

Aus der Abteilung Prothetik  
(Komm. Direktor: Dr. med. dent. N. Gersdorff)  
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

---

**Evaluation der marginalen Passgenauigkeit verschiedener CAD-Scansysteme  
in Abhängigkeit vom okklusalen Öffnungswinkel der Präparation**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades  
für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät  
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Daniel Fornefett  
aus Göttingen

Göttingen 2010

**Dekan:** Prof. Dr. med. C. Frömmel

**I. Berichterstatter:** Prof. Dr. med. N. Miosge

**II. Berichterstatter/in:**

**III. Berichterstatter/in:**

**Tag der mündlichen Prüfung:**

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung und Fragestellung</b>                           | <b>7</b>  |
| <hr/>    |   |           |
| <b>2</b> | <b>Literaturübersicht</b>                                     | <b>10</b> |
| <hr/>    |   |           |
| 2.1      | Geschichtliche Entwicklung vollkeramischer Zahnrestaurationen | 10        |
| 2.2      | Aktuelle vollkeramische Systeme                               | 14        |
| 2.2.1    | Übersicht   | 14        |
| 2.2.2    | Einteilung nach werkstoffkundlicher Zusammensetzung           | 14        |
| 2.2.3    | Einteilung nach Herstellungsverfahren                         | 16        |
| 2.2.4    | Einteilung nach Befestigungsverfahren                         | 19        |
| 2.3      | Zirkoniumdioxid   | 20        |
| 2.3.1    | Rohstoff und Gewinnung  | 20        |
| 2.3.2    | Werkstoffkunde  | 21        |
| 2.3.3    | Bearbeitung   | 23        |
| 2.3.3.1  | Grünkörperbearbeitung   | 23        |
| 2.3.3.2  | Weißlingsbearbeitung  | 24        |
| 2.3.3.3  | Bearbeitung im gehippten Zustand                              | 24        |
| 2.4      | Dentale CAD/CAM-Systeme                                       | 25        |
| 2.4.1    | Funktionsprinzip  | 25        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.4.2    | Intra- und extraorale Digitalisierung                | 26        |
| 2.4.3    | Taktile und optische Digitalisierung                 | 27        |
| 2.4.4    | Fräsprozess  | 27        |
| 2.4.5    | Aktuelle vollkeramische CAD/CAM-Systeme              | 28        |
| 2.4.5.1  | Cerec®   | 28        |
| 2.4.5.2  | Everest®   | 30        |
| 2.4.5.3  | etkon™   | 32        |
| 2.4.5.4  | Lava™  | 33        |
| 2.4.5.5  | Cercon® smart Ceramics                               | 35        |
| 2.5      | Klinische Relevanz des marginalen Randspalts         | 40        |
| 2.6      | Präparation  | 41        |
| 2.6.1    | Tangentialpräparation                                | 42        |
| 2.6.2    | Hohlkehlpäparation                                   | 42        |
| 2.6.3    | Stufenpräparation                                    | 43        |
| 2.6.4    | Stufenpräparation mit Ansträgung                     | 43        |
| 2.6.5    | Präparationstechniken für vollkeramischen Zahnersatz | 44        |
| <b>3</b> | <b>Material und Methoden</b>                         | <b>45</b> |

---

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Herstellung der Masterstümpfe            | 45 |
| 3.2 | Herstellung der Meistermodelle (Replika) | 47 |
| 3.3 | Herstellung der Kronengerüste            | 49 |

|          |                                   |           |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 3.3.1    | Scanprozess Cercon® eye Scanner   | 49        |
| 3.3.2    | Scanprozess 3shape D-700™ Scanner | 49        |
| 3.3.3    | Pilotstudie                       | 50        |
| 3.3.4    | Fräs- und Sinterprozess           | 51        |
| 3.3.5    | Einteilung der Messserien         | 51        |
| 3.4      | Messungen                         | 52        |
| <b>4</b> | <b>Ergebnisse</b>                 | <b>55</b> |
| 4.1      | Messserie 1                       | 55        |
| 4.2      | Messserie 2                       | 57        |
| 4.3      | Messserie 3                       | 59        |
| 4.4      | Messserie 4                       | 61        |
| 4.5      | Messserie 5                       | 63        |
| 4.6      | Messserie 6                       | 65        |
| 4.7      | Messserie 7                       | 67        |
| 4.8      | Messserie 8                       | 69        |
| 4.9      | Messserie 9                       | 71        |
| <b>5</b> | <b>Diskussion</b>                 | <b>73</b> |
| 5.1      | Schlussfolgerungen für die Praxis | 80        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung</b>                                | <b>81</b> |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis</b>                           | <b>82</b> |
| <b>8</b> | <b>Anhang</b>   | <b>91</b> |
| 8.1      | Publikationen im Zusammenhang mit dieser Dissertation | 91        |

# 1 Einleitung und Fragestellung

Stetig steigende Ansprüche an modernen Zahnersatz bezüglich Ästhetik, Funktionalität und Biokompatibilität seitens der Patienten, aber auch seitens der Behandler, haben zu einer immer häufigeren Anwendung vollkeramischer Materialien geführt. Eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Herstellungstechniken für vollkeramische Restaurationen und eine damit verbundene deutliche Erweiterung des Restaurationsspektrums, insbesondere durch die Verfügbarkeit hochfester Restauraionskeramiken, sowie die Einführung der CAD/CAM-Technologie, sind logische Folgen dieses Prozesses (Kern, 2010).

Im Vergleich zur seit Jahrzehnten bewährten Metall-Keramik kommt die vollkeramische Versorgung ohne das stützende Metallgerüst aus und erfüllt daher die geforderten Ansprüche an Ästhetik und Biokompatibilität in hervorragender Art und Weise. Dunkle Metallränder, die oft bei verblendeten Metallkronen wegen atrophierender Gingiva sichtbar werden oder marginale Entzündungen auslösen können, bleiben bei vollkeramischen Versorgungen aus. Darüber hinaus lassen sie eine ausgezeichnete Biokompatibilität und geringe Plaqueaffinität als idealen Werkstoff für dentale Restaurationen erscheinen (Uo et al., 2003; Chan und Weber, 1986).

Bedeutende negative werkstoffkundliche Eigenschaften konventioneller Glas- bzw. Feldspatkeramiken sind ihre geringe Biegefestigkeit und ihre Anfälligkeit für Zugbelastungen (Erpenstein und Kerschbaum, 1995). Bei zu hoher Belastung kommt es zum sog. Sprödbruch, einem schlagartig auftretenden Materialversagen. Die unzureichende Dauerfestigkeit marktüblicher Dentalkeramiken limitierte also über lange Zeit den klinischen Langzeiterfolg vollkeramischer Restaurationen in bestimmten Indikationsbereichen. Der Einsatz reiner Verblendkeramiken für die Herstellung vollkeramischer Versorgungen kann nur für einen sehr eingeschränkten Anwendungsbereich wie z.B. kleinere Einlagefüllungen (Inlays) oder Verblendschalen (Veneers) empfohlen werden. Zur Herstellung von vollkeramischen Kronen im Seitenzahnbereich sind keramische Systeme mit verbesserten

mechanischen Eigenschaften erforderlich, um das Risiko eines frühzeitigen Versagens zu minimieren. Eine erste Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, gegenüber der herkömmlichen Feldspat-Verblendkeramik, wurde durch leuzitverstärkte Glaskeramiken, die sich durch eine reduzierte Glas- und eine erhöhte kristalline Phase auszeichnen, erzielt. Sie werden im Heißpressverfahren und über die Lost-Wax-Technik hergestellt. Ihr Einsatzgebiet beschränkt sich auf Inlays, Veneers, Teil- und Vollkronen. Eine adhäsive Zementierung zur Stabilisierung ist hierbei zwingend erforderlich.

Eine weitere Ausweitung der Indikation für vollkeramische Systeme konnte durch Einführung der Aluminiumoxid-Keramik erzielt werden (Kappert et al., 1990). Aluminiumoxid wird schon seit mehreren Jahrzehnten zur Verstärkung von vollkeramischen Restaurationen verwendet. Die Verwendung von porösen glasinfiltrierten Gerüsten aus Aluminiumoxid oder dicht gesinterten Aluminiumoxidstrukturen führt bei Einzelkronen und kleineren Frontzahnbrücken zu einer ausreichenden Festigkeit. Durch die Verwendung vollkeramischer Restaurationen auf Aluminiumoxidbasis wurde auch eine konventionelle Zementierung möglich.

Die aktuelle Entwicklungsstufe der modernen Hochleistungskeramiken mit den höchsten Festigkeitswerten stellt das mit Yttriumoxid (Y-TZP) verstärkte Zirkoniumdioxid dar (Schweiger, 2004). Bei der Herstellung des Zirkoniumdioxidgerüsts kommt ein CAD/CAM-Verfahren zum Einsatz, bei dem das gefertigte Modell eines Kronen- oder Brückengerüsts mit einem Laser optisch abgetastet wird und anschließend computerunterstützt aus einem Rohling aus vorgesintertem Y-TZP vergrößert herausgefräst und dann dicht gesintert wird. Gängige marktrelevante Systeme sind: Cercon<sup>®</sup> smart ceramics (DeguDent, Hanau), Lava<sup>®</sup> (3M ESPE AG, Seefeld) oder auch das Everest<sup>®</sup>-System (KaVo, Biberach-Riß). Die Entwicklung der erwähnten, biegefesten Oxidkeramiken (Aluminiumoxid und Zirkoniumdioxid) macht zwar eine vollkeramische Versorgung mittels Kronen und Brücken im Seitenzahngebiet möglich, jedoch sind die optischen Vorteile limitiert. Zur Gestaltung der individuellen Zahnform und der Erlangung einer guten Ästhetik ist es erforderlich,

auf das oxidkeramische opake Gerüst eine zahnfarbene, transluzente Silikatkeramik aufzubrennen.

Ziel der vorliegenden Studie war es, die marginale Passgenauigkeit verschiedener CAD- Scansysteme und CAM- Fertigungssysteme in Abhängigkeit vom okklusalen Öffnungswinkel und der resultierenden unterschiedlichen Stumpfhöhe zu untersuchen. Mögliche Unterschiede, oder Einflüsse, der verschiedenen Digitalisierungsverfahren (3shape D-700™ Scanner gegenüber Cercon® eye Scanner, beide DeguDent, Hanau), als auch der unterschiedlichen Frästechniken (Cercon® brain expert der Firma DeguDent, Hanau gegenüber der zentralen Netzwerkfertigung via Compartis®, Hanau-Wolfgang) sollten herausgearbeitet und der mögliche Einfluss des unterschiedlichen okklusalen Öffnungswinkels der Präparation dargestellt werden. In einem zweiten Schritt wurden einige der gefertigten Gerüste vor der Messung durch einen Zahntechniker manuell aufgepasst, um die Notwendigkeit dieses Arbeitsschrittes innerhalb des Herstellungsprozesses von CAD- gefertigtem Zahnersatz zu verdeutlichen und um eine zu große Streubreite der Messergebnisse zu vermeiden und somit eine spätere Aussage präzisieren zu können.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Geschichtliche Entwicklung vollkeramischer Zahnrestorationen

Die Entwicklung der keramischen Massen zu einer der gängigen Restaurationsformen in der modernen Zahnheilkunde begann schon früh. Nachdem es Böttcher 1709 in Meißen unter Verwendung von Kaolin gelang, ein weißes Hartporzellan zu erzeugen, begann die Keramik ihren Platz in der Zahnmedizin als zahnfarbendes Restaurationsmittel einzunehmen (Breustedt, 1968; Schmitz, 1985).

Der Begriff „Keramos“ stammt aus dem Altgriechischen und war die Bezeichnung für Ton und die aus ihm durch Brennen hergestellten Erzeugnisse. Der Name des Porzellans, des wohl bekanntesten und edelsten Keramikproduktes, entstammt einer Schneckenart (*Porcellana cypraea*), welche eine dem Porzellan ähnliche, glatte und schöne Oberfläche besitzt. Die ersten Porzellangegegenstände aus China erschienen ca. 700 n. Chr. in Europa. Mit der späteren Einführung dieses Produktes in Europa im 14. Jahrhundert, strebten die Europäer danach, es selbst herzustellen (Breustedt, 1968; Schmitz, 1985).

Die ersten Versuche, den Zahnschmelz naturgetreu nachzubilden, gehen auf Fauchard, Guillemeau, Reaumur und Morin zu Beginn des 18ten Jahrhunderts zurück. Den eigentlichen Durchbruch jedoch erlangte ein Apotheker namens Duchâteau, der gemeinsam mit dem Zahnarzt De Chemant 1783 die ersten künstlichen Porzellanzzähne produzierte. In Deutschland folgten die ersten Fabrikationen künstlicher Zahne durch die Firmen DeTrey (Konstanz) 1893 und Vita (Bad Säckingen) 1922. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde Zahnersatz meist aus Knochen, Elfenbein, Tier- und Menschenknochen gefertigt (Breustedt, 1968; Reuling, 1987; Schmitz, 1985).

