen durchgeführt. Eine Variante wäre gewesen, die virtuellen Modelle als STL-Datei zum Fräszentrum Kappert zu schicken. In dem Fräszentrum hätte das Personal jeweils die Präparationsgrenze einzeichnen müssen, um anschließend das Off-Set-Käppchen designen und fräsen zu können. Eine andere Variante wäre gewesen, selber die Präparationsgrenze am virtuellen Modell des cara TRIOS und 3Shape d700 einzuzeichnen und erst dann die Daten an das Fräszentrum zu verschicken. Diese Möglichkeit bietet der Scanner cara TRIOS standardmäßig. Bei diesem Vorgehen wäre die Designsoftware vom Laborscanner 3Shape d700 nötig gewesen, um am virtuellen Modell des Laborscanners selbst die Präparationsgrenze einzeichnen zu können. Nach Abwägung aller Aspekte wurde in dieser Studie der Ansatz gewählt, dass die Bearbeitung des jeweiligen Datensatzes von einem Kompetenzteam, welches Erfahrungen mit dem jeweiligen System vorzuweisen hat, übernommen wird. Somit konnten Ungenauigkeiten aufgrund von Unerfahrenheit im technischen Prozess ausgeschlossen werden.

### **6.1.7 Messsonden-Technik**

Die Ermittlung der marginalen Passgenauigkeit ist bekanntlich in vivo schwierig. Deshalb wurden in dieser Studie zwei Verfahren zur Bestimmung der marginalen Diskrepanz angewendet. Beide Verfahren sind nicht invasiv und ethisch vertretbar. Durch die

Messsonden-Technik konnte schnell ein Eindruck von der marginalen Passung gewonnen werden. Durch die Replika-Methode wurden diese Ergebnisse verfeinert.

Die Messsonden-Technik ist nicht nur eine bewährte Technik zur In-vivo-Untersuchung der marginalen Passgenauigkeit prothetischer Restaurationen<sup>34, 73, 97</sup>, sondern auch Bestandteil des klinischen Alltags. Anhand von Sonden kann visuell und taktil der Kronenrand beurteilt werden. In dieser Studie wurde der Messsondensatz der Fa. AESCULAP verwendet. Dieser Satz enthält fünf Messsonden, die im Bereich von 100-500µm messen. Durch diese grobe Einteilung lässt sich die marginale Passgenauigkeit allerdings nicht eindeutig bestimmen. Wird beispielsweise die 200µm Sonde als letztes unter den Kronenrand eingehakt, weiß der Behandler lediglich, dass die marginale Passung kleiner als 300µm aber größer als 200µm ist. Ob die marginale Passung bei 201µm oder bei 299µm liegt, kann durch diese Methode nicht ermittelt werden. Eine Einteilung der Messsonden in kleineren µm-Abständen könnte dieses Problem beheben, jedoch ist es fraglich, ob die menschliche Taktilität kleinere µm-Abstände registrieren kann. Zudem würde sich der Messvorgang entsprechend verkomplizieren. Gemessen wurde an sechs definierten Stellen (mesiovestibulär, vestibulär, disto-vestibulär, mesiooral, oral sowie distooral), wobei die approximalen Messstellen schwer zugänglich waren, wenn der Nachbarzahn vorhanden war. Durch die Anwendung der Messsonden-Technik erhält der Behandler schnell einen Eindruck, wie gut oder schlecht die zahnärztliche Restauration passt. Aus diesem Grund ist diese Methode auch für den Praxisalltag sinnvoll, jedoch ist zu berücksichtigen, dass die absolute marginale Diskrepanz mittels Messsonden eher unter- als überschätzt wird<sup>97</sup>.

Für die Dokumentation wurden die Messkäppchen in dieser In-vivo-Studie blind anprobiert. Das heißt, dass die Prüffärztin zum Zeitpunkt der Vermessung der Messkäppchen nicht wusste, aus welchem System (cara TRIOS oder 3Shape d700) die Messkäppchen entstanden sind. Damit sollte eine eventuelle Voreingenommenheit vermieden werden.

### **6.1.8 Replika-Methode**

Die Replika-Methode ist eine oft beschriebene Methode zur Untersuchung marginaler Passgenauigkeiten in vivo<sup>16, 31, 43, 58</sup> und wurde in einigen Studien in modifizierter Form angewendet<sup>8, 10, 60, 96</sup>. Diese Technik hat vor allem bei subgingivalen und nicht eindeutigen Präparationsgrenzen ihre Limitation<sup>16, 31</sup>. Besonders die in dieser Studie untersuch-

te marginale Passgenauigkeit kann nur mit unmissverständlichen Präparationsgrenzen und Kronenrändern untersucht werden.

In dieser In-vivo-Studie wurden die Materialien Fit Test® C & B (VOCO, Cuxhaven) und das Express™ 2 Ultra-Light Body Quick (3M, St. Paul, USA) verwendet. Durch die Farben Blau und Orange entstand ein guter Kontrast. Dieser war für die Betrachtung unter dem Makroskop wichtig. Beide Materialien waren einfach zu verarbeiten. Vor allem das Material Fit Test® C & B band schnell ab und hielt gut in den Messkäppchen.

Die Anwendung der Replika-Methode war techniksensibel. Es musste darauf geachtet werden, dass der Zahnstumpf und das Messkäppchen sauber und trocken waren. Das Silikon sollte den Einsetzzement nachbilden. Vorherige Studien konnten zeigen, dass dünnflüssiges Silikon die Dicke von Einsetzzementen (Glasionomerezemente oder Zink-Phosphat-Zemente) gut wiedergibt<sup>31, 69</sup>. Nachdem das Material Fit Test® C & B (VOCO, Cuxhaven) in ein Messkäppchen gefüllt wurde, setzte der Prüfarzt das Messkäppchen mit Fingerdruck auf den Stumpf. Der Fingerdruck sollte das Einzementieren simulieren. Obwohl dieser Fingerdruck nicht immer der exakt gleiche und somit keine definierte Kraft sein konnte, haben wir uns für diese Variante und gegen ein Dynamometer entschieden, da das gewählte Vorgehen hinreichend genau und klinisch leichter umzusetzen war. Die Abbindezeit wurde nach Herstellerangaben eingehalten. Nach der Aushärtung wurde das Messkäppchen vorsichtig vom Stumpf genommen. Dieser Schritt war höchst sensibel. Hierbei konnte es nämlich zum teilweisen Ablösen des Silikonfilms aus dem Messkäppchen kommen oder der Silikonfilm löste sich aus dem Messkäppchen und verblieb im Ganzen auf dem Stumpf. Zudem konnte es vor allem am Kronenrand zu Silikonausrissen kommen. Deshalb war eine kritische Begutachtung des Ergebnisses wichtig. Bei der Ausfüllung des Lumens mit dem Material Express™ 2 Ultra-Light Body Quick (3M, St. Paul, USA) war es wichtig, das Material blasenfrei einzubringen. Aufgrund dessen wurde auf ein Heavy-body-Material verzichtet und ein Light-body-Material bevorzugt. Nach der Aushärtung des Materials wurde das Messkäppchen mit einer zahnärztlichen Pinzette vom Replika abgezogen. Auch hier war eine kritische Begutachtung des Ergebnisses notwendig.