Die Einführung der Platinfolie in die Zahntechnik durch C. Land war die Grundlage zur Entwicklung der Vollkeramikkrone (Hofmann – Axthelm, 1985). Die sog. Mantel- oder Jacketkronen waren, bis zur Einführung der metallkeramischen Systeme, das Mittel der Wahl bei der Kronenrestauration im ästhetisch sensiblen Frontzahngebiet (Kirsten, 1929). Der Name „Jacketkrone“ rührt daher, dass die Keramik den gesamten Zahnstumpf wie ein Mantel (engl.: Jacket) umgab. Das 1896 eingeführte Verfahren wird, leicht modifiziert, noch heute zur Anfertigung von Jacketkronen verwendet. Hierbei wird bei der Fertigung der Restauration Feldspatkeramik auf einen mit Platinfolie präparierten Stumpf aufgebrannt (Freese, 1959). Ein großer Nachteil dieser Art der Kronenversorgung war ihre enorme Bruchanfälligkeit, welche das klinische Behandlungsspektrum auf den Frontzahnbereich reduzierte. Erschwerend kam hinzu, dass bedingt durch die geringe Festigkeit des Materials für die Zahnstumpfpräparation eine zirkuläre Stufe von einer Mindestbreite von ca. 1,2-1,5 mm benötigt wurde, was einen deutlichen Zahnhartsubstanzverlust, mit potentieller Schädigung der Pulpa, bedeutete.

Durch den eher begrenzten Anwendungsbereich und die genannten Nachteile wurde die Mantelkrone schließlich durch die metallkeramische Krone verdrängt. Weinstein meldete in den USA als erster ein Patent für eine Aufbrennkeramik an, was den Durchbruch der Metallkeramik darstellte. Durch eine Erhöhung des Kaliumoxidgehaltes wies der Wärmeausdehnungskoeffizient dieser Keramik eine geringere Differenz zum Metall auf. Dies bewirkte, dass die Keramik beim Erkalten nicht mehr vom Metall absprang. In Europa waren es die Firmen Vita (Bad Säckingen) und Degussa (Düsseldorf), welche als erste 1962 ein Metall-Keramisches System entwickelten und auf dem Markt anboten.

Der Begriff der sog. VMK<sup>®</sup>-Technik (Vita-Metall-Keramik) war somit geboren und wird bis heute weltweit eingesetzt. Es handelt sich hierbei um dentalkeramische Massen der Firma Vita (Bad Säckingen), die auf eine Edelmetalllegierung der Firma Degussa (Düsseldorf) aufgebrannt wird (Krumbholz, 1996; Strub, 1992). Die metallkeramischen Restaurationen haben, bedingt durch standardisierte zahntechnische Abläufe, ein Niveau erreicht, welches schwer zu übertreffen ist. Ihr

Anwendungsgebiet ist mannigfaltig und reicht von der Einzelkrone über die Brückenversorgung bis hin zum kombiniert festsitzend-herausnehmbaren Zahnersatz. Eine mehrfach nachgewiesene und hohe klinische Erfolgswahrscheinlichkeit (Kerschbaum, 1998), sowie ein ästhetisch zunächst befriedigendes Ergebnis, machten die Metallkeramik zum bis heute am häufigsten eingegliederten Zahnersatz weltweit.

Andererseits ergeben sich auch bei der metallkeramischen Restauration einige Nachteile. Durch falsche Legierungsauswahl, unnötige Legierungsvielfalt, schlechte Güte einzelner Legierungen, Verarbeitungsmängel und schlechte Mundhygiene kann es vereinzelt zum Auftreten von Korrosionserscheinungen und Unverträglichkeitsreaktionen kommen (Kappert et al., 1994). Das Metallgerüst bildet zudem bei metallkeramischen Restaurationen eine oxidierte, dunkelgraue und völlig lichtundurchlässige Grundlage (Kappert et al., 1990). Bedingt durch diese Lichtundurchlässigkeit des metallischen Gerüsts ist eine Imitation der Transluzenz und der Transparenz der natürlichen Zahnhartsubstanz nur im inzisalen Drittel möglich. Die Entstehung von Grau- und Schattenzonen sind als Folge dessen oft unvermeidlich. Dies führt, speziell bei Restaurationen im Frontzahnbereich, zu einer eher eingeschränkten Ästhetik. Weitere klinisch relevante Nachteile sind Gingivaretraktionen als Folge des intrasulkulär liegenden Metallrandes und damit verbundene ästhetische Mängel, als auch möglicherweise resultierende parodontologische Erkrankungen.

Aus diesen Gründen kam es um 1980 zu einer deutlichen Progression hinsichtlich der Entwicklung vollkeramischer Systeme. Sie berücksichtigen vor allem das steigende Bedürfnis nach verbesserter Ästhetik. Durch den Wegfall des metallischen Gerüsts kommt es zu einer deutlich verbesserten Farbanpassung und einer natürlich wirkenden Lichtbrechung und Lichtreflektion im Mund. Die höhere Biokompatibilität der keramischen Massen, resultierend aus einer hohen chemischen Stabilität, ist ebenfalls unbestritten und auch vielfach nachgewiesen (Marx, 1993). Unterstützt wird sie durch die geringe Wärmeleitfähigkeit und die

geringe Neigung zur Plaqueanlagerung bei polierter Oberfläche (Chan und Weber, 1986; Hahn et al., 1992). Die konventionellen, pressbaren Glas- und Infiltrationskeramiken haben ihre Indikation als adhäsiv befestigte Inlays, Teilkronen, Einzelzahnkronen oder kleinere Brücken im Frontzahnbereich (Hölsch und Kappert, 1992).

Die Anwendung der sog. „Kristallverstärkung“ der Glasphase silikatischer Keramiken und die Verwendung ein- oder mehrphasiger polykristalliner Hochleistungskeramiken (Aluminiumoxid, Zirkoniumdioxid) sind die Grundlage der modernen vollkeramischen Systeme (Tinschert et al., 1996; Kappert, 1996). Sadoun entwickelte 1986 die aluminiumverstärkte Keramik, welche unter dem Markennamen In-Ceram® (Vita, Bad Säckingen) im gleichen Jahr auf dem Markt eingeführt wurde. Durch eine Umkehr des konventionellen Herstellungsprinzips wird bei diesem infiltrationskeramischen System eine Kristallverstärkung erreicht. Es wird zunächst ein Gerüst aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Teilchen offenporig vorgesintert, in das in einem zweiten Brennprozess die Glasphase infiltriert wird (Kappert et al., 1990; Sadoun, 1996). Bedingt durch ästhetische Einschränkungen aufgrund einer erhöhten Opazität der so hergestellten Gerüste, ist eine Verblendung mittels einer Silikatkeramik erforderlich. Der klinische Einsatzbereich dieses Systems sind Kronen im Front- und Seitenzahnbereich, sowie Brücken im Frontzahnbereich.

Das Zirkoniumdioxid ( $\text{ZrO}_2$ ) ist die Strukturkeramik mit den momentan am besten für die Zahnheilkunde nutzbaren mechanischen Materialeigenschaften (Schweiger, 2004). Es wurde bereits 1789 durch den deutschen Chemiker Martin Heinrich Klaproth entdeckt. Bei der Herstellung des Zirkoniumdioxidgerüstes wird das gefertigte Modell einer Kronen- oder Brückenpräparation optisch abgetastet (CAD) und anschließend computerunterstützt aus einem Rohling aus vorgesintertem Yttriumoxid vergrößert herausgefräst (CAM) und dicht gesintert. Eine andere Möglichkeit besteht in der 1:1 Fräsung aus bereits dicht gesintertem Material (Precident®-System, Bien-Air DCS Solutions, Allschwil, Schweiz). Da der Sintervorgang mit einer Volumenschrumpfung des gefrästen Werkstückes

verbunden ist, wird das Gerüst in einer um ca. 30% vergrößerten Form aus dem Rohling gefräst. Auch hier ist durch eine erhöhte Opazität des Gerüsts eine Verblendung mit einer herkömmlichen Silikatkeramik, unter ästhetischen Gesichtspunkten, erforderlich. Bedingt durch seine überlegenen mechanischen Eigenschaften findet das Zirkoniumdioxid in nahezu allen Bereichen des festsitzenden Zahnersatzes Verwendung.

## **2.2 Aktuelle vollkeramische Systeme**

### **2.2.1 Übersicht**

Bei der Planung einer vollkeramischen Restauration ist zu berücksichtigen, dass Langzeiterfahrungen in diesem Bereich für Kronen und Brücken nur bedingt vorliegen. Das Problem vereinzelt auftretender Ermüdungsfrakturen als Folge unzureichender Dauerfestigkeit ist noch nicht definitiv gelöst (Studart et al., 2007). Bei Patienten mit einem ausgeprägtem Deck- oder Tiefbiss, oder bei bestehenden Parafunktionen wie Bruxismus, sollten vollkeramische Versorgungen nur zurückhaltend eingesetzt werden. Die dentalen keramischen Werkstoffe unterscheiden sich je nach Struktur und chemischem Aufbau und können mit verschiedenen mechanisch-physikalischen Eigenschaften entwickelt werden. Sie müssen daher untereinander differenziert werden. Die heute zur Anwendung kommenden vollkeramischen Restaurationssysteme lassen sich auf verschiedene Arten differenzieren. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer werkstoffkundlichen Zusammensetzung, des Herstellungsverfahrens, der klinischen Anwendung oder der Befestigungsverfahren (Pröbster und Groten, 2006).

### **2.2.2 Einteilung nach werkstoffkundlicher Zusammensetzung**

Hinsichtlich der werkstoffkundlichen Zusammensetzung wird zwischen zwei Hauptgruppen unterschieden (Abb. 1): Die Silikatkeramiken und die Oxidkeramiken.

Zu den Silikatkeramiken zählen die Feldspat- und Glaskeramiken. Feldspatkeramiken sind traditionelle Dentalkeramiken, die sich vom konventionellen Porzellan durch unterschiedliche Anteile der Ausgangsstoffe wie Feldspat, Quarz und Kaolin unterscheiden. Silikatkeramiken weisen neben dem kristallinen Anteil einen hohen Glasanteil auf. Dieser erhöhte Glasanteil ermöglicht zwar auf der einen Seite eine gute Ästhetik, limitiert aber auf der anderen Seite deutlich die Festigkeit. Deshalb nutzt man Silikatkeramiken vorwiegend als Verblendkeramiken. Die aktuellen, auf Silikatkeramiken basierenden Systeme, werden bei differenzierter Indikation in Form von Kronen oder Verblendschalen im Frontzahnbereich und in Form von Inlays oder Onlays im Seitenzahngebiet eingesetzt (Strub et al., 2005). Oxidkeramiken (Aluminiumoxid, Zirkoniumdioxid) sind feldspatfrei und gehören zu den sog. synthetischen Keramiken. Die vorhandenen Gefügeverstärkungen erfolgen durch die Zugabe bestimmter Kristalle ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{MgO}_4$ ,  $\text{ZrO}_2$ , Leuzit, Glimmer, Lithiumdisilikate, Hydroxylapatit). Da diese Keramikarten eine reduzierte, bzw. gar keine Glasphase mehr enthalten, weisen sie zwar hohe Festigkeitswerte auf, ihre ästhetischen Eigenschaften sind jedoch limitiert. Aktuelle Hochleistungskeramiken, wie das Aluminiumoxid oder das Zirkoniumdioxid, sind als Gerüstwerkstoffe für vollkeramische Kronen und Brücken im Front- oder Seitenzahnbereich geeignet (Kappert und Krah, 2001; Kappert 2007).

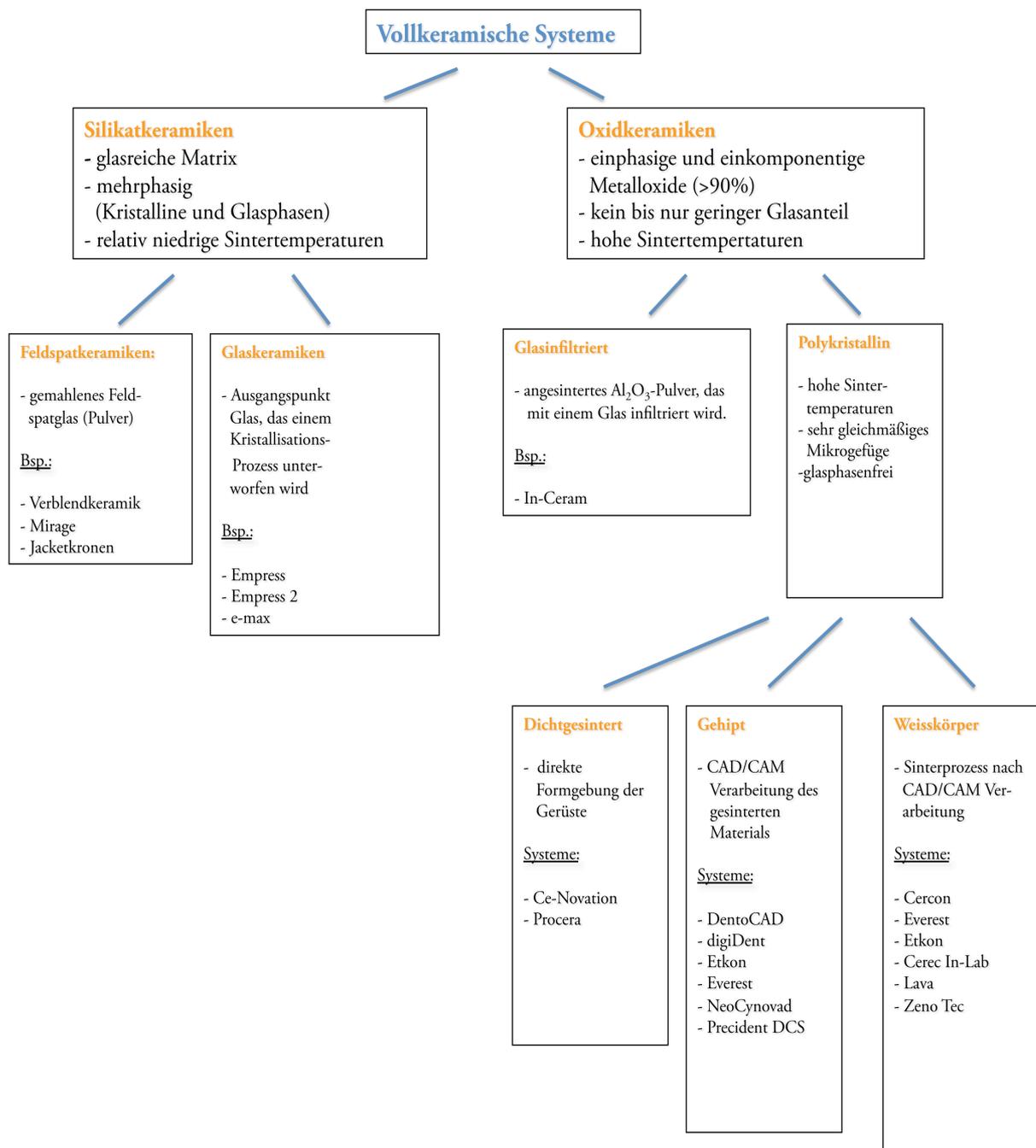


Abb. 1: Einteilung keramischer Systeme nach werkstoffkundlicher Zusammensetzung

### 2.2.3 Einteilung nach Herstellungsverfahren

Die Herstellungsverfahren für keramische Gerüstwerkstoffe lassen sich in additive und subtraktive Methoden unterteilen (Abb. 2).

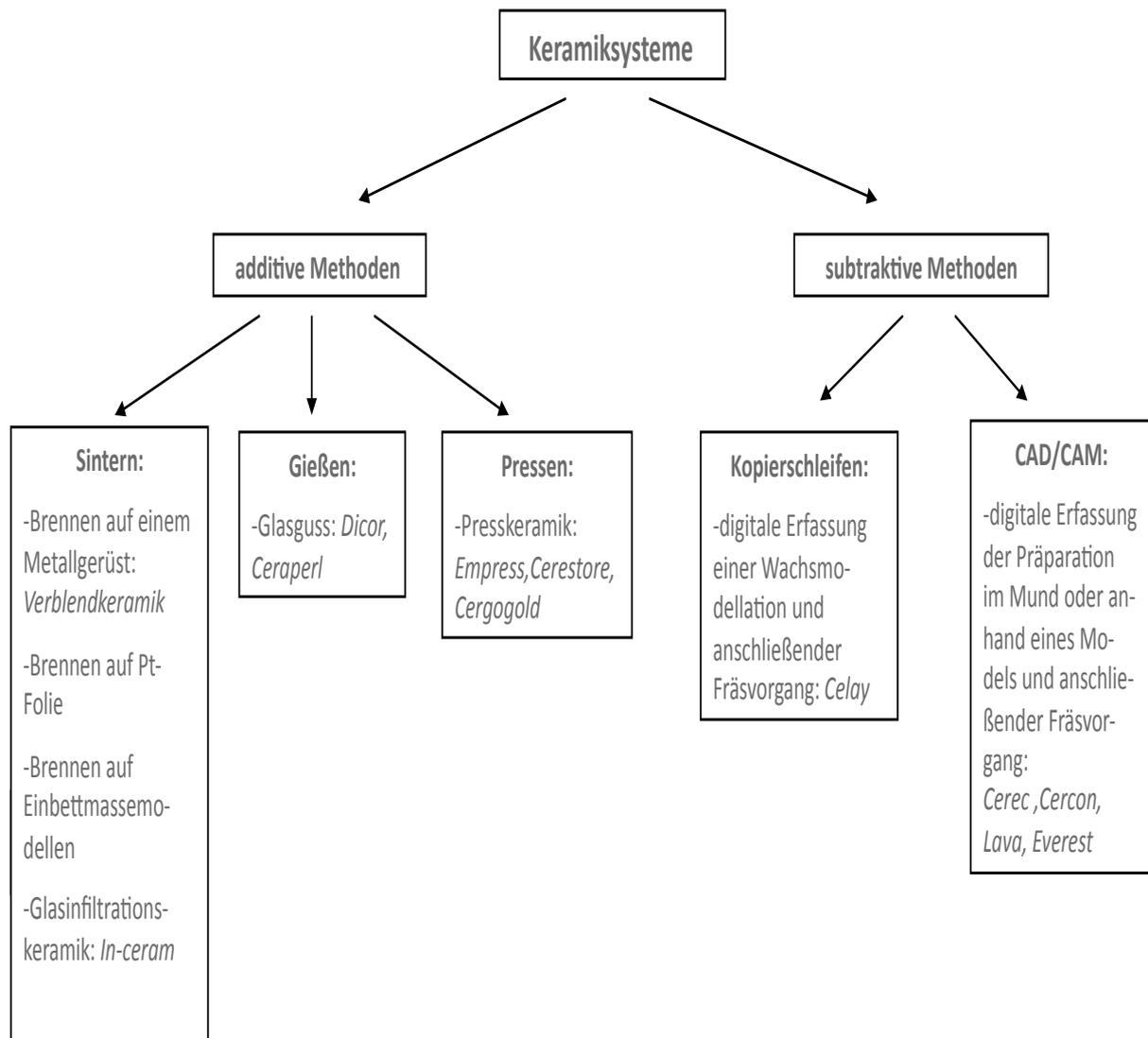


Abb.2: Einteilung nach Herstellungsverfahren

Zu den additiven Methoden zählen die Formsinterung, sowie das Guss- und Pressverfahren. Unter einem Sinterprozess versteht man ein Grundprinzip des Brennens. Hierbei werden die in der Keramik enthaltenen Partikel miteinander verschweißt, ohne miteinander zu reagieren. Als Folge werden die Zwischenräume zwischen eben diesen Partikel verkleinert, was zu einer dichteren Gefügestruktur und somit zu einer erhöhten Materialfestigkeit führt (Abb. 3). Triebkraft für diesen Prozess ist das Streben der Partikel nach einer Verkleinerung der Oberflächenenergie.



Abb. 3: Elektronenmikroskopisches Bild einer Aluminiumoxidkeramik vor dem Sinterprozess (a.) und danach (b.)

Bei den Guss- oder Pressverfahren werden die Keramikrohlinge nach dem sog. „lost-wax-Verfahren“ hergestellt. Hierzu werden die späteren Restaurationen von einem Zahntechniker aufgewachst, in eine feuerfeste Masse eingebettet und das Wachs in einem Ofen ausgetrieben. Die Keramik wird anschließend in die sich ergebende Hohlform gegossen oder auch gepresst. Bekannte Vertreter sind das Dicor<sup>®</sup>-System (Dentsply Detrey, Konstanz) für die Gießtechnik und, für das Pressverfahren, das Empress<sup>®</sup>-System (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen).

Zu den subtraktiven Verfahren werden das Koperschleif-System Celay<sup>®</sup> (Vita, Bad Säckingen) und die verschiedenen CAD/CAM-Systeme gezählt. CAD (Computer-aided design, zu Deutsch: Computer-unterstützter Entwurf oder Konstruktion), bezeichnet das Erstellen von Konstruktionsunterlagen, in diesem Fall das Erstellen von Kronen- oder Brückengerüsten, mit Hilfe von Software. CAM (Computer-aided manufacturing, zu Deutsch: Computer-unterstützte Produktion oder Fertigung) bezeichnet die durch Computer gesteuerte Fertigung, bzw. die von Computern gesteuerten Fertigungsanlagen. Im konkreten Fall handelt es sich um eine computergesteuerte Fräsanlage, welche die am Computer entworfene Konstruktion oder Restauration aus einem Rohling herausfräst.

Dieser Block kann entweder durchgesintert oder in einem vorgesinterten Zustand zur Verfügung stehen. Durch ihre geringe Materialhärte erlauben vorgesinterte Keramikrohlinge eine materialschonendere und schnellere Verarbeitung als das Beschleifen bereits gesintertter Rohlinge. Ein großer Vorteil der CAD/CAM-

Technologie besteht in der industriellen Fertigung der Rohlinge, was nahezu konstant optimale Materialeigenschaften, bedingt durch ein homogenes Gefüge, gewährleistet. Zudem erlaubt die moderne CAD/CAM-Technologie die Verarbeitung hochfester Werkstoffe wie des Zirkoniumdioxids, dessen Bearbeitung mit konventionell zahntechnischen Methoden schwierig bis unmöglich war.

#### **2.2.4 Einteilung nach Befestigungsverfahren**

Vollkeramische Restaurationen können konventionell mit Phosphatzement, oder adhäsiv, mit verschiedenen Kompositen oder Kompomeren, befestigt werden. Bei der Wahl der jeweiligen Befestigungsmethode sollten die werkstoffkundlichen Eigenschaften der verwendeten Keramik berücksichtigt werden. Das Prinzip der konventionellen Zementierung mittels eines Phosphatzements beruht auf einer Erhöhung der Haftreibung (ein rein mechanischer Effekt) zwischen dem präparierten Zahnstumpf und der Restauration. Ein chemischer Verbund zwischen Zement und Zahnhartsubstanz, wie er bei der adhäsiven Zementierung eintritt, wird nicht erzielt. Aufgrund dessen ist die Belastbarkeit der Versorgung abhängig von den Festigkeitseigenschaften der verwendeten Keramik. Daher werden hochfeste Oxidkeramiken, wie das Aluminiumoxid oder das Zirkoniumdioxid, mit konventionellen Zementen zementiert, während die eher fragilen Glas- und Silikatkeramiken adhäsiv zementiert werden. Durch die adhäsive Zementierung kann bei den bruchanfälligen Glas- oder Silikatkeramiken die Belastbarkeit deutlich erhöht werden. Die Voraussetzung bzw. die Grundlage für eine adhäsive Zementierung ist der Einsatz der Adhäsivtechnik. Das heißt, eine Säure- Ätztechnik am Zahnschmelz, eine materialspezifische Konditionierung der Fügefläche der Restauration (Vorbehandlung mit Flusssäure oder Sandstrahlen mit  $\text{SiO}_2$ ), als auch eine absolute Trockenlegung im Patientenmund ist durchzuführen. Diese Arbeitsschritte machen die adhäsive Zementierung sehr zeitaufwendig. Die klinisch nicht immer mögliche Trockenlegung limitiert zudem die Einsatzmöglichkeiten dieser Art der Fixation deutlich. Bei ausgedehnten Substanzdefekten mit subgingivaler Restaurationsgrenze

ist eine absolute Trockenlegung oft nicht zu realisieren, und somit die konventionelle Zementierung die erfolgversprechendere Alternative. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass in diesen Fällen Glas- oder Silikatkeramiken als Restaurationswerkstoff ausscheiden. Glas- und Silikatkeramiken sind bedingt durch ihre hohe Transluzenz bei geringen Festigkeitswerten für eine konventionelle Zementierung ungeeignet. Der opake Phosphatzement würde außerdem das ästhetische Ergebnis schmälern. Eine Möglichkeit, die zeitaufwendige und durch die Trockenlegung limitierte adhäsive Zementierung zu umgehen, ist die Verwendung von Oxidkeramiken als Kernmaterial und eine anschließende Verblendung mit Glaskeramiken. Es ist so möglich, ästhetisch optimale Ergebnisse bei konventioneller Zementierung zu erzielen.

## **2.3 Zirkoniumdioxid**

### **2.3.1 Rohstoff und Gewinnung**

Als 1789 der deutsche Chemiker Martin-Heinrich Klaproth das Uran entdeckte, isolierte er das Oxid eines Elementes der 4. Nebengruppe: das Zirkoniumdioxid ( $ZrO_2$ ). Die zur Gewinnung von Zirkoniumdioxid nötigen Ausgangsstoffe sind Zirkon (Zirkonsilikat =  $ZrSiO_4$ ) und Baddeleyit, bei dem es als monoklines  $ZrO_2$  mit Verunreinigungen durch Siliziumoxid und Eisenoxid vorliegt. Zu finden sind diese Ausgangsmaterialien in bestimmten Bereichen der Erde, wie z.B. in Indien, Sri Lanka, Südafrika, Australien und den USA. Das Zirkon, in seiner silikatischen Form ( $ZrSiO_4$ ), entsteht hier vor allem bei der Gewinnung der Titanerze Ilmenit und Rutil, während das Baddeleyit in erster Linie bei der Kupfer- und Uranförderung in Südafrika anfällt. Das Element Zirkonium macht ca. 0,02 Gewichtsprozent der Erdkruste aus und ist somit das 17.-häufigste Element der Erde. Begleitende Elemente wie das Hafnium, Lanthanoide oder auch Actinoide finden sich sowohl im Zirkon als auch im Baddeleyit.