Das Zuschneiden der Replika erfolgte immer in gleicher Weise. Ein Schnitt verlief in orovestibulärer und einer in mesiodistaler Richtung. Diese geringe Anzahl an Querschnitten ermöglicht nur eine begrenzte Anzahl von Messungen. In anderen Studien wurde selbst die Messung an vier bis zwölf Messstellen pro Replika als zu gering ange-

sehen<sup>58</sup>. Teilweise wurde in einer Studie sogar gefordert, pro Krone an bis zu 50 Stellen zu messen<sup>36</sup>. Dies jedoch ist in vivo kaum praktikabel. Die Betrachtung unter dem Makroskop erfolgte durch zwei Prüfarzte. Dazu wurde das zugeschnittene Replika mittels einer Parallelpresse in Putty-Masse eingebettet. Dies war wichtig, damit das Replika möglichst in einer Ebene unter dem Makroskop begutachtet werden konnte. Wie im Kapitel 4.11 erklärt, konnten zwei Prüfarzte gleichzeitig den vergrößerten Bildausschnitt unter dem Makroskop betrachten, wodurch der zu messende Bereich leichter ermittelt werden konnte. Die Dokumentation erfolgte tabellarisch. Dabei wurde senkrecht die kürzeste Distanz vom Innenrand der Krone bis zum Kronenrand gemessen. Es wurde nicht notiert, ob die Krone über- oder unterkonturiert war. Andere Verfahren zur Bestimmung der marginalen Passung für In-vivo-Studien boten sich für diese Studie nicht an. Die Möglichkeit der röntgenologischen Untersuchung in Form von Bissflügel-aufnahmen<sup>27</sup> schied aus, da der Patient nicht unnötiger Strahlenbelastung ausgesetzt werden sollte. Die Variante, dass der zu untersuchende Zahn später extrahiert wird und die marginale Passung im Labor untersucht wird<sup>67, 95</sup>, fiel für diese Art von Studie aus, da die Behandlung im Rahmen des Studentenkurses stattfand und entsprechende Zähne nicht zur Extraktion bestimmt waren. Zudem ist diese Variante ethisch kaum vertretbar. Die Messsonden- und die Replika-Methode sind zwei nicht invasive Verfahren und erschienen deshalb als gute Methoden zur Bestimmung der marginalen Passgenauigkeit für In-vivo-Studien, auch wenn sie ihre Limitationen haben.

### **6.1.9 Statistische Auswertung**

Vorzugsweise wurde der Medianwert berichtet, da der Mittelwert empfindlicher gegenüber Ausreißern ist und es in beiden Gruppen Ausreißer gab. Überdies hinaus wurden den Messsondenwerten ordinale Variablen zugeteilt. Diese dürfen per Definition nicht als Mittelwerte berichtet werden.

Der Wilcoxon-Test wurde für die paarweisen Vergleiche verwendet, da die Werte nicht normalverteilt waren.

Da die Werte Ausreißer hatten, beziehungsweise ordinale Variablen waren, wurde für den Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems der Mann-Whitney-Test herangezogen.



Für den kompletten Vergleich von Ober- zu Unterkiefer bei der Replika-Methode wurde, um Abhängigkeiten in den Daten aufgrund der mehrfachen Messung eines Probanden angemessen modellieren zu können, ein gemischtes lineares Modell (Prozedur MIXED) gerechnet. Scanner wurden als fester, Probanden als zufälliger Effekt (Kovarianztyp: Varianzkomponenten (random-intercept-Modell)) modelliert. In der Auswertung wurde sich auf transformierte Werte bezogen. Diese wurden aufgrund von Ausreißern logarithmiert.

Für den Vergleich von Ober- zu Unterkiefer bei den Messsondenwerten wurde die Prozedur GEE (Generalisierte Schätzungsgleichungen) verwendet, um die Abhängigkeiten in den Daten, die sich aus den wiederholten Messungen ergaben, angemessen modellieren zu können. Die abhängige Variable wurde als Zählvariable angesehen und aufgrund einer für eine Poisson-Verteilung zu großen Varianz im Verhältnis zum Mittelwert wurde die Verknüpfungsfunktion negativ binominal verwendet.

## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

### ***6.2.1 Vergleich der Scanverfahren insgesamt***

Bei den Ergebnissen der Replika-Methode (Tab. 3) war kein signifikanter Unterschied bezüglich der marginalen Diskrepanz zwischen dem cara TRIOS und dem 3Shape d700 erkennbar. Der cara TRIOS war bei der Replika-Methode hinsichtlich der marginalen Diskrepanz lediglich um  $1,5\mu\text{m}$  (Medianwert) genauer als der 3Shape d700. Jedoch wies der cara TRIOS mehr Ausreißer auf als der 3Shape d700 (Medianwert) (Abb. 26). Dies spricht für eine bessere Konstanz beim 3Shape d700. Dafür spricht auch, dass beim 3Shape d700 nur ein Messkäppchen und beim cara TRIOS zwei Messkäppchen nicht passten. Dies kann aber auch zufallsbedingt sein. Bei der Auswertung der Messsondenwerte zur Präzision waren signifikante Unterschiede zu erkennen (Tab. 9). Dies könnte daran liegen, dass die Käppchen, die nicht gepasst haben, bei der Auswertung der Messsonden berücksichtigt wurden. Mit ihren Medianwerten aus den Replika-Ergebnissen liegen beide Scanner im geforderten Bereich von  $100\text{-}120\mu\text{m}$  und kleiner<sup>40</sup>.

### **6.2.2 Vergleich der Messstellen**

Bei der Betrachtung der einzelnen Messstellen innerhalb eines Systems gab es bei beiden Scannern bei der Replika-Methode bezüglich ihrer klinischen Wertigkeit keine signifikanten Unterschiede (Tab. 4 und 5). An den verschiedenen Messstellen bei der Replika-Methode (mesial, distal, vestibulär, oral) wurden Werte im Bereich von 14-1143 $\mu\text{m}$  (cara TRIOS) und 18-1130 $\mu\text{m}$  (3Shape d700) gemessen. Aufgrund der nicht signifikanten Unterschiede kann davon ausgegangen werden, dass ein Zahn sowohl beim intraoralen Scan als auch beim Laborscan von allen Seiten gleichermaßen erfasst wird. Es wurde erwartet, dass bei beiden Methoden (intraoraler Scan und konventionelle Abformung) die oralen Stellen schlechtere Ergebnisse liefern würden. Diese Stellen lassen sich angesichts der oralen Strukturen wie Zunge und Speicheldrüsen im Unterkiefer nur schwer trocken halten. Die Auswertung der Messsondenwerte vom cara TRIOS und vom 3Shape d700 hinsichtlich ihrer Präzision zeigte hingegen, dass die oralen Messstellen teilweise signifikant bessere marginale Diskrepanzen lieferten als die anderen Messstellen (Tab. 10). Ein Grund für das gute bis teilweise signifikant bessere Abschneiden der oralen Messstellen könnten sein, dass für diese Studie nur Zähne ausgewählt wurden, bei denen die Präparationsgrenze sichtbar und trocken zu legen war. Bei schwer einsehbaren Präparationsgrenzen wäre es eventuell zu schlechteren Ergebnissen gekommen. Die schlechteren Ergebnisse der vestibulären Stellen könnten daran liegen, dass dort die Wange den Scanvorgang beziehungsweise die Abformung behindert.

Sowohl die kleinste (14 $\mu\text{m}$ ) als auch die größte (1143 $\mu\text{m}$ ) gemessene marginale Diskrepanz wurde oral gemessen. Beide Werte entstammen dem cara TRIOS. Dies bestätigt das Ergebnis vom Vergleich beider Scansysteme insgesamt, bei dem der cara TRIOS auch mehr Ausreißer hatte als der 3Shape d700.

### **6.2.3 Vergleich beider Scansysteme im Ober- und Unterkiefer**

Bei diesem Vergleich konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der marginalen Passgenauigkeit festgestellt werden. Die Replika-Methode und die Messsondenwerte kommen dabei zum selben Ergebnis (Tab. 6 und 7; Tab. 12 und 13). Dies zeigt, dass sowohl ein intraoraler Scan als auch die konventionelle Abformung, die dann digitalisiert wurde, nicht durch orale Strukturen wie Gaumen oder Zunge negativ

beeinflusst werden. Störfaktoren wie Speichel und Zunge im Unterkiefer beeinflussen beide Scansysteme gleichermaßen.

#### **6.2.4 Vergleich von Ober- und Unterkiefer innerhalb eines Scansystems**

Dieser Vergleich zeigt nur bei den cara TRIOS Messsondenwerten bezüglich der Präzision einen signifikanten Unterschied. Dabei schneidet der Oberkiefer besser ab als der Unterkiefer (Abb. 36). Ansonsten sind die Ergebnisse innerhalb der beiden Scansysteme vom Unterkiefer im Vergleich zum Oberkiefer nicht signifikant unterschiedlich. Diese Ergebnisse bestätigen im Grunde die im Kapitel 6.2.3 angestellten Überlegungen. Aus den statistischen Auswertungen wird ersichtlich, dass beim cara TRIOS sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer ein Messköppchen nicht gepasst hat. Beim 3Shape d700 hat nur im Unterkiefer ein Messköppchen nicht gepasst.

#### **6.2.5 Vergleich von Ober- zu Unterkiefer beide Scansysteme zusammengefasst**

Wie bei den anderen Kiefervergleichen zeigte auch der Vergleich von Ober- zu Unterkiefer (beide Scansysteme zusammengefasst) nur hinsichtlich der ordinalen Variablen zur Präzision einen signifikanten Unterschied bezüglich der marginalen Diskrepanz (Tab. 14). Bei den anderen Auswertungen der Replika-Methode konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (Tab. 8).

### **6.3 Einordnung der Ergebnisse**

Es ist grundsätzlich schwierig, die Ergebnisse dieser In-vivo-Studie mit der vorliegenden Literatur/derzeitigen Studienlage zu vergleichen. Vor allem zum cara TRIOS gibt es bislang nur eine In-vitro-Studie (PubMed Suche: 28.07.2014) und auch die in-vivo-Studienlage zum Vergleich von intraoralen und Laborscannern ist wenig umfangreich. Trotzdem zeigen die Ergebnisse die Möglichkeiten von intraoralen Scannern und Laborscannern. Die hier aufgeführten Studien behandelten meistens die Scannersysteme von 3M oder Sirona. Bei dem Vergleich von intraoralen und Laborscannern wurde meistens die marginale Passgenauigkeit ermittelt<sup>5, 44, 84, 88</sup>. Die bisher einzige In-vivo-Studie, die beide Scanverfahren verglich, ist von Syrek *et al.*<sup>88</sup>. In der Studie wurde der

intraorale Scanner Lava C.O.S. mit dem Laborscanner Lava Scan ST verglichen. In der Studie wurde für den intraoralen Scanner ein Medianwert von  $49\mu\text{m}$  für die marginale Diskrepanz gemessen. Dies war signifikant besser als der Medianwert für den extraoralen Scanner in Höhe von  $71\mu\text{m}$ . Auch in der In-vivo-Arbeit von *Scotti et al.*<sup>83</sup> erreichte man mit dem Lava C.O.S. eine marginale Diskrepanz von  $49\mu\text{m}$  (Mittelwert). *Brawek et al.*<sup>18</sup> verglichen in ihrer In-vivo-Arbeit die marginale Diskrepanz des intraoralen Scanner Lava C.O.S. und des intraoralen Scanner CEREC AC. Der Lava C.O.S. lieferte mit  $51\mu\text{m}$  (Mittelwert) signifikant bessere marginale Passungen als der CEREC AC mit  $83\mu\text{m}$  (Mittelwert). Die bisher einzige Studie, die auch den cara TRIOS untersuchte, ist die In-vitro-Studie von *Schäfer et al.*<sup>81</sup>. Hier wurde die marginale Passung von Kronen aus verschiedenen Scannersystemen (iTero, cara TRIOS, CEREC AC Bluecam und Lava C.O.S.) verglichen. In dieser In-vitro-Studie wurden marginale Passungen von  $128\mu\text{m}$  (Mittelwert) für den cara TRIOS ermittelt. Obwohl es sich in der vorliegenden Arbeit um eine In-vivo-Studie handelt, sind die Ergebnisse genauer als die aus der In-vitro-Studie<sup>81</sup>. Dies ist ungewöhnlich, da bei In-vitro-Studien unter standardisierten Bedingungen gearbeitet wird und somit häufig bessere Ergebnisse erwartet werden. Auch zum Scanner 3Shape d700 gibt es nur eine vergleichbare In-vitro-Studie<sup>49</sup>. In dieser Studie wurde die marginale und interne Passung von Kronen untersucht, die auf Basis des eingescannten Modells oder der eingescannten Abformung entstanden sind. Dabei wurde deutlich, dass das Einscannen von Modellen bessere Ergebnisse lieferte als das Einscannen von Abformungen. Das Einscannen des Modells lieferte für die marginale Passung Werte im Bereich von  $54,1\mu\text{m} - 74,5\mu\text{m}$ <sup>49</sup>. In der vorliegenden Studie konnte durch das Einscannen des Modells mittels des 3Shape d700 Scanners für die Zirkoniumdioxidkronen eine marginale Diskrepanz von  $112,5\mu\text{m}$  (Medianwert) erreicht werden. Dies ist somit deutlich unpräziser als in der Studie von *Lee et al.*<sup>49</sup>. *Almeida et al.*<sup>5</sup> untersuchten in ihrer In-vitro-Studie auch einen direkten intraoralen Scanner (Lava C.O.S.) und einen Laborscanner (Lava Scan ST) im Hinblick auf ihre marginale Diskrepanz. Dabei konnte wie in der vorliegenden Studie kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Scansystemen ausgemacht werden<sup>5</sup>. Auch in der Studie von *Keul et al.*<sup>44</sup> konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem Intraoralscanner iTero und dem Laborscanner CS2 von Straumann ermittelt werden. Mit dem iTero konnte in der Studie eine marginale Passung von  $127\mu\text{m}$  (Mittelwert) und mit dem CS2 von  $141\mu\text{m}$  (Mittelwert) erreicht werden. *Seelbach et al.*<sup>84</sup> verglichen drei verschiedene intraorale Scanner (Lava C.O.S., CEREC AC, iTero) sowie zwei verschiedene Abformmethoden