Durch Carbochlorierung, Kondensationsprozesse, sowie versch. Extraktionen werden die gewonnenen Zirkonsande gelöst, bis ein reines Ausgangsprodukt entsteht. Das Zirkonsilikat ( $\text{ZrSiO}_4$ ) reagiert durch Chloridierung zu einem Zirkoniumtetrachlorid ( $\text{ZrCl}_4$ ). Dieses wird durch Wasserzugabe sofort in  $\text{ZrOCl}_2$  umgewandelt, welches mit  $\text{NH}_3$  legiert, bei ca.  $800^\circ\text{C}$  wärmebehandelt und zu einem Pulver zermahlen wird. Das so gewonnene weiße Pulver ist hochschmelzendes  $\text{ZrO}_2$ . Durch die Zugabe von Wasser und organischen Bindemitteln sowie anschließendes Brennen bei  $1600^\circ\text{C}$  bis  $1950^\circ\text{C}$  wird das in Pulverform vorliegende  $\text{ZrO}_2$  in Formstücke umgewandelt.

### 2.3.2 Werkstoffkunde

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei Zirkoniumdioxid um eine hochfeste Strukturkeramik (Biegefestigkeiten von 900-1200 MPa) (Schweiger, 2004), mit den zur Zeit für die Zahnmedizin am besten nutzbaren Materialeigenschaften. Da es in seinen Eigenschaften sogar manchen Metallen überlegen ist (Apholt et al., 2001; Minimazato, 1990), stellt das Zirkoniumdioxid momentan das Mittel der Wahl dar, wenn es um metallfreie Kronen- oder Brückenrestorationen im stärker kaubelasteten Seitenzahnbereich geht. Die Nutzung dieses Werkstoffs in der Zahnmedizin reicht von konfektionierten Teilen (Brackets, Wurzelstifte, Implantatabutments), bis hin zu individuell gefertigten Restorationen (Kronen- und Brückengerüste). Werkstoffkundlich betrachtet zählt das Zirkoniumdioxid zu den Hartkeramiken. Es dient also in erster Linie als Gerüstwerkstoff und wird anschließend mit einer Silikatkeramik verblendet. In Einzelfällen ist es zudem auch als Material für anatomische Vollkronen einsetzbar.

Ähnlich wie das Aluminiumoxid gehört das Zirkoniumdioxid zu den bereits erwähnten Oxidkeramiken und zeichnet sich durch seinen hohen Reinheitsgrad und sein glasphasenfreies, feinkörniges Gefüge aus. Das Zirkoniumdioxid ist eine chem. Verbindung des eher seltenen Metalls Zirkonium (enthalten in vulkanischem Gestein)

und Sauerstoff. Die dementsprechende chem. Summenformel lautet  $\text{ZrO}_2$ . Unterhalb des Schmelzpunktes von  $2680^\circ\text{C}$  besitzt  $\text{ZrO}_2$  eine kubische Kristallstruktur, welche sich beim Abkühlungsprozess unterhalb von  $2370^\circ\text{C}$  in eine tetragonale Phase umwandelt und unter  $1250^\circ\text{C}$  weiter zum monoklinen Baddeleyit deformiert wird (Abb. 2.4). Die letzte Phasenumwandlung ist hierbei durch einen 3-5% großen Volumenzuwachs gekennzeichnet.

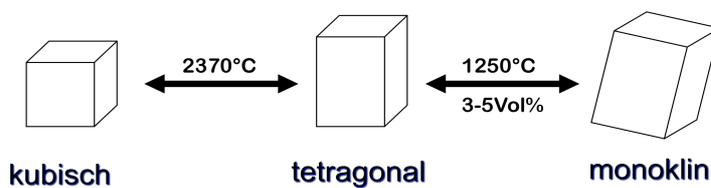
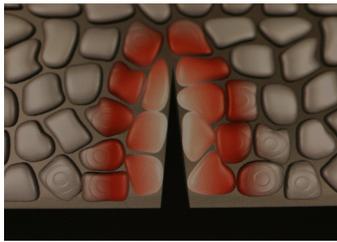


Abb. 4: Phasentransformation von Zirkoniumdioxid (Quelle: Pospiech et al., 2004, S.52)

Dieser Volumenzuwachs bewirkt innerhalb des Werkstoffs eine solch große Spannung, dass in reinem Zirkoniumdioxid nach der Sinterung von Bauteilen aus Baddeleyit eine spontane Rissbildung in der Abkühlungsphase auftritt. Es ist daher nötig, stabilisierende Oxide (Cereoxid oder Yttriumoxid) zuzugeben, um diese Volumenausdehnung zu umgehen und die tetragonale Phase bei Raumtemperatur stabil zu halten. So entsteht durch eben diese Zugabe von Yttriumoxid eine teilstabilisierte Keramik aus sehr kleinen Kristalliten, deren Kristallgitter der tetragonalen Phase bei Raumtemperatur stabil sind. Man spricht daher auch von „Yttrium-stabilised Tetragonal Zirconia Polycrystals“ (Y-TZP) (Luthardt et al., 1999). Es ist so möglich, den oben beschriebenen, schädlichen Volumenzuwachs positiv zur Festigungssteigerung der Keramik zu nutzen (Weber und Rieger 2001). Die Kristalle aus Y-TZP können so auch unter dem Druck der sie umgebenden Matrix in der metastabilen tetragonalen Form verharren. Tritt ein Riss in der Keramik auf, wandeln sich diese Kristalle in die monokline Form um, wodurch es an der Risspitze zu einem Volumenzuwachs kommt und die Rissausbreitung abgeschwächt wird (Abb. 2.5). Im direkten Vergleich zu anderen Oxiden stellt das Zirkoniumdioxid das

feinkörnigste, dichteste und mechanisch belastbarste Gefüge in der Zahnmedizin, bzw. der Zahntechnik dar. Durch eine spezielle Nachbearbeitung unter hohem Druck und hoher Temperatur entsteht das sog. „HIP- Zirkoniumdioxid“ (HIP = Hot-Isostatic-Pressing). Es werden so letzte Porositäten im Werkstoff reduziert und Festigkeiten von bis zu 1500MPa erreicht.



a.): Umwandlung der  $ZrO_2$ -Teilchen ausgelöst durch Spannungsspitzen oder Risse



b.) Rissverzerrung aufgrund der Raumforderung bei Modifikationsumwandlung der  $ZrO_2$ -Teilchen

Abb. 5 : Transformationsfestigung des Zirkoniumdioxid (Quelle: Pospiech et al. 2004, S.55)

### 2.3.3 Bearbeitung

Zirkoniumdioxid kann als Grünling, Weißling oder im gehippten (heiß-isostatisch-gepressten) Zustand zahntechnisch verarbeitet werden. Allen drei Zuständen ist gemeinsam, dass bei der Verarbeitung CAD/CAM-Systeme verwendet werden.

#### 2.3.3.1 Grünkörperbearbeitung:

Beim sog. Grünling handelt es sich um einen Presskörper ohne Wärmebehandlung, d.h. ein aus Keramikpulver und Bindemitteln bestehendes Objekt. Durch die mangelnde Vorsinterung besitzt das Objekt in diesem Zustand eine kreideähnliche Konsistenz. Die Bearbeitung ist somit zwar deutlich erleichtert, birgt aber auf der anderen Seite eine gewisse Problematik bezüglich der Handhabung und des Transports. Der Fräsvorgang erfolgt mittels Hartmetallfräsern, wobei eine spätere Volumenschrumpfung von über 25% beim Sinterprozess schon während des

Fräsvorgangs zu berücksichtigen ist. Bei den aktuellen CAD/CAM-Systemen findet diese Art der Verarbeitung meist keinen Einsatz. Die Ausnahme stellt hier das Lava™-System (3M ESPE AG, Seefeld) dar, mit dem eine Grünling-Bearbeitung möglich ist.

### **2.3.3.2 Weißlingsbearbeitung:**

Bei einem Weißling oder auch Weißkörper handelt es sich um ein bereits vorgesintertes Werkstück. Durch die Vorsinterung haben sich die Presshilfsmittel verflüchtigt und der Rohling verfügt über eine ausreichende Eigenfestigkeit. Das Fräsen wird mit Hartmetallfräsern mit oder ohne Wasserkühlung durchgeführt. Auch hier wird das Werkstück ca. 20-30 Vol% größer hergestellt, um die bei der späteren Durchsinterung auftretende Sinterschrumpfung auszugleichen. Vorteil dieser Methode ist der geringere Verschleiß an Fräsern. Die Bearbeitung von vorgesintertem Zirkoniumdioxid mit anschließender Durchsinterung ist die heute am häufigsten verwendete Methode.

Gängige Systeme:

- Lava™ (3M ESPE AG, Seefeld)
- Everest® (KaVo, Biberbach)
- Cercon® smart ceramics (DeguDent, Hanau)
- Hint-Els Denta CAD Systeme (Digident, Pforzheim).

### **2.3.3.3 Bearbeitung im gehippten Zustand:**

In diesem Zustand ist der Zirkoniumdioxidrohling bereits in einem vollständig durchgesinterten, gehippten, d.h. heiß-isostatisch-gepressten, Zustand. Der Fräsvorgang erfolgt hier mit Diamantwerkzeugen unter Wasserkühlung. Die

wesentlichen Vorteile dieses Verfahrens sind keine Sinterverzüge, da nach dem Fräsvorgang kein Sinterbrand mehr erfolgt. Es ist somit keine Anschaffung eines Sinterofens nötig. Durch das Wegfallen des Sinterbrandes ist der Herstellungsprozess zusätzlich verkürzt. Die Nachteile liegen in einer weniger effizienten Maschinenauslastung durch längere Schleifzeiten, einem höheren Verschleiß an Schleifkörpern und das bislang fehlende Vorhandensein von eingefärbten Rohlingen auf dem Markt.

Gängige Systeme:

- Everest® (KaVo, Biberbach)
- Hint-Els Denta CAD Systeme (Digident, Pforzheim)
- DCS (DCS DENTAL AG, Allschwil, Schweiz)
- etkon™ (Straumann AG, Basel).

## **2.4 Dentale CAD/CAM-Systeme**

### **2.4.1 Funktionsprinzip**

In den letzten Jahren hat die CAD/CAM-Technologie, die in anderen Industriebereichen schon lange angewandt wird, auch verstärkt in der Zahnmedizin Einzug gehalten und sich bewährt. Die CAD/CAM-Technologie nutzt industriell vorgefertigte Materialblöcke mit hohem Reinheitsgrad, die anschließend vollautomatisch subtraktiv bearbeitet werden. Hierbei steht die Abkürzung „CAD“ („Computer-aided-Design“) für die computerunterstützte Konstruktion, während der Begriff „CAM“ („Computer-aided-Manufacturing“) die computerunterstützte Fertigung bezeichnet. Die industrielle Herstellung der Blöcke gewährleistet eine gleichmäßige und hochwertige Gefügestruktur des verwendeten Materials. Daraus ergeben sich deutlich verbesserte Materialeigenschaften und eine Verbesserung der Biokompatibilität im Vergleich zu konventionellen zahntechnischen

Herstellungsverfahren. Die CAD/CAM-Technologie ist somit fester Bestandteil des zahnmedizinischen und zahntechnischen Arbeitsbereiches geworden.

Bei der Fertigung von Zahnersatz mittels CAD/CAM-Technologie werden prinzipiell immer die gleichen drei Arbeitsschritte durchlaufen:

1. Optischer Abdruck der Präparation oder eines Modells mittels Kamera oder Scanner
2. Gestaltung der Restauration am Computer mit Hilfe spezieller Software
3. Übermittlung der Daten an eine Fräseinheit und vollautomatischer Fräsprozess.

#### **2.4.2 Intra- und extraorale Digitalisierung**

Beim ersten Arbeitsschritt, dem Digitalisieren des präparierten Stumpfes, unterscheidet man zwischen extraoraler und intraoraler Datenerfassung. Bei den sog. „Labside-Systemen“ wird ein Abdruck von der intraoralen Situation genommen und ein Modell hergestellt. Dieses wird nun eingescannt und die so gewonnenen Daten, wie eingangs beschrieben, weiterverarbeitet (Siervo et al., 1994). Dem gegenüber stehen die sog. „Chairside-Systeme“. Hier wird die Präparation intraoral mittels einer Kamera erfasst, wodurch die Restauration sofort hergestellt werden kann. Eine Abdrucknahme und das Erstellen eines Modells mit anschließender Fertigung im zahntechnischen Labor sind hier nicht nötig (Mehl, 2001). Durch das in der Mundhöhle herrschende geringe Platzangebot und die für den Behandler eingeschränkte Bewegungsfreiheit, bedingt durch die hohen Anforderungen an das OP-Feld und die daher notwendigen Maßnahmen zur absoluten Trockenlegung (Kofferdam), ist die Anwendbarkeit dieser Methode jedoch zunächst begrenzt.