(Doppelmischabformung und Korrekturabformung) miteinander. Die aus den konventionellen Abformungen entstandenen Gipsmodelle wurden mit dem Laborscanner Lava Scan ST eingescannt. Dabei kam heraus, dass die intraoralen Scanner und der Laborscan des Modells auf Basis der Doppelmischabformung keine signifikanten Unterschiede bezüglich ihrer marginalen Passung aufwiesen. Nur der Laborscan auf Basis der Korrekturabformung lieferte signifikant schlechtere Ergebnisse als die anderen Scanmethoden<sup>84</sup>. In der vorliegenden Arbeit war auch eine Korrekturabformung Basis für das Gipsmodell und somit für den Laborscanner, jedoch gab es hier keinen signifikanten Unterschied zwischen intraoralem Scanner und Laborscanner. Die vorliegenden Ergebnisse und auch andere Studien<sup>5, 44, 84</sup> zeigen, dass es häufig keine signifikanten Unterschiede bezüglich der marginalen Diskrepanz zwischen direkten intraoralen Scannern und Laborscannern gibt, obwohl diese häufig mit unterschiedlichen optischen Aufnahmeverfahren arbeiten. Das zeigt, dass die Aufnahmeverfahren wie die optische Triangulation (3Shape d700) und das konfokale Prinzip (cara TRIOS) qualitativ gleich einzuschätzen sind. Wie schon im Kapitel 3.3 erläutert, gibt es bei dem Arbeitsablauf der indirekten Digitalisierung mehr Zwischenschritte als bei der direkten Digitalisierung. Die Ergebnisse dieser In-vivo-Studie lassen darauf schließen, dass die möglichen Fehlerquellen wie Durchführung einer konventionellen Abformung und Gipsmodellherstellung, anscheinend keinen negativen Einfluss auf die Genauigkeit des späteren digitalen Modells haben. Das könnte daran liegen, dass der konventionelle Weg über die Jahre so optimiert wurde, dass es kaum noch zu Fehlern kommt. Eine weitere Überlegung ist, dass, selbst wenn es bis zur Gipsmodellherstellung zu Fehlern gekommen ist, die indirekte Digitalisierung so genau ist, dass es zu keiner weiteren Fehlerpotenzierung kommt. Durch die Verwendung eines direkten intraoralen Scanners gibt es im Arbeitsablauf weniger Zwischenschritte und sichtbare Fehler können leicht korrigiert werden. Somit ist es wahrscheinlich, dass die Qualität der späteren Restauration gut ist. Jedoch können wir als Anwender nicht beurteilen, ob die gescannten Bereiche dimensionsgetreu und unverzerrt wiedergegeben werden. Diese Frage muss für den cara TRIOS in weiteren Studien mit dem Best-fit-Algorithmus geklärt werden. Mit den vorliegenden Auswertungen lässt sich nur vermuten, dass der cara TRIOS dahingehend gute Ergebnisse erzielen wird.

## 6.4 Schlussfolgerung

In dieser Arbeit sollte die Genauigkeit eines direkten und indirekten Scans in vivo untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten, dass es keinen signifikanten Unterschied bezüglich der marginalen Passgenauigkeit von Zirkoniumdioxidkronen gab, welche auf Basis des intraoralen Scanners cara TRIOS und des Laborscanner 3Shape d700 hergestellt wurden.

Beide Scanner lagen mit ihren marginalen Passungen in dem von Holmes et. al<sup>40</sup> geforderten Bereich von 100-120  $\mu\text{m}$  und kleiner. Die Zirkoniumdioxid-Käppchen, die auf Basis des cara TRIOS entstanden, wiesen in dieser Arbeit eine marginale Diskrepanz von 111 $\mu\text{m}$  (Medianwert) auf, die des 3Shape d700 von 112,5 $\mu\text{m}$  (Medianwert). In der vorliegenden Arbeit gab es zwar keinen signifikanten Unterschied zwischen dem indirekten und direkten Scanner, doch lieferte der Scanner 3Shape d700 tendenziell bessere marginale Passgenauigkeiten als der cara TRIOS.

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass die Nullhypothese nicht verworfen werden kann. Sowohl der intraorale Scanner cara TRIOS als auch der indirekte Scanner 3Shape d700 erzielen gute Ergebnisse bezüglich der marginalen Passung von Kronen. Mit den Ergebnissen können beide Systeme für die Praxis empfohlen werden.

Aber auch wenn beide Scansysteme zu gleichen Passgenauigkeiten von Zirkoniumdioxidkronen führen und deswegen beide für die Praxis empfohlen werden können, sollten die Vorteile der direkten intraoralen Scanner nicht übersehen werden. Es fallen gegenüber dem indirekten Laborscan eine ganze Reihe von Arbeitsschritten weg (Abb. 1), darunter unter anderem solche, die für den Patienten durchaus unangenehm sein können. Es ist deswegen nicht unwahrscheinlich, dass sich auf längere Sicht die direkten Scansysteme durchsetzen werden.

## 7 Zusammenfassung

Ziel der Studie war es, die Passgenauigkeit von Zirkoniumdioxidkronen, welche auf Basis eines intraoralen und eines indirekten Laborscans hergestellt wurden, zu vergleichen. Für diese In-vivo-Studie wurden bei 25 Patienten 51 Zähne abgeformt und gescannt. Für den Scan am Patienten verwendete die Prüffärztin den intraoralen Scanner cara TRIOS. Als Abformung wurde eine Korrekturabformung mit dem Material EXA'lence hergestellt und anschließend an das Zahntechnikzentrum Eisenach verschickt. Dort wurde das Meistermodell hergestellt und mit dem Laborscanner 3Shape d700 eingescannt. Auf Basis des direkten Scans und des Laborscans wurden Off-Set-Käppchen (Messkäppchen) aus Copran Zr (White Peaks Dental Systems, Essen) hergestellt. Diese Off-Set-Käppchen dienten später als Messkäppchen und wurden mithilfe der Replika-Technik und mit  $\mu\text{m}$ -Messsonden am Patienten vermessen. Untersucht wurde jeweils die marginale Diskrepanz. Die statistische Auswertung zeigte, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Scanverfahren gab. Sowohl der intraorale Scanner cara TRIOS mit einer marginalen Diskrepanz von  $111\mu\text{m}$  (Medianwert) als auch der Laborscanner 3Shape d700 mit einer marginalen Diskrepanz von  $112,5\mu\text{m}$  (Medianwert) lagen in dem geforderten Bereich von  $100\text{-}120\mu\text{m}$  und kleiner<sup>40</sup>. Die Ergebnisse zeigen, dass beide Systeme im zahnärztlichen Alltag eingesetzt werden können.

## 8 Summary

This study's aim was to compare the accuracy of zirconia copings. The latter were produced on the basis of an intra-oral- and an indirect laboratory scanner. A conventional impression of 51 teeth of 25 patients was taken and scanned. The intra-oral scanner cara TRIOS was used for the patient scan. For the impression, a two-step putty-wash impression of the material Exa'lence was made. The data generated by the intra-oral scanner was sent to a competence team via internet. The casting was sent to the dental technology centre Eisenach. In Eisenach, a master model was built and scanned with the laboratory scanner 3Shape d700. On the basis of the digital data of both scanners, off-set-copings made of Copran Zr (White Peaks Dental Systems, Essen) were produced. The marginal gap between these off-set-copings was measured and configured on the patient with a set of measuring sensors and with the replica-technique. A statistical analysis shows that there is no significant difference between both scanning methods. Both the intra-oral scanner cara TRIOS with a marginal discrepancy of 111µm (median) and the laboratory scanner 3Shape d700 with a marginal discrepancy of 112.5µm (median) lie within the required range of 100-120µm and smaller<sup>40</sup>. The results prove that both scanning systems can be used in the course of dental daily routines.