### **2.4.3 Taktile und optische Digitalisierung**

Eine weitere Möglichkeit der Unterscheidung der verschiedenen CAD/CAM-Systeme ist die Art der Digitalisierung. In diesem Bereich haben sich die optischen Erfassungssysteme gegenüber den Taktilen, aufgrund der wesentlich schnelleren Verarbeitung, eindeutig durchgesetzt (Luthardt et al., 2001; Mehl et al., 1996). Bei der taktilen Erfassung wurde das Objekt mittels eines mechanischen Tasters abgefahren, um so seine Form zu erfassen. Entscheidend für die Genauigkeit der Vermessung war nicht nur die Größe des Tasters, sondern auch der Anpressdruck, mit dem das zu erfassende Objekt abgetastet wurde.

Bei den optischen Digitalisierungsverfahren existiert jeweils eine Projektor- und eine Detektoreinheit, die in der Regel einander gegenüber angeordnet sind. Zur Vermessung wird ein Laser- oder Weißlicht punkt- oder flächenhaft auf das Objekt gestrahlt. Zur Erfassung des ausgesendeten Lichtes dienen spezielle lichtempfindliche Detektoren. Auf diese Art und Weise wird eine digitale Punktwolke erzeugt, welche computerunterstützt in ein dreidimensionales Modell umgewandelt wird. Die Restauration kann mit diesen gewonnenen Daten nun am Bildschirm entworfen werden (CAD). Überflüssige Daten (Bereiche unterhalb der Präparationsgrenze) können beim Konstruktionsprozess automatisch oder manuell entfernt werden. Die Genauigkeit der Datenerfassung hängt stark von der Reflektivität der zu erfassenden Oberfläche ab. Bei der intraoralen Datenerfassung oder bei der optischen Erfassung von z.B. metallischen Implantatabutments, müssen die Oberflächen, oder die Zähne, mit einem speziellen Puder bestreut werden, um Reflektionen zu vermeiden. Da bei der intraoralen Erfassung hierfür eine absolute Trockenlegung erforderlich ist, grenzt dies den Indikationsbereich weiter ein.

### **2.4.4 Fräsprozess**

Die durch den Scanprozess gewonnenen CAD-Daten müssen an eine Fräseinheit übertragen werden, welche die Restauration aus einem industriell vorgefertigten

Rohling herausfräst (CAM). Der Fräsprozess kann, abhängig von der je nach System vorhandenen Fräseinheit, in der jeweiligen Praxis oder im zahntechnischen Labor durchgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Fertigung in zentralen Fräszentren, was eine Datenübermittlung, z.B. via Internet, erforderlich macht. Nach abgeschlossenem CAM-Prozess ist eine Nachbearbeitung durch den Zahntechniker nötig, um optimale Formen und Passungen zu erzielen

#### **2.4.5 Aktuelle vollkeramische CAD/CAM-Systeme**

Die unterschiedlichen Methodiken bestimmen ganz entscheidend den Anwendungsbereich des jeweiligen CAD/CAM-Systems. Bei Einzelzahnversorgungen ist es unter bestimmten Voraussetzungen (supragingivale Lage der Präparationsgrenze, Möglichkeiten der absoluten Trockenlegung durchführbar), wie schon erwähnt, durchaus machbar diese mittels eines optischen Abdrucks intraoral zu erfassen und zu digitalisieren (Cerec<sup>®</sup>-System, Sirona, Bensheim). Verbreiteter ist jedoch die Herstellung und optische Erfassung eines Gipsmodells im zahntechnischen Labor, nach vorheriger konventioneller Abdrucknahme.

Die Zielrichtung der sich aktuell auf dem Markt befindlichen vollkeramischen CAD/CAM-Systeme ist die Restaurationsfertigung im zahntechnischen Labor. Sie ermöglichen im Wesentlichen die Herstellung von keramischen Gerüststrukturen aus Hochleistungskeramiken wie dem Zirkoniumdioxid. Die Ausnahme bildet hier das Cerec<sup>®</sup>-System (Sirona, Bensheim), welches in erster Linie für die Anwendung und direkte Herstellung von Versorgungen in der zahnärztlichen Praxis (chairside) konzipiert ist.

##### **2.4.5.1 Cerec<sup>®</sup> (Sirona, Bensheim)**

Das Cerec<sup>®</sup>-System ist das derzeit am weitesten verbreitetste und erprobte CAD/CAM-System weltweit. 1986 wurde es von der Firma Siemens in den Handel

gebracht und stetig über die Gerätegenerationen weiterentwickelt (Cerec<sup>®</sup>-1: 1986, Cerec<sup>®</sup>-2: 1994, Cerec<sup>®</sup>-3: 2000) (Mörmann, 2006). Parallel zu der Hardware wurde auch die Entwicklung der Software stetig vorangetrieben (Crown<sup>®</sup>-1.0, 1997; Cerec<sup>®</sup> 3D-Software, 2003) (Reich und Wichmann, 2004). Eigneten sich die ersten Cerec<sup>®</sup>-Gerätekombinationen nur zur Herstellung glaskeramischer Inlays ohne anatomische okklusale Gestaltung, so steht jetzt eine Vielzahl an vollkeramischen Versorgungsmöglichkeiten, von der Verblendschale bis hin zur Brückenrestauration, zur Verfügung. Prinzipiell besteht das System aus drei Bausteinen:

- CCD- Kamera zur intraoralen optischen Erfassung der Präparation.
- Einem Computer zur Datenerfassung und Restaurationsgestaltung (CAD).
- Einer von jenem Computer gesteuerten Fräseinheit (CAM).



Abb.6: Alle drei Generationen des Cerec<sup>®</sup>-Systems (1,2 und 3 von links nach rechts) (Quelle: WIKIPEDIA)

2002 wurde zusätzlich das Cerec<sup>®</sup>-InLab-System eingeführt, welches hauptsächlich für die Herstellung von Brückengerüsten im zahntechnischen Labor konzipiert worden ist. Da hier keine optische Erfassung direkt im Patientenmund erfolgt, sondern statt dessen auf einer Modellgrundlage über einen Laserscanner, ist hier eine klassische Abdrucknahme, sowie das Herstellen eines Gipsmodells, erforderlich. Egal ob direkte Fertigung in der zahnärztlichen Praxis oder im zahntechnischen Labor, die Arbeitsschritte lassen sich bei dieser CAD/CAM-Technik wie folgt unterscheiden:

- Digitalisierung der Präparation (direkt im Mund oder über Herstellung eines Modells)
- Erstellung eines dreidimensionalen Modells durch den Computer
- Computergestützte Modellation der geplanten Versorgung (CAD)
- Übermittlung der Daten an die Fräseinheit und vollautomatischer Fräsvorgang (CAM)
- Einsetzen der fertigen Restauration.

Das simultane Formschleifen erfolgt mit Prismen- und Stufenschleifern. Das Softwareprogramm schlägt alle für das äußere Kronendesign nötigen geometrischen Formen vor und passt die Konstruktion den gegebenen anatomischen Verhältnissen (Nachbarzähne, Antagonisten) an. Da auch Hochleistungskeramiken, wie das Zirkoniumdioxid, für das Cerec<sup>®</sup>-System von verschiedenen Herstellern in Form von Blöcken zur Verfügung gestellt werden, können auch Gerüste für Kronen oder Brücken gefräst werden, welche anschließend mit einer Silikatkeramik verblendet werden müssen.

#### **2.4.5.2 Everest<sup>®</sup> (KaVo, Biberbach)**

Der Indikationsbereich, bzw. der Bereich der Fertigungsmöglichkeiten an Restaurationen erstreckt sich bei diesem System über Inlays, Onlays, Veneers, Kronen- oder Brückengerüste und Vollkronen. Das Everest<sup>®</sup>-System besteht aus drei Komponenten:

- Dem Everest<sup>®</sup> scan (Scaneinheit)
- Der Everest<sup>®</sup> engine (Schleifeinheit)
- Dem Everest<sup>®</sup> therm (Sintereinheit).



Abb.7.: Everest®-System (Quelle: [www.kavo-everest.com](http://www.kavo-everest.com))

In der Scaneinheit wird zunächst die in einem Gipsmodell erfasste Präparation mit einer CCD-Kamera mit Hilfe von Weißlichtprojektion erfasst und in digitale Daten umgewandelt. Die Auflösung liegt bei 768 x 512 Bildpunkten bei einer Messfeldgröße von 40 x 60 mm. Sehr große Brückenkonstruktionen (bis zu 14 Gliedern) können hierbei durch eine weitere, spezielle Scaneinheit (Everest® scan pro) eingescannt werden. Dies wird durch ein vergrößertes Messfeld von 60 x 80 mm erreicht, wobei die Bildauflösung um das 4-fache auf 1.392 x 1.040 Bildpunkte erhöht ist. Die virtuelle Gestaltung des zu fertigenden Gerüsts erfolgt mittels eines CAD-Moduls am Bildschirm. Die Daten werden an die 5-Achsen-Fräs- und Schleifeinheit „Everest engine“ weitergeleitet, von dieser berechnet und unter Berücksichtigung der Drehzahl- und Vorschubsteuerung für das jeweilige verwendete Material wird der Fräsvorgang vollzogen. Der nötige Dichtsinterungsprozess erfolgt im Anschluss an den Fräsvorgang in der Sintereinheit „Everest® therm“.

Mit dem Everest®-System ist es möglich, eine breite Palette unterschiedlichster Materialien zu bearbeiten. Neben den keramischen Werkstoffen, wie vorgesinterten oder dichtgesinterten Zirkoniumdioxidkeramiken, Glaskeramiken und schrumpfungsfreien Zirkonsilikatkeramiken („Everest® HPC“), besteht auch die Möglichkeit der Bearbeitung von Titan und Kunststoff. Üblicherweise liegt der Hauptindikations-, bzw. Hauptverarbeitungsschwerpunkt auf der Herstellung von

Zirkoniumdioxidgerüsten für Kronen und Brücken. Hierzu werden die Everest® ZS-Blanks im vorgesinteren Zustand gefräst und anschließend dichtgesintert. Da es bei dem Sinterungsprozess zu einer Volumenschrumpfung von ca. 20% kommt, werden die Restaurationen um diesen Betrag größer gefräst. Die Verblendung der so hergestellten Gerüste erfolgt mit handelsüblichen Verblendkeramiken.

#### 2.4.5.3 etkon™ (Straumann, Basel)

Das etkon™-System besteht lediglich aus einer Scaneinheit (etkon™ es1-Scanner) und der dazugehörigen Software (etkon™ visual). Der nötige PC inkl. Bildschirm wird mit zur Software geliefert. Ein 3D-Laser scannt die aus Gips gefertigten Modelle und Stümpfe. Auch Daten über den Kiefer und die Stumpfsituation können erfasst werden. Mit 28.000 Scanpunkten pro Sekunde wird das Modell abgetastet und die Daten am PC in ein 3D-Modell umgewandelt. Der Präparationsrand wird automatisch erkannt und definiert, kann aber auch manuell nachgebessert werden. Die Systemsoftware etkon™ visual ermöglicht nun die Gestaltung des geplanten Werkstücks am Computer (CAD). Der Indikationsbereich umfasst Einzelkronen und Brücken (bis 16 Brückenglieder), Primärteleskope, Inlays, Onlays und Veneers.



Abb.8: etkon™ es1-Scanner (Quelle: [www.straumann.com](http://www.straumann.com))

Das etkon™-System basiert ausschließlich auf der Basis der Zentralfertigung. Das bedeutet, es gibt keine separate Fräseinheit für den Gebrauch im zahntechnischen Labor. Die digitalisierten Daten der geplanten Restauration werden nach dem Scan- und Designprozess an ein zentrales Fertigungszentrum gesandt. Die Firma betreibt derzeit zwei Fräszentren, in denen aus den konstruierten Daten die zahntechnischen Arbeiten gefräst werden. Als Standorte wurden Gräfelfing bei München und Leipzig gewählt. Das Verarbeitungsspektrum erstreckt sich über Prozesstechnologien für Zirkoniumdioxidkeramik, Aluminiumoxidkeramik, Titan, CoCr-Legierungen und Materialien auf Kunstharzbasis. Das fertige Gerüst wird per Kurierdienst an das Labor geliefert.

#### **2.4.5.4 Lava™ (3M ESPE AG, Seefeld)**

Das Lava™-Vollkeramiksystem ermöglicht die Herstellung von vollkeramischen Kronen- und Brücken im Front- und Seitenzahnbereich. Das jeweilige Gerüst besteht aus Zirkoniumdioxid (Lava™Frame), ist in sieben Farben erhältlich und wird durch eine Verblendkeramik ergänzt.