## 9 Literaturverzeichnis

1. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent*; 94: 10-92; 2005.
2. 3M Espe; Active Wavefront Sampling [aktualisiert am 10.06.2014]. Link: <http://www.digital-dentistry.de/digitale-abformung/3m-espe-lava-cos/technik.html>.
3. 3M Espe; Lava TM Chairside Oral Scanner C.O.S. Technical Data Sheet [aktualisiert am 21.07.2014]. Link: <http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=66666UuZjcFSLXTtnXMVMXfXEVuQEcuZgVs6EVs6E666666-->.
4. 3Shape. Taking Digital Impressions. *cara TRIOS Benutzerhandbuch*: 2013.
5. Almeida E. Silva J. S., Erdelt K., Edelhoff D., Araujo E., Stimmelmayer M., Vieira L. C., Guth J. F. Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. *Clin Oral Investig*: 18: 512-523; 2013.
6. Andersson M., Razzoog M. E., Oden A., Hegenbarth E. A., Lang B. R. Procera: a new way to achieve an all-ceramic crown. *Quintessence Int*; 29: 285-296; 1998.
7. Anusavice Phillips. Phillip's science of dental materials. *Elsevier*; 11th ed. St. Louis 205-255; 2003.
8. Att W., Komine F., Gerds T., Strub J. R. Marginal adaptation of three different zirconium dioxide three-unit fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent*; 101: 239-247; 2009.
9. Bader J. D., Rozier R. G., McFall W. T., Jr., Ramsey D. L. Effect of crown margins on periodontal conditions in regularly attending patients. *J Prosthet Dent*; 65: 75-79; 1991.
10. Belser U. C., MacEntee M. I., Richter W. A. Fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo: a scanning electron microscope study. *J Prosthet Dent*; 53: 24-29; 1985.
11. Beschmidt S. M., Strub J. R. Evaluation of the marginal accuracy of different all-ceramic crown systems after simulation in the artificial mouth. *J Oral Rehabil*; 26: 582-593; 1999.
12. Beuer F., Schweiger J., Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*; 204: 505-511; 2008.
13. Beuer Güth, Schweiger, Edelhoff. Die digitale Abformung - Ein Update. *Quintessenz*: 2010.
14. Beuer Schweiger, Güth, Edelhoff. Nach der IDS ist vor der IDS: Was kommt in der intraoralen Datenerfassung als Nächstes? *Quintessenz*: 2012.
15. Birnbaum N. S., Aaronson H. B. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent*; 29: 494, 496, 498-505; 2008.
16. Boening K. W., Wolf B. H., Schmidt A. E., Kastner K., Walter M. H. Clinical fit of Procera AllCeram crowns. *J Prosthet Dent*; 84: 419-424; 2000.

17. Boldt F., Weinzierl C., Hertrich K., Hirschfelder U. Comparison of the spatial landmark scatter of various 3D digitalization methods. *J Orofac Orthop*; 70: 247-263; 2009.
18. Brawek P. K., Wolfart S., Endres L., Kirsten A., Reich S. The clinical accuracy of single crowns exclusively fabricated by digital workflow-the comparison of two systems. *Clin Oral Investig*; 17: 2119-2125; 2013.
19. Choy Y. N., Aldermann, j. Parkinson, M.P. Walker. Moisture Effect on Elastomeric Impression Dimensional Accuracy and Detail Reproduction *J Dent Res* 89 (Spec Iss A): abstract 243; 2010.
20. Copyright © 3Shape A/S; Über D700 [aktualisiert am 10.06.2014]. Link: <http://www.3shapedental.com/restoration/dental-lab/lab-scanners/d700/?lang=de>.
21. Csillag M., Nyiri G., Vag J., Fazekas A. Dose-related effects of epinephrine on human gingival blood flow and crevicular fluid production used as a soaking solution for chemo-mechanical tissue retraction. *J Prosthet Dent*; 97: 6-11; 2007.
22. Drennon D. G., Johnson G. H. The effect of immersion disinfection of elastomeric impressions on the surface detail reproduction of improved gypsum casts. *J Prosthet Dent*; 63: 233-241; 1990.
23. Duret F., Blouin J. L., Duret B. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc*; 117: 715-720; 1988.
24. Ender A., Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent*; 14: 11-21; 2011.
25. Ender A., Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent*; 16: 11-21; 2013.
26. Fasbinder D. J. Digital dentistry: innovation for restorative treatment. *Compend Contin Educ Dent*; 31 Spec No 4: 2-11; quiz 12; 2010.
27. Fejér S. Das Röntgenbild als Kontrollmöglichkeit des approximale cervikalen Randschlusses bei Gussfüllungen an Prämolaren und Molaren. *Dtsch Zahnärztl Z*; 11: 1086-1091; 1956.
28. Fenske C. The influence of five impression techniques on the dimensional accuracy of master models. *Braz Dent J*; 11: 19-27; 2000.
29. Fleming P. S., Marinho V., Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*; 14: 1-16; 2011.
30. Flugge T. V., Schlager S., Nelson K., Nahles S., Metzger M. C. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 144: 471-478; 2013.
31. Fransson B., Oilo G., Gjeitanger R. The fit of metal-ceramic crowns, a clinical study. *Dent Mater*; 1: 197-199; 1985.
32. Galhano G. A., Pellizzer E. P., Mazarro J. V. Optical impression systems for CAD-CAM restorations. *J Craniofac Surg*; 23: e575-579; 2012.
33. Geiselhöringer Holst. CAD/CAM goes on Neue Scanverfahren und Anwendungsbereiche eröffnen Chancen. *Digital Dental News*; 3: 56-59; 2009.

34. Geurtsen W. Der Kronen- und Füllungsrand. *Dtsch Zahnärztl Z*; 45: 380-386; 1990.
35. Good M. L., Mitchell C. A., Pintado M. R., Douglas W. H. Quantification of all-ceramic crown margin surface profile from try-in to 1-week post-cementation. *J Dent*; 37: 65-75; 2009.
36. Groten M., Axmann D., Probster L., Weber H. Determination of the minimum number of marginal gap measurements required for practical in-vitro testing. *J Prosthet Dent*; 83: 40-49; 2000.
37. Güth. computer aided impressioning- the future of impression taking. *Digital Dental News*: 26-38; 2010.
38. Güth J. F., Keul C., Stimmelmayer M., Beuer F., Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig*; 17: 1201-1208; 2013.
39. Holmes J. R., Bayne S. C., Holland G. A., Sulik W. D. Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent*; 62: 405-408; 1989.
40. Holmes J. R., Sulik W. D., Holland G. A., Bayne S. C. Marginal fit of castable ceramic crowns. *J Prosthet Dent*; 67: 594-599; 1992.
41. Jeon J. H., Lee K. T., Kim H. Y., Kim J. H., Kim W. C. White light scanner-based repeatability of 3-dimensional digitizing of silicon rubber abutment teeth impressions. *J Adv Prosthodont*; 5: 452-456; 2013.
42. Jokstad A. Clinical trial of gingival retraction cords. *J Prosthet Dent*; 81: 258-261; 1999.
43. Karlsson S. The fit of Procera titanium crowns. An in vitro and clinical study. *Acta Odontol Scand*; 51: 129-134; 1993.
44. Keul C., Stawarczyk B., Erdelt K. J., Beuer F., Edelhoff D., Guth J. F. Fit of 4-unit FDPs made of zirconia and CoCr-alloy after chairside and labside digitalization--a laboratory study. *Dent Mater*; 30: 400-407; 2014.
45. Kosyfaki P., del Pilar Pinilla Martin M., Strub J. R. Relationship between crowns and the periodontium: a literature update. *Quintessence Int*; 41: 109-126; 2009.
46. Kühmstedt P.; Hintersehr J. Optische 3D-Messtechnik im Dentalbereich. *Digital Dental News*; September: 40-45; 2008.
47. Kunii J., Hotta Y., Tamaki Y., Ozawa A., Kobayashi Y., Fujishima A., Miyazaki T., Fujiwara T. Effect of sintering on the marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia frameworks. *Dent Mater J*; 26: 820-826; 2007.
48. Laurent M., Scheer P., Dejou J., Laborde G. Clinical evaluation of the marginal fit of cast crowns--validation of the silicone replica method. *J Oral Rehabil*; 35: 116-122; 2008.
49. Lee W. S., Kim W. C., Kim H. Y., Kim W. T., Kim J. H. Evaluation of different approaches for using a laser scanner in digitization of dental impressions. *J Adv Prosthodont*; 6: 22-29; 2014.
50. Logozzo Silvia. Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*; 54: 203-221; 2014.

51. Luthardt R. G., Bornemann G., Lemelson S., Walter M. H., Huls A. An innovative method for evaluation of the 3-D internal fit of CAD/CAM crowns fabricated after direct optical versus indirect laser scan digitizing. *Int J Prosthodont*; 17: 680-685; 2004.
52. Marxkors R. Kronen. In: Marxkors R (Hrsg.). Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. 5. Köln: *Deutscher Zahnärzte Verlag* 2010; Kapitel 1:01-71.
53. McLean J. W., von Fraunhofer J. A. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*; 131: 107-111; 1971.
54. Mehl A., Ender A., Mormann W., Attin T. Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *Int J Comput Dent*; 12: 11-28; 2009.
55. Moldovan O., Rudolph H., Luthardt R. G. Interne 3D-Passgenauigkeit CAD/CAM-gefertigter Zirkondioxidgerüste für den Seitenzahnbereich. *Dtsch Zahnärztl Z*; 61: 410-416; 2006.
56. Mörmann Brandestini; Verfahren zur Herstellung medizinischer und zahntechnischer alloplastischer, endo- und exoprothetischer Passkörper [aktualisiert am 10.06.2014]. Link: <http://www.google.com/patents/EP0054785B1?cl=de>.
57. Nassar U., Meyer A. E., Ogle R. E., Baier R. E. The effect of restorative and prosthetic materials on dental plaque. *Periodontol* 2000; 8: 114-124; 1995.
58. Nawafleh N. A., Mack F., Evans J., Mackay J., Hatamleh M. M. Accuracy and reliability of methods to measure marginal adaptation of crowns and FDPs: a literature review. *J Prosthodont*; 22: 419-428; 2013.
59. Noack T., Balkenhol M., Ferger P., B Wöstmann. Klinische erreichbare Abformgenauigkeit von A-Silikonem. *Dtsch Zahnärztl Z*: 2004.
60. Okutan M., Heydecke G., Butz F., Strub J. R. Fracture load and marginal fit of shrinkage-free ZrSiO<sub>4</sub> all-ceramic crowns after chewing simulation. *J Oral Rehabil*; 33: 827-832; 2006.
61. Orkin D. A., Reddy J., Bradshaw D. The relationship of the position of crown margins to gingival health. *J Prosthet Dent*; 57: 421-424; 1987.
62. Owen. State of the Industry 2000. *Lab Management Today*; 16: 9-15; 2000.
63. Palomo F., Peden J. Periodontal considerations of restorative procedures. *J Prosthet Dent*; 36: 387-394; 1976.
64. Persson A., Andersson M., Oden A., Sandborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent*; 95: 194-200; 2006.
65. Persson A. S., Oden A., Andersson M., Sandborgh-Englund G. Digitization of simulated clinical dental impressions: virtual three-dimensional analysis of exactness. *Dent Mater*; 25: 929-936; 2009.
66. Persson M., Andersson M., Bergman B. The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM of crowns. *J Prosthet Dent*; 74: 223-229; 1995.
67. Pilo R., Cardash H. S. In vivo retrospective study of cement thickness under crowns. *J Prosthet Dent*; 79: 621-625; 1998.
68. Quaas S. Kommunikation ist alles - Schnittstellen der CAD/CAM-Systeme. *Digital Dental News*: 20-23; 2007.

69. Rahme H. Y., Tehini G. E., Adib S. M., Ardo A. S., Rifai K. T. In vitro evaluation of the "replica technique" in the measurement of the fit of Procera crowns. *J Contemp Dent Pract*; 9: 25-32; 2008.
70. Ramfjord S. P. Periodontal aspects of restorative dentistry. *J Oral Rehabil*; 1: 107-126; 1974.
71. Redaktion; Europäische Norm zur Beurteilung der Genauigkeit von Dentalscannern [aktualisiert am 10.06.2014]. Link: <http://www.ddn-online.net/artikel/item.php?itemid=1110>.
72. Reeves W. G. Restorative margin placement and periodontal health. *J Prosthet Dent*; 66: 733-736; 1991.
73. Rehberg H. J. [Exact marginal closure--what's that?]. *Dtsch Zahnärztl Z*; 26: 696-699; 1971.
74. Rehmann P., Schierz S., Gohlke HL., Winkler G., Wöstmann B. Präzisionsabformung. *DFZ*; 54: 67-79; 2010.
75. Reich S., Wichmann M., Nkenke E., Proeschel P. Clinical fit of all-ceramic three-unit fixed partial dentures, generated with three different CAD/CAM systems. *Eur J Oral Sci*; 113: 174-179; 2005.
76. Renne W., McGill S. T., Forshee K. V., DeFee M. R., Mennito A. S. Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors. *J Prosthet Dent*; 108: 310-315; 2012.
77. Richter W. A., Ueno H. Relationship of crown margin placement to gingival inflammation. *J Prosthet Dent*; 30: 156-161; 1973.
78. Rohaly J., Hart D.P., Brukilacchio T.J., (Erfinder); Three-channel camera systems with non-collinear apertures. US 2006.
79. Samet N., Shohat M., Livny A., Weiss E. I. A clinical evaluation of fixed partial denture impressions. *J Prosthet Dent*; 94: 112-117; 2005.
80. Schaefer O. Experimentelle Untersuchung zum Benetzungsverhalten, Fließverhalten und zur Dimensionsstabilität elastomerer Abformmaterialien. *Med Diss, Jena*: 2011.
81. Schaefer O., Decker M., Wittstock F., Kuepper H., Guentsch A. Impact of digital impression techniques on the adaption of ceramic partial crowns in vitro. *J Dent*: 2014 [Epub ahead of print]
82. 40-49 Schubinski; Die digitale Abformung - Computer Aided Impressioning (CAI) [aktualisiert am 10.06.2014]. Link: <http://ag-dentale-technologie.de/>.
83. Scotti R., Cardelli P., Baldissara P., Monaco C. Clinical fitting of CAD/CAM zirconia single crowns generated from digital intraoral impressions based on active wavefront sampling. *J Dent*: 2011 [Epub ahead of print]
84. Seelbach P., Brueckel C., Wostmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig*; 17: 1759-1764; 2013.
85. Shearer B., Gough M. B., Setchell D. J. Influence of marginal configuration and porcelain addition on the fit of In-Ceram crowns. *Biomaterials*; 17: 1891-1895; 1996.