Dieses System besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Dem Scanner Lava™ Scan ST
- Die Software Lava™ CAD
- Die CAD/CAM-Fräsmaschine Lava™ Form
- Das Gerüstmaterial Lava™Frame
- Dem Sinterofen Lava™ Therm
- Die Verblendkeramik Lava™ Ceram.



Abb.9: Fräsmaschine Lava™ Form (links) und Scanner Lava™ Scan ST (rechts) (Quelle: [www.dentalproductsreport.com](http://www.dentalproductsreport.com))

Die CAD/CAM-Bearbeitung der Zirkoniumdioxid-Rohlinge erfolgt im vorgesinterten Zustand. Nach dem Fräsprozess werden die um die Sinterschrumpfung größer hergestellten Gerüste dichtgesintert, wodurch sie ihre Endhärte erreichen. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit der Zentralfertigung, wodurch jedes Labor seine Datensätze einschicken kann, um so Kosten für die Fräsanlage zu sparen.

Das Einscannen des Modells erfolgt durch die Scaneinheit Lava™ Scan ST, welche mit einem lichteoptischen Abtastungssystem (Weißlichttriangulation) arbeitet. Am Computer erfolgt die Umsetzung der Daten in ein 3D-Modell und die Konstruktion des Gerüsts mit Hilfe der Software Lava™ CAD. Nach abgeschlossener Konstruktion am Computer (CAD), erfolgt der vollautomatische Fräsprozess. Entweder geschieht dies, wie beschrieben, im zentralen Fräszentrum oder mit der Fräseinheit Lava™ Form. Die durchschnittliche Fräszeit für eine dreigliedrige Brücke beträgt hierbei ca. 50 min. Vor dem Sintervorgang können die Gerüste nun mit einer der sieben zur Verfügung stehenden Gerüstfarben eingefärbt werden. Der Sinterprozess selbst erfolgt im Sinterofen Lava™ Therm. Nach abgeschlossenem Sinterprozess werden die Gerüste durch den Techniker aufgepasst und anschließend verblendet.

#### 2.4.5.5 Cercon® smart Ceramics (DeguDent, Hanau)

Das in dieser Studie verwendete Cercon®-System dient der Herstellung von Zirkoniumdioxidgerüsten für vollkeramischen Zahnersatz. Zu seinen Indikations-schwerpunkten im Front- und Seitenzahnbereich zählen Primärteleskope, Einzelzahnkronen, mehrgliedrige Brücken mit max. 47 mm anatomischer Länge (bei zwei Zwischengliedern zwischen den Pfeilerkronen) und Inlaybrücken. Verarbeitet werden vorgesinterte Zirkoniumdioxid-Rohlinge (Cercon® base), die nach erfolgtem Fräsvorgang dichtgesintert werden.

Der Scanvorgang erfolgt mit dem Cercon® eye Scanner. Dieser bildet die Basis der von der Firma DeguDent angebotenen CAD/CAM-Technologie. Die Abtastung des Modells erfolgt mittels eines Lasers. Der Scanner arbeitet nach dem sog. Laser-Lichtschnittverfahren. Dabei zeichnen zwei Matrixkameras den räumlichen Verlauf einer Laserlinie auf, die auf das rotierende Scanobjekt projiziert wird. Eine dritte Kamera liefert das Vorschaubild und dient der Referenzierung, also der Zuordnung der Punktwolken bei Scanvorgängen in mehreren Schritten. Mit dem Cercon® eye werden die gescannten Modell-Segmente direkt zueinander referenziert, das heißt, sie werden in ihrer tatsächlichen, lage-richtigen Position übernommen. Dadurch stellt sich das Modell auch im Scanbild 1:1 dar, so dass keine Abweichung von der Originalvorlage möglich ist.



Abb.10: Cercon® eye Scaneinheit (Quelle: [www.cercon-smart-ceramics.de](http://www.cercon-smart-ceramics.de))

Die virtuelle Konstruktion der Kronen- und Brückengerüste erfolgt mit der Systemsoftware Cercon<sup>®</sup> art. Durch die an den Arbeitsschritten eines Zahn-technikers orientierte Menüführung ist es leicht möglich, anatomische Gerüstgeometrien zu gestalten. Die Präparationsgrenzen werden automatisch erkannt und vorgeschlagen, können aber auch individuell festgelegt werden. Die neueste Softwaregeneration bietet auch vollanatomische Gerüstkonstruktionen an, die vollständig oder teilweise um die Schichtdicke der Verblendkeramik reduziert werden können. So erhält diese eine optimale Unterstützung durch das Gerüst. Eine Kombination von voll- oder teilanatomisch gestalteten Gerüsten ist ebenfalls möglich. Das Anatomietool (= virtuelles Wachsmesser) ermöglicht es, das Gerüst extendierend aufzubauen, okklusale Höcker zu betonen und Randbereiche zu verstärken. Eine speziell entwickelte Maus (Cercon<sup>®</sup> move) zur effizienten CAD-Konstruktion der Brückengerüste am PC erleichtert zusätzlich das Arbeiten.



Abb.11: speziell entwickelte Maus Cercon<sup>®</sup> move (Quelle: [www.zirkonoxid.de](http://www.zirkonoxid.de))

Mit dem ebenfalls in dieser Studie verwendeten 3shape D-700<sup>™</sup> Scanner bietet DeguDent (Hanau) eine weitere Möglichkeit an, die Modelldaten zu erfassen. Dieser Scanner wurde für das Abdruckscannen optimiert und scannt ebenfalls komplette Gipsmodelle. Er scannt alle Dentalgipse, wobei sich Kamera und Laser automatisch auf das zu scannende Objekt einstellen. Der Scanner arbeitet mit einem 2-Kamera- und 3-Achsen-Bewegungssystem. Diese 2 Kameras, verbunden mit einem reduzierten Winkel, ermöglichen es sowohl Abdrücke, als auch tiefe Kavitäten zu

scannen; ebenso Bereiche, in denen eine einzelne Kamera oftmals durch die Geometrie behindert wird. Darüber hinaus wird mit 2 Kameras auch die allgemeine Erfassung und Genauigkeit verbessert. Der 3-Achs-Scanner erleichtert die Positionierung des Objektes und das Scannen von Unterschnitten und Abdrücken. Die 3 Achsen ermöglichen es, das Objekt so zu drehen und zu verschieben, dass dieses aus allen Blickwinkeln gescannt werden kann. Das Scannen von Abdrücken, Inlays, kompletten Zahnbögen, Antagonistenmodellen, Wax-up-Brücken, auf das Präparationsmodell ausgerichtete Vorpräparationsmodelle, Erkennung von Implantatposition und -ausrichtung, individuelle Abutments und verschraubte Implantatbrücken per Wax-up ist ebenfalls möglich. Der Dental Designer™ ist die für diesen Scanner zur Verfügung stehende 3-D-CAD-Software zur virtuellen Kronen- und Brückenmodellation am Computer.



Abb.12: 3shape D-700™ Scanner (Quelle: [www.3shape.com](http://www.3shape.com))

Die Scan- und Fräseinheit Cercon® brain ermöglicht eine berührungsfreie Abtastung des Wachsmodells, Generierung eines entsprechenden Datensatzes, sowie das Fräsen des Zirkoniumdioxid-Rohlings. Die vorgesinterten Zirkoniumdioxid-Rohlinge werden in einer vorberechneten Überdimensionierung gefräst, um die spätere Sinterschrumpfung auszugleichen. Die sich unter einer transparenten Verschlussklappe befindliche Dreh- und Wendeeinheit dient der Aufnahme des Modellrahmens

auf der linken Seite, sowie der Aufnahme des Fräsrahmens auf der rechten Seite (Abb.13).



Abb.13: Dreh- und Wendeeinheit Cercon® brain (Quelle: [www.cercon-smart-ceramics.de](http://www.cercon-smart-ceramics.de))

Sie vollzieht die Bewegungen des Modellrahmens bei der Digitalisierung sowie die Bewegungen des Fräsrahmens beim Fräsvorgang . Innerhalb der Digitalisiereinheit wird das Wachsmo­dell mittels Laser abgetastet und vermessen. Die somit errechneten Daten werden der Fräseinheit zur Verfügung gestellt. Die Fräseinheit dient der Bearbeitung des Zirkoniumdioxid-Rohlings zunächst mit Hilfe eines Grob­frä­sers. Die Feinbearbeitung erfolgt im Anschluss mit Hilfe des Feinfrä­sers.

Mit dem Cercon® brain expert steht aktuell neben dem Cercon® brain eine zweite, weiterentwickelte Fräseinheit zur Verfügung. Die wichtigsten Neuerungen sind berührungslos gelagerte Linearmotoren, eine hochwertige Frässpindel, sowie ein direktes Messsystem zur ständigen Kontrolle und Justierung. Statt der bekannten zylinderförmigen Rohlinge arbeitet der Cercon® brain expert mit Zirkoniumdioxid-Disks. Diese scheibenförmigen Rohlinge (mit etwa dem Durchmesser einer handelsüblichen Compact Disk) stehen in vier Stärken mit bis zu 30 Millimetern zur Verfügung. So lassen sich nun auch 16-gliedrige Brücken aus einem Stück fertigen, ebenso hohe Implantat-Abutments und größere Brücken selbst bei starker Krümmung des Zahnbogens. Durch die Erweiterung der bestehenden Dreiachs-Frässtrategie lassen sich überdies jetzt Modellationen mit unter sich gehenden Bereichen in

Cercon-Zirkoniumdioxid umsetzen. Es stehen außerdem Kunststoffrohlinge für die Fertigung von hochwertigen Provisorien zur Verfügung.

Nach der Bearbeitung im kreideähnlichen und vorgesinterten Zustand erfolgt der Sinterprozess. Bei einer Temperatur von ca. 1350°C im Ofen Cercon® heat erhält das Gerüst seine Endhärte und endgültige Dimension.



Abb.14: Cercon® brain expert Fräsanlage  
(Quelle: www.cercon-smart-ceramics.de)

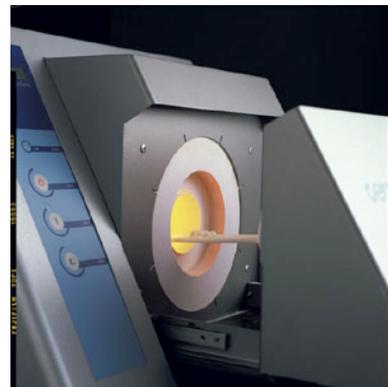


Abb.: 15: Sinterofen Cercon® heat  
(Quelle:www.cercon-smart-ceramics.de)

Die Zirkoniumdioxid-Rohlinge stehen in zwei Grundformen zur Verfügung. Die Cercon® base Rohlinge sind zylindrisch und werden mit der Fräseinheit Cercon® brain verarbeitet. Sie sind für Gerüste mit 12, 30, 38 sowie 47 mm anatomischer Länge einsetzbar. Cercon® base 47 ist speziell für Brückenkonstruktionen im Frontzahnbereich, selbst bei weiten Radien, sowie im Seitenzahnbereich bei starker Kieferkrümmung, konzipiert. Auch für Suprakonstruktionen in der Implantat-Technik kann dieser Rohling eingesetzt werden. Die Cercon® base disk Rohlinge liegen in Scheibenform vor. Der Werkstoff ist identisch zu den Cercon® base Rohlingen, jedoch erlauben sie, wie schon erwähnt, die Herstellung 16-gliedriger Brücken aus einem Rohling. Die gefrästen und dichtgesinterten Gerüste werden abschließend, nach der manuellen Aufpassung auf den Modellstumpf durch den Zahntechniker, mit einer Silikatkeramik verblendet.

## 2.5 Klinische Relevanz des marginalen Randspalts

Die marginale Passgenauigkeit, bzw. ein exakter marginaler Randschluss, ist ein entscheidender Faktor für den klinischen Langzeiterfolg von dentalen Restaurationen (Abbate et al., 1989). Unter einem exakten Randschluss versteht man einen möglichst nahtlosen Übergang des Kronenrandes in die angrenzende Schmelz- oder Zementzone des natürlichen Zahnes (Böttger et al., 1961; Rehberg, 1971). Diese Idealvorstellung ist aber technisch- und materialbedingt häufig nicht zu verwirklichen (Demmel, 1971; Felton et al., 1991). Zwar wird der vorhandene Randspalt zunächst durch den Zement mit, dem die Krone befestigt wird, verschlossen, doch bei zu großen Spalten zwischen dem Restaurationsrand und dem natürlichen Zahn besteht die Gefahr der Zerstörung des Zementfilms und einer Vergrößerung der bereits vorhandenen Spaltbreite (Jacobs und Windeler, 1991; Curtis et al., 1993). Der resultierende Spalt kann zur Plaqueadhäsion bzw. Infiltration von Bakterien und schließlich zur Entstehung einer Sekundärkaries führen, welche den primären Grund für Funktionsverluste bei festsitzenden prothetischen Restaurationen darstellt (Kerschbaum und Thie, 1981). Die Etablierung einer Gingivitis, oder im weiteren Verlauf einer marginalen Parodontitis, ist eine weitere mögliche pathologische Reaktion in Folge eines mangelhaften marginalen Kronenrandschlusses (Gropp und Schwindling, 1971; Spiekermann, 1986).