86. Siemer A., Balkenhol M., Ferger P., Wöstmann B. Abformgenauigkeit von Doppelmischabformungen vs. Korrekturabformungen - eine 3D-Scan In-vitro-Studie. *Dtsch Zahnärztl Z*; 10: 585-589; 2004.
87. Svanborg P., Skjerven H., Carlsson P., Eliasson A., Karlsson S., Ortorp A. Marginal and internal fit of cobalt-chromium fixed dental prostheses generated from digital and conventional impressions. *Int J Dent*; 2014: 534382; 2014 [Epub ahead of print]
88. Syrek A., Reich G., Ranftl D., Klein C., Cerny B., Brodesser J. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J Dent*; 38: 553-559; 2010.
89. Tidehag P., Ottosson K., Sjogren G. Accuracy of Ceramic Restorations Made Using an In-office Optical Scanning Technique: An In Vitro Study. *Oper Dent*; 39: 308-316; 2013.
90. Valderhaug J. Periodontal conditions and carious lesions following the insertion of fixed prostheses: a 10-year follow-up study. *Int Dent J*; 30: 296-304; 1980.
91. Valderhaug J., Birkeland J. M. Periodontal conditions in patients 5 years following insertion of fixed prostheses. Pocket depth and loss of attachment. *J Oral Rehabil*; 3: 237-243; 1976.
92. Vlaar S. T., van der Zel J. M. Accuracy of dental digitizers. *Int Dent J*; 56: 301-309; 2006.
93. Wald A.; Weichgewebsmanagement bei der Abformung präparierter Zähne - Teil 1 [aktualisiert am 10.06.2014]. Link: <http://www.zmk-aktuell.de/dynamic/zahnheilkunde/zahnerhaltung/story/weichgewebsmanagement-bei-der-abformung-praeparierter-zaehne-teil-1.html>.
94. Wald A.; Weichgewebsmanagement bei der Abformung präparierter Zähne - Teil 2 [aktualisiert am 10.06.2014]. Link: <http://www.zmk-aktuell.de/zahnheilkunde/zahnerhaltung/story/weichgewebsmanagement-bei-der-abformung-praeparierter-zaehne-teil-2.html>.
95. White S. N., Yu Z., Tom J. F., Sangsurasak S. In vivo marginal adaptation of cast crowns luted with different cements. *J Prosthet Dent*; 74: 25-32; 1995.
96. Wolfart S., Wegner S. M., Al-Halabi A., Kern M. Clinical evaluation of marginal fit of a new experimental all-ceramic system before and after cementation. *Int J Prosthodont*; 16: 587-592; 2003.
97. Wöstmann. Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung der Randschlußgenauigkeit von Kronen in vivo. *Dtsch Zahnärztl Z*: 1997.
98. Wöstmann B. Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde. *Habilitationsschrift, Quintessenzverlag Berlin*: 1998.
99. Wöstmann B. Die Abformung präparierter Zahnhartsubstanz. *Zahnärztl Mitt*; 10: 40-49; 1999.
100. Wöstmann B., Blosser T., Gouentenoudis M., Balkenhol M., Ferger P. Influence of margin design on the fit of high-precious alloy restorations in patients. *J Dent*; 33: 611-618; 2005.
101. Wöstmann B., Rehmann P., Balkenhol M. Influence of different retraction techniques on crevicular fluid flow. *Int J Prosthodont*; 21: 215-216; 2008.

102. Wöstmann B., Seelbach P. Abformung: konventionell oder digital? *Quintessenz*; 63 (12): 1567-1575; 2012.
103. Wöstmann B., Symeonidis A., Ferger P. Abformgenauigkeit und Lagerstabilität moderner C-Silikone. *Dtsch Zahnärztl Z*; 10: 634-636; 1999.
104. Wöstmann M. Zenginel, P. Rehmann, M. Balkenhol. Wetting Behaviour of Polyvinylsiloxane-Polyethers in a Semiclinical Model *J Dent Res*; 89 (Spec Iss B): abstract 477; 2010.

## 10 Anhang

### 10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Arbeitsablauf direkter intraoraler Scan vs. indirekter Laborscan.....	10
Abb. 2: Prinzip der optischen Triangulation .....	12
Abb. 3: Konfokales Prinzip: emittiertes Licht.....	14
Abb. 4: Konfokales Prinzip: reflektiertes Licht.....	14
Abb. 5: Prinzip des „active wavefront sampling“ .....	15
Abb. 6: Modell- und Abdruckscanner 3Shape d700 [ <a href="http://cara-kulzer.de/de/scanner/3shape_d700_710/3shape_d700_710_modell_und_abdruckscanner.html">http://cara-kulzer.de/de/scanner/3shape_d700_710/3shape_d700_710_modell_und_abdruckscanner.html</a> ] .....	16
Abb. 7: Sirona CEREC AC Omnicam.....	20
Abb. 8: 3M True Definition Scanner.....	21
Abb. 9: Heraeus cara TRIOS Scanner .....	23
Abb. 10: Heraeus cara TRIOS Handstück.....	23
Abb. 11: Holmes et al. [39] „Casting misfit terminology“.....	24
Abb. 12: OptraGate .....	28
Abb. 13: Dry Tips.....	28
Abb. 14: Fadenlegerset.....	29
Abb. 15: Orbat .....	29
Abb. 16: Abformmaterial EXA'lence .....	31
Abb. 17: Fertige Korrekturabformung: Oberkiefer .....	31
Abb. 18: Messkäppchen vom Zahn 21 auf dem Gipsmodell .....	33
Abb. 19: Messsondensatz (AESCULAP, Tuttlingen) .....	33
Abb. 20: Fit Test® C & B (VOCO) .....	34
Abb. 21: Express™ 2 Ultra-Light Body Quick (3M).....	34



Abb. 22: Replika von oben .....	35
Abb. 23: Replika von der Seite.....	35
Abb. 24: Zurechtgeschnittenes Replika in der Putty Masse.....	36
Abb. 25: Makroskop Leica M420 .....	36
Abb. 26: Replika unter dem Makroskop .....	36
Abb. 27: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Replika-Methode).....	40
Abb. 28: Messstellen im Vergleich beider Scanverfahren (Replika-Methode).....	41
Abb. 29: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode).....	42
Abb. 30: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode).....	42
Abb. 31: Kiefer im Vergleich innerhalb eines Systems (Replika-Methode).....	43
Abb. 32: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Replika-Methode) .....	44
Abb. 33: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Ordinale Präzision).....	45
Abb. 34: Messstellen im Vergleich beider Scanverfahren (Ordinale Präzision).....	46
Abb. 35: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision).....	47
Abb. 36: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision).....	47
Abb. 37: Kiefer im Vergleich innerhalb eines Systems (Ordinale Präzision).....	48
Abb. 38: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Ordinale Präzision) .....	49

## 10.2 Ergebnistabellen

Tab. 2: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Replika-Methode)