Im Rahmen einer von Kerschbaum (1986) durchgeführten Studie sind ca. 2/3 der Kronenversorgungen neu mit Kronen/Brücken therapiert worden. In einer weiteren Studie bei Leempoel (1987) sind sogar noch mehr, nämlich 3/4 der Überkronungen, neu angefertigt worden. Anhand dieser Ergebnisse lässt sich ableiten, dass neben Kronenrandkaries und parodontalen Läsionen auch Retentionsverluste als klinisch relevanter Neuversorgungsgrund eine erhebliche Rolle spielt. Die Häufigkeit eines Retentionsverlustes, bedingt durch die Zerstörung des Zementfilms (Dezementierung), wird in der Literatur unterschiedlich (0-14%) angegeben. Da ausreichend retentive Präparationen selten, und somit erhöhte Randspaltwerte häufig sind (Nordlander, 1988), ist auch der Retentionsverlust bei Gusskronen ein relativ häufiger Versagensgrund.

Die marginale Spaltbreite sollte also als relevanter klinischer Parameter mit seinen Toleranzgrenzen ermittelt werden. Die Evaluation eines konkreten Richtwertes für den marginalen Randspalt gestaltete sich jedoch bislang als schwierig. Im Allgemeinen gilt ein Randspalt von ca. 50  $\mu\text{m}$  als klinisch hervorragend, während Werte von bis zu 200  $\mu\text{m}$  durchaus üblich sind (Kerschbaum, 1995). Andere Autoren sehen bis zu diesem Wert in Teilbereichen des Kronenrandes ebenfalls keine negativen Folgen (Lenz und Körber, 1968; Marxkors, 1980). Mehrere Studien an bereits eingesetzten Kronen ergaben Spaltmaße, die zwischen 70 und 647  $\mu\text{m}$  schwankten, also von „sehr gut“ bis „ungenügend“ (Kerschbaum et al., 1990; Kerschbaum und Porschen, 1998; Kerschbaum und Faber, 2001). Die in der Literatur größte Akzeptanz findet die von McLean und von Frauenhofer (1971) postulierte klinische Toleranz von bis zu 120  $\mu\text{m}$ , welche in einer Studie an über 1.000 Restaurationen in einem Zeitraum von fünf Jahren ermittelt wurde. Die Genauigkeit aktueller Herstellungsverfahren von Kronen und Brücken liegt in diesem Bereich. Dies wurde unter anderem für die Verblend-Metall-Keramik (VMK<sup>®</sup>)-Technologie (Limkangwalmongkol et al., 2007), als auch für mittels CAD/CAM-Verfahren hergestellten vollkeramischen Zahnersatz (Bindl und Mörmann, 2007; Tinschert et al., 2001) gezeigt. Bei Vollgusskronen bewegen sich die maximalen Spaltbreiten zwischen 0-70  $\mu\text{m}$  (Windecker und Ohle, 1971), wobei auch Spaltgrößen von im Mittel nur 20  $\mu\text{m}$  möglich sind (Rehberg, 1971).

## **2.6 Präparation:**

Die Voraussetzung für eine hohe Passgenauigkeit von prothetischen Restaurationen ist eine nach aktuellen Standards durchgeführte Stumpfpräparation und eine klar definierte Präparationsgrenze. Dies legt die Basis für einen langfristigen Erfolg der Versorgung. Oftmals stehen dabei technische und biologische Anforderungen im direkten Widerspruch zueinander. Unabhängig von der Präparationsart oder Präparationstechnik sollte das Ausmaß des Zahnhartsubstanzabtrages eine Restdentinstärke von ca. 0,7mm nicht unterschreiten, um das Risiko einer

irreversiblen Pulpenschädigung zu minimieren (Ottl und Lauer, 1996; Polanzky et al., 1998). Nach Kimmel (1986) lassen sich für Kronen, bezüglich der zervikalen Randgestaltung, prinzipiell vier Typen der Präparation unterscheiden: Tangentialpräparation, Hohlkehlpräparation, Stufenpräparation und die Stufenpräparation mit Abschrägung (Abb. 2.16).

### **2.6.1 Tangentialpräparation**

Diese Art der Präparation ist zwar technisch sehr leicht durchführbar, jedoch ist die Präparationsgrenze oft schwer zu erkennen und bietet überdies nur ungenügende Abstützung für das Kronengerüst im marginalen Randbereich. Der geringe Substanzabtrag im Zahnhalsbereich bietet nicht genug Platz für prothetische Restaurationen. Eine zervikale Überkonturierung des Zahnersatzes ist häufig die Folge. Logische Konsequenzen sind eine Irritation der marginalen Gingiva durch vermehrte Plaqueakkumulation, da eine natürliche Selbstreinigung durch die Zunge oder Wange eingeschränkt ist (Spiekermann, 1986). Diese Art der Präparation wird heute nur in Ausnahmefällen (tiefe Wurzelkaries o.ä.) eingesetzt, da sie oft zu Passungsungenauigkeiten im Kronenrandbereich führt (Lehmann und Hellwig, 1998).

### **2.6.2 Hohlkehlpräparation:**

Bei diesem Präparationstyp wird der Zahn zirkulär mit einem torpedoförmigen Diamanten beschliffen, wodurch eine zirkuläre Hohlkehle angelegt wird. Bedingt durch die einfache Durchführbarkeit ist diese Art der Präparation weit verbreitet (Lehmann und Hellwig, 1998). Abgesehen von vereinzelten Variationen bezüglich der verwendeten Schnitttiefe gilt sie aktuell als Standardpräparationsform. Sie bietet neben einer deutlich erkennbaren Präparationsgrenze zervikal genügend Platz zur Aufnahme von prothetischen Restaurationen.

### 2.6.3 Stufenpräparation:

Die zirkuläre Stufe führt zu einer deutlichen Präparationsgrenze und einem ausreichenden zervikalen Platzangebot (Lehmann und Hellwig, 1998). Sie wird daher weniger bei Versorgungen mit Zirkoniumdioxid, sondern eher bei silikatkeramischen Restaurationen eingesetzt, um die nötige Abstützung des Materials im marginalen Randbereich zu gewährleisten. Durch den bei dieser Präparationsform erforderlichen hohen Substanzabtrag im Zervikalbereich kann es zu Reizungen der Pulpa kommen, was mit einem erhöhtem Risiko für einen Vitalitätsverlust einhergeht (Hugel, 1970; Polanzky et al., 1998).

### 2.6.4 Stufenpräparation mit Abschrägung:

Hier wird die zirkulär angelegte Stufenpräparation noch zusätzlich abgeschrägt, um den Zahn im zervikalen Bereich besser zu fassen. Zervikal soll so zusätzlich ein besserer Randschluss als bei der reinen Stufenpräparation erzielt werden (Lehmann und Hellwig, 1998). In der Praxis ist jedoch eine saubere und gleichmäßige Abschrägung schwer zu realisieren, weshalb diese Präparationsform heute eine eher reduzierte klinische Relevanz besitzt.

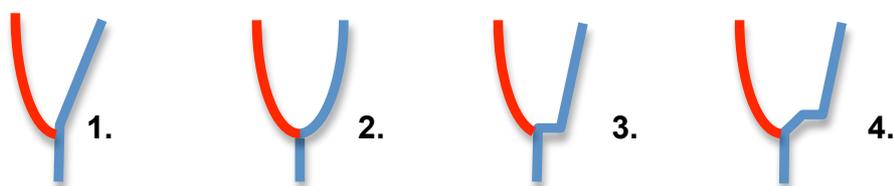


Abb.16: Tangentialpräparation, 2. Hohlkehlpräparation, 3. Abgerundete Stufenpräparation, 4. Stufenpräparation mit Abschrägung

### 2.6.5 Präparationstechniken für vollkeramischen Zahnersatz

Die anzuwendenden Präparationsformen, bzw. Präparationstechniken, sind für Metallkeramikkronen, Vollgusskronen und Vollkeramikkronen zwar prinzipiell verschieden, jedoch gibt es auch eine Anzahl von übereinstimmenden Richtlinien. Die Retentions- und die Widerstandsform sind für Vollkeramikkronen, Vollgusskronen und Metallkeramikkronen unterschiedlich. Für eine Vollguss- oder metallkeramische Restauration wird in der Regel eine Hohlkehlpräparation verwendet. Sie ist in diesem Indikationsbereich anderen Präparationsformen, wie z.B. der Tangentialpräparation, überlegen (Marxkors, 1988; Eichner, 1979; McLean, 1978). Der Substanzabtrag bei der Vollgusskrone sollte 0,8mm zirkulär und 1,2 mm okklusal betragen. Der Konvergenz- oder Konuswinkel, das heißt die Neigung der vertikalen Flächen zur Kronenachse, beträgt hierbei  $3^\circ$ . Für VMK<sup>®</sup>-Restaurationen ist ein zirkulärer Substanzabtrag von ca. 1,2 mm und okklusal von ca. 1,5 mm nötig. Genau wie bei der Vollgusskrone wird auch hier die Größe des Konuswinkels mit  $3^\circ$  beschrieben (Strub et al., 1999). Bei vollkeramischen Versorgungen war stets ein höherer Substanzabtrag erforderlich, um die Frakturgefahr zu minimieren. Als Folge daraus erhöhte sich das Risiko eines Vitalitätsverlustes des Zahnes (Fenske et al., 1999; Polanzky et al., 1998). Bedingt durch aktuelle Hochleistungskeramiken mit einer hohen Endhärte, wie dem Zirkoniumdioxid, ist der Substanzabtrag für eine vollkeramische Versorgung vergleichbar mit dem einer metallkeramischen Restauration (Stappert, 2001). Für vollkeramische Restaurationen wird als Präparationsform entweder eine innen abgerundete Stufenpräparation oder die ausgeprägte Hohlkehlpräparation mit einem Konuswinkel von maximal  $10^\circ$  empfohlen (de Rijk und Scherrer, 1996; Meier et al., 1995; Wiskott et al., 1996 und 1997). Schnitttiefen von 0,8-1,2 mm sind zirkulär mittlerweile vollkommen ausreichend, was das klinische Einsatzspektrum vollkeramischer Versorgungen erheblich erweitert.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Herstellung der Masterstümpfe

Die Originalstümpfe (Masterstümpfe) wurden analog zur Präparation eines Oberkiefer-Prämolaren für eine vollkeramische Restauration aus einer Metalllegierung (Pallag<sup>®</sup> M, DeguDent, Hanau) hergestellt. Es wurde eine innen abgerundete, zirkuläre Stufe mit einer Schnitttiefe von 1mm als Präparationsgrenze verwendet. Der variable Parameter beider Stümpfe ist der unterschiedliche okklusale Öffnungswinkel von 125° (Masterstumpf 1) und 150° (Masterstumpf 2), woraus sich unterschiedliche axiale Stumpfhöhen ergaben. Dieser Winkel wird am Schnittpunkt der zentralen Höckerabhänge des tragenden Höckers (palatinal) und des Scherhockers (vestibulär) in der Zentralfissur gemessen (siehe Abb. 3.1).

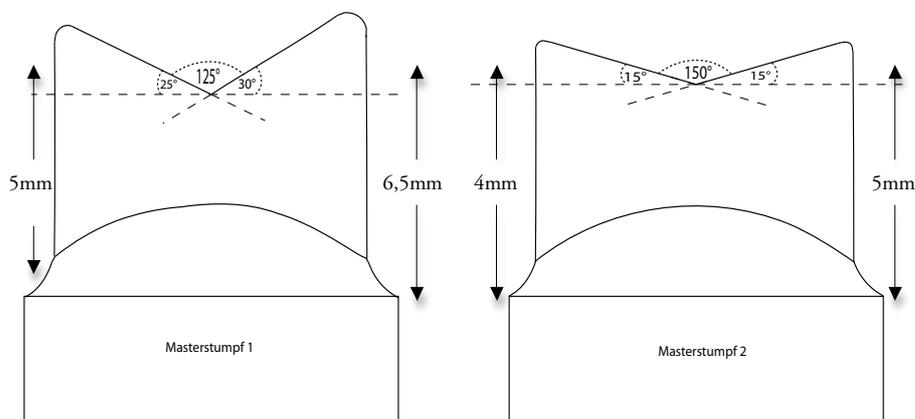


Abb. 17.: Die beiden aus Metall gefertigten Masterstümpfe mit den unterschiedlichen okklusalen Öffnungswinkeln

Das Ziel war es, einen Stumpf zu verwenden, der den aktuellen klinischen und anatomischen Anforderungen hinsichtlich der Präparation für Zirkoniumdioxid-basierende Restaurationen entspricht. Die zirkuläre Hohlkehle verläuft

dementsprechend approximal weiter koronal als vestibulär und palatinal (siehe Abb. 3.1.). Insgesamt liegt eine leicht konische Stumpfform vor, mit einem Konuswinkel von insgesamt  $4^\circ$  (Addition aus Konuswinkel vestibuläre Höckerwand und palatinale Höckerwand, jeweils  $2^\circ$  Neigung). Die anatomische Grundform des Zahnes 25 sollte in groben Zügen noch erkennbar sein. Die Präparationsflächen sind glatt und abgerundet, sodass sich keine negativen Auswirkungen auf den späteren Scan-, Reproduktions- oder Herstellungsprozess, im Sinne von scharfen Innenkanten oder unter sich gehenden Bereichen, ergeben sollten.

Für diesen Versuch wurden zunächst zwei Frasaco-Zähne ausgewählt. Es handelte sich hierbei jeweils um den Prämolare 25.

Mit einem parallelen und vor Kopf abgerundeten, 1 mm starkem, diamantierten Schleifkörper wurde die vorgesehene Präparationstiefe parallel zur Zahnachse im Bereich der Zahnkrone markiert. Okklusal wurden ebenfalls mit einem diamantierten Schleifkörper ( $\varnothing$  1.5mm) Markierungsrillen angebracht.

In einem Fräsgerät wurden die Zähne anschließend mit einem konischen, vor Kopf  $120^\circ$  abgerundeten Hartmetallfräser zirkulär entsprechend der Markierungen und entsprechend dem Zahnfleischverlauf präpariert. Es wurde so eine zirkuläre, akzentuierte Hohlkehle mit einer Schnitttiefe von 1 mm angelegt. Es erfolgte nun die Reduzierung der Okklusalfächen, wobei die schon beschriebenen unterschiedlichen interokklusalen Winkel ( $125^\circ$  und  $150^\circ$ ) der beiden Stümpfe eingestellt wurden. An der Präparationsgrenze wurden die Stümpfe gekürzt und mit Fräswachs ergänzt, so dass mit einem in einem Parallelometer eingespanntem Wachsschaber die Stumpfsöckel in Richtung apikal parallelisiert werden konnten.

Die Stümpfe wurden mit der Präzisionsabformmasse Adisil<sup>®</sup> Rapid 1:1 (SILADENT Dr. Böhme & Schöps GmbH, Goslar) abgeformt und die so entstandenen Negativformen mit einer dünnen Schicht rückstandslos verbrennenden Modellierkunststoff (GC Pattern Resin LS, GC Europe N.V., Leuven, Belgien)

bestrichen. Der übrige Bereich wurde mit Gusswachs gefüllt. Am Ende des Schaftes der Stümpfe wurde nun eine rechteckige Fußplatte modelliert. Die Anstielung der zwei Gussobjekte erfolgte nach der Modellgusstechnik, wonach sie in einer phosphatgebundenen Präzisionseinbettmasse (rema<sup>®</sup> dynamic S, Dentaurum, Ispringen) eingebettet wurden. Für den Guss der Rohlinge bei ca. 1040°C wurde die Nicht-Edelmetalllegierung Palliag<sup>®</sup> M, (DeguDent, Hanau) verwendet.

Nach dem Ausbetten der Stümpfe, dem Abstrahlen und Abtrennen vom Gusskanal wurden die Stümpfe mit einem konischen und vor Kopf abgerundeten Hartmetallfräser im Fräsgerät auf 2° axiale Neigung nachgearbeitet. Nachdem die Stümpfe zikulär gefräst waren und eine innen abgerundete Stufe mit einer Schnitttiefe von 1mm besaßen, erfolgte die Politur bzw. Glättung mit einem Degusit-Stein am Fräsgerät. Nach erfolgreicher Glättung und Beseitigung aller scharfen Kanten und Ecken wurden die Stümpfe hochglanzpoliert.

### **3.2 Herstellung der Meistermodelle (Replika)**

Zur Abformung der hergestellten Masterstümpfe wurde ein Polyetherabformmaterial (Impregum<sup>™</sup> Penta<sup>™</sup>, 3M ESPE AG, Seefeld) verwendet. Polyetherabformmassen zeichnen sich, wie die additionsvernetzten Silikone, durch hohe Zeichnungsschärfe und dimensionsgetreue Wiedergabe aus, sind jedoch in der Endhärte den Silikonen überlegen. Polyetherabformmassen heben sich ganz besonders durch ihre Zuverlässigkeit bei der Abformung und ihre äußerst hohe Passgenauigkeit der späteren Restauration von anderen Materialklassen ab. Die Abformung erfolgte mittels Einphasentechnik. Diese Technik kommt meist bei Materialien mit geringer Viskosität zum Einsatz. Entsprechend dieser Methode wurde das Material zunächst an den metallischen Stümpfen mit einer Spritze vorgelegt. Anschließend wurde ein mit derselben Abformmasse beschickter individualisierter Löffel über den abzuformenden Stumpf gestülpt, um homogene Schichtdicken des Abformmaterials

zu gewährleisten. Nach dem Abbinden der Abformmasse wurde der Masterstumpf dem Abdruck entnommen.

Die Erstellung des jeweiligen Meistermodells (Replika) erfolgte aus Superhartgips. In dieser Studie wurde hierzu GC FujiRock® EP (Superhartgips der Klasse 4, GC Europe N.V., Leuven, Belgien), welcher unter Vakuum angerührt wurde, verwendet. Das Anmischverhältnis dieses tixotropen Gipses liegt bei 100 g Pulver zu 20 ml Wasser. Laut Herstellerangaben beträgt die Abbindexpansion ca. 0,08 % und die Druckfestigkeit 35 MPa. Das Ausgießen mit Gips der einzelnen Abdrücke wurde auf einer Rüttelplatte durchgeführt, um ein gutes Fließverhalten des Gipses zu gewährleisten. Das Ausgießen erfolgte erst nach der vom Hersteller des Abformmaterials vorgegebenen Rückstellzeit von mindestens 30 Minuten. Vor dem eigentlichen Ausgießen wurde die hydrophobe Polyethermasse mit Waxit (DeguDent, Hanau), einem Oberflächenentspannungsmittel für Wachs, Silikone und Polyethermassen, zur Verbesserung der späteren Modelloberflächen, eingesprüht, um ein gutes Ausfließen des Abdrucks mit Gips zu ermöglichen. Nach dem Erstarren des Gipses wurden die Replikastümpfe dem Abdruck entnommen und die Sockel getrimmt. (siehe Abb.18).



Abb.18: Meistermodelle (Replika) aus Superhartgips

### **3.3 Herstellung der Kronengerüste**

Die Replikastümpfe wurden analog zu den spezifischen Hersteller-Empfehlungen mit dem jeweiligen System digitalisiert und die Restauration mittels CAD-Software erstellt.

#### **3.3.1 Scanprozess Cercon® eye Scanner :**

Der Scanprozess erfolgte beim Cercon® eye Scanner (DeguDent, Hanau) berührungslos mittels einer Laserlinie. Der Scanner besteht aus einer Dreheinheit, die den Modelltisch aufnimmt, einem Laser, zwei Matrixkameras zur Auswertung der Laserlinie sowie einer dritten Matrixkamera zur Positionsbestimmung der Einzelstümpfe. Der Scanner arbeitet nach dem Laser-Lichtschnittverfahren. Bei dieser Methode zeichnen die zwei Matrixkameras den räumlichen Verlauf der Laserlinie auf, die auf das rotierende Scanobjekt auf dem Modellteller projiziert wird. Eine dritte Kamera liefert das Vorschaubild und dient der Referenzierung. Eine genaue Zuordnung der Punktwolken bei Scanvorgängen in mehreren Schritten wird so möglich. Zum Scannen wurden nun die Replikastümpfe einzeln in den zum Scanner passenden Modellhalter eingebracht und im Zentrum der Dreheinheit des Scanners platziert. Nach dem Schließen der Abdeckhaube wurde der Scanvorgang über die zugehörige CAD-Software Cercon® art gestartet. Der Scan lief nun für jeden zu erfassenden Replikastumpf vollautomatisch ab. Nach abgeschlossenem Scanvorgang wurden die Kronengerüste am Computermonitor mit Hilfe der CAD-Software Cercon® art 1.3. (DeguDent, Hanau) modelliert.

#### **3.3.2 Scanprozess 3Shape D-700™ Scanner**

Beim 3Shape D-700™ Scanner (DeguDent, Hanau) verläuft der Digitalisierungsprozess nach einem anderen Prinzip. Mit einem Laser werden Flächen auf den zu

scannenden Gegenstand, in diesem Fall auf einen der Replikastümpfe, projiziert, die mit zwei hochauflösenden Digitalkameras erfasst werden. Die Bildverarbeitungssoftware des 3shape erstellt automatisch aus den gewonnenen Daten ein 3-D-Modell. Der zu scannende Replikastumpf wurde vor dem Prozess auf einem zu diesem Scansystem gehörenden Modellträger platziert und anschließend auf dem Modelltisch des Scanners fixiert. Der Scanvorgang konnte nun über die CAD Software 3shape Dental Designer™ (DeguDent, Hanau) gestartet werden.

Die sich anschließende computergestützte Modellation der Kronengerüste erfolgte ebenfalls über den 3shape Dental Designer™ (DeguDent, Hanau).

### **3.3.3 Pilotstudie :**

Die Parameter zur computergestützten Modellation der Gerüste wurden in einer Pilotstudie ermittelt. In Kleinserien von 4x4 Kronenkäppchen (jeweils vier Käppchen von den beiden Masterstümpfen, jeweils auf beiden Scansystemen digitalisiert) ging es um die Ermittlung der Einstellgrößen für den Zementspalt und die Größe der vom „virtuellen“ Distanzlack bedeckten Stumpfoberfläche, der sog. „Spacerfläche“. Beim 3Shape DentalDesigner™ entspricht letzterer Parameter dem „Zementspalt“, welcher werkseitig auf 15 µm voreingestellt war und in dieser Studie nicht verändert wurde. Die Pilotserie von insgesamt 16 Gerüsten wurde über die beschriebenen Systeme digitalisiert und via zentraler Netzwerkfertigung (Compartis®, DeguDent, Hanau-Wolfgang) hergestellt. Der Zementspalt wurde für den Cercon® eye Scanner mittels Cercon® art 1.3. (DeguDent, Hanau) auf 30 µm eingestellt, bei einer Spacerfläche von 80%, was den Werkseinstellungen entspricht. Für den 3shape D700™ Scanner (DeguDent, Hanau) wurde der Zementspalt bei den vom Werk voreingestellten 40 µm belassen. Es zeigte sich anhand dieser Pilotserie, dass diese unter Werksangaben gefertigten Gerüste sich nicht ohne ein Aufpassen durch einen Techniker auf die beiden Masterstümpfen aufbringen ließen, da die Friktion der Gerüste bei den so eingestellten Parametern um ein vielfaches zu hoch war. Der

Zementspalt wurde daher für die eigentliche Studie für beide Systeme auf 60 µm erhöht und die Spacerfläche für den Cercon® eye Scanner auf 90% erweitert, um sinnvolle Messungen ohne das vorherige Aufpassen durch einen Zahntechniker zu ermöglichen.

### 3.3.4 Fräs- und Sinterprozess :

Die Fräsung und Sinterung der eingescannten Replikastümpfe erfolgte für den Cercon® eye Scanner und den 3Shape-Scanner (beide DeguDent, Hanau) jeweils via Netzwerkfertigung in einer zentralen Fertigungsstelle (Compartis®, Hanau-Wolfgang). In einer dritten Serie für den Cercon® eye Scanner wurde der Fräsprozess mittels der kürzlich auf dem Markt erschienen Cercon® brain expert Fräseinheit (DeguDent, Hanau).

### 3.3.5 Einteilung der Messserien :

Pro geometrischen Stumpfparameter sollten für jedes System 20 Restaurationen erstellt werden (je zwei Parameter für 2 Serien, also 80 Stümpfe insgesamt). Es ergaben sich anhand der zu untersuchenden Parameter folgende acht Messserien:

|    | Interokklusaler Winkel | Scansystem    | Art der Fertigung    | Aufpassung durch Zahntechniker |
|----|------------------------|---------------|----------------------|--------------------------------|
| 1. | 125°                   | Cercon® eye   | Compartis®           | Nicht erfolgt                  |
| 2. | 150°                   | Cercon® eye   | Compartis®           | Nicht erfolgt                  |
| 3. | 125°                   | 3shape D-700™ | Compartis®           | Nicht erfolgt                  |
| 4. | 150°                   | 3shape D-700™ | Compartis®           | Nicht erfolgt                  |
| 5. | 125°                   | Cercon® eye   | Cercon® brain expert | Nicht erfolgt                  |
| 6. | 150°                   | Cercon® eye   | Cercon® brain expert | Nicht erfolgt                  |
| 7. | 150°                   | Cercon® eye   | Compartis®           | Erfolgt                        |
| 8. | 150°                   | Cercon® eye   | Cercon® brain expert | Erfolgt                        |
| 9. | 150°                   | 3shape D-700™ | Compartis®           | Erfolgt                        |

Abb.19: Einteilung der Messserien

So konnte zum einen im Vergleich der Serien 1. und 2. zu 3. und 4. die Genauigkeit des Herstellungsprozesses in Abhängigkeit vom jeweiligen Scansystem evaluiert werden. Zum anderen konnte bei einem Vergleich der Serien 1. und 2. zu 5. und 6. die Genauigkeit des Fräsprozesses bei zentraler, bzw. lokaler Fertigung verglichen