	<b>cara TRIOS (N = 49)</b> [µm]	<b>3Shape d700 (N = 50)</b> [µm]
Medianwert	111	112,5
Quantil 1	90,25	82
Quantil 3	145,5	156,25
Minimum	39	59
Maximum	578	274
Mittelwert	149,1	128,35
Standardabweichung ±	109,42	58,15
Signifikanz	p = 0,397	

Tab. 3: Messstellenvergleich cara TRIOS (Replika-Methode)

<b>cara TRIOS (N = 48)</b>	Mesial [µm]	Distal [µm]	Vestibulär [µm]	Oral [µm]
Medianwert	116,5	112	110	111
Quantil 1	65	66,25	76	70,75
Quantil 3	199	202	226,5	200,5
Minimum	21	40	27	14
Maximum	1133	604	708	1143

Tab. 4: Messstellenvergleich 3Shape d700 (Replika-Methode)

<b>3Shape d700 (N = 48)</b>	Mesial [ $\mu\text{m}$ ]	Distal [ $\mu\text{m}$ ]	Vestibulär [ $\mu\text{m}$ ]	Oral [ $\mu\text{m}$ ]
Medianwert	113	111,5	113	115,5
Quantil 1	63	76,5	77,75	66,5
Quantil 3	179	187,25	201	167,75
Minimum	22	36	31	18
Maximum	887	518	1130	680

Tab. 5: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode)

<b>Oberkiefer (N = 28)</b>	cara TRIOS [ $\mu\text{m}$ ]	3Shape d700 [ $\mu\text{m}$ ]
Medianwert	110,75	119
Quantil 1	75,88	86
Quantil 3	140,63	156,75
Minimum	55	59
Maximum	325,5	274
Mittelwert	136,41	133,21
Standardabweichung $\pm$	81,68	58,59
Signifikanz	p = 0,909	

Tab. 6: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode)

<b>Unterkiefer (N = 20)</b>	cara TRIOS [ $\mu\text{m}$ ]	3Shape d700 [ $\mu\text{m}$ ]
Medianwert	112,25	109
Quantil 1	97	77,88
Quantil 3	241,5	142,63
Minimum	39	60
Maximum	578	263,5

Mittewert	169,6	117,97
Standardabweichung ±	141,17	52,39
Signifikanz	p = 0,089	

Tab. 7: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Replika-Methode)

	Oberkiefer [µm]	Unterkiefer [µm]
Medianwert	112	109,5
Quantil 1	86,25	79,63
Quantil 3	156,5	147
Minimum	55	39
Maximum	325,5	578
Mittelwert	136,87	141
Standardabweichung ±	71,52	106,4
Signifikanz	p = 0,980	

Tab. 8: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Ordinale Präzision)

	cara TRIOS (N = 51)	3Shape d700 (N = 51)
Medianwert	3	2
Quantil 1	2	1
Quantil 3	4	3
Minimum	1	1
Maximum	13	13
Signifikanz	p = 0,021	

Tab. 9: Messstellenvergleich cara TRIOS (Ordinale Präzision)

<b>cara TRIOS (N = 51)</b>	mesiovestibulär	vestibulär	disto-vestibulär	mesiooral	oral	distooral
Medianwert	3	3	3	3	3	3
Quantil 1	3	2	1	1	1	1
Quantil 3	5	5	5	5	4	5
Minimum	1	1	1	1	1	1
Maximum	13	13	13	13	13	13

Tab. 10: Messstellenvergleich 3Shape d700 (Ordinale Präzision)

<b>3Shape d700 (N = 51)</b>	mesiovestibulär	vestibulär	disto-vestibulär	mesiooral	oral	distooral
Medianwert	2	3	1	1	1	2
Quantil 1	1	1	1	1	1	1
Quantil 3	3	5	3	3	3	4
Minimum	1	1	1	1	1	1
Maximum	13	13	13	13	13	13

Tab. 11: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision)

<b>Oberkiefer (N = 29)</b>	<b>cara TRIOS</b>	<b>3Shape d700</b>
Medianwert	2	1,5
Quantil 1	1	1
Quantil 3	4	3
Minimum	1	1
Maximum	13	4
Signifikanz	p = 0,085	

Tab. 12: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision)

<b>Unterkiefer (N = 22)</b>	<b>cara TRIOS</b>	<b>3Shape d700</b>
Medianwert	3	2
Quantil 1	2,88	1
Quantil 3	5	3
Minimum	1	1
Maximum	13	13
Signifikanz	p = 0,110	

Tab. 13: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Ordinale Präzision)

	<b>Oberkiefer (N = 58)</b>	<b>Unterkiefer (N = 44)</b>
Medianwert	2	3
Quantil 1	1	2
Quantil 3	3	4,75
Minimum	1	1
Maximum	13	13
Signifikanz	p = 0,046	

### 10.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ordinale Präzision: * = Präparationsgrenze über- oder unterkonturiert; x = Messkäppchen hat nicht gepasst.....	38
Tab. 2: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Replika-Methode).....	75
Tab. 3: Messstellenvergleich cara TRIOS (Replika-Methode) .....	75
Tab. 4: Messstellenvergleich 3Shape d700 (Replika-Methode).....	76
Tab. 5: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode) .....	76
Tab. 6: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Replika-Methode).....	76
Tab. 7: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Replika-Methode) 77	
Tab. 8: Vergleich der Scanner cara TRIOS und 3Shape d700 insgesamt (Ordinale Präzision).....	77
Tab. 9: Messstellenvergleich cara TRIOS (Ordinale Präzision) .....	78
Tab. 10: Messstellenvergleich 3Shape d700 (Ordinale Präzision).....	78
Tab. 11: Oberkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision).....	79
Tab. 12: Unterkieferwerte im Vergleich: cara TRIOS vs. 3Shape d700 (Ordinale Präzision).....	79
Tab. 13: Kiefer im Vergleich beide Scansysteme zusammengefasst (Ordinale Präzision) .....	79

## 11 Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus- Liebig- Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert.

Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift



## 12 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Bernd Wöstmann, meinem Doktorvater, möchte ich ganz herzlich danken für die Überlassung des Themas und die stets sehr gute Betreuung dieser Arbeit.

Ich danke meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir diese Zeit der Promotion ermöglicht haben und für ihre liebevolle Unterstützung und Begleitung meines bisherigen Lebens- und Ausbildungsweges.

Ich danke Herrn Dr. Peter Rehmann für seine freundliche Unterstützung bei allen offenen Fragen.

Herrn Dr. Johannes Herrmann möchte ich für die exzellente statistische Betreuung im Rahmen dieser Arbeit Danke sagen.

Ein besonderes Dankeschön möchte ich an Herrn Ulrich Heun (MTA) richten. Bei allen labortechnischen Problemen und bei der Einweisung des Makroskops stand er mir hilfreich zur Seite.

Herrn Dipl. Ing. Michael Köhl gilt mein Dank für die Hilfe bei der Einrichtung des intraoralen Scanners sowie bei allen IT-Fragen.

Herrn Heinrich Bethke danke ich für die Unterstützung bei der Anfertigung und Bearbeitung der in dieser Arbeit enthaltenen Fotos.

Zudem danke ich meinem Patenonkel Bernd Jobst Breloer sowie Lisa und Jürgen, die mich bei der Korrektur dieser Arbeit unterstützten.

Ein weiterer Dank gilt meinem Freund, der während des Studiums und der Promotionszeit stets an meiner Seite war.

## 13 Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus der Arbeit entfernt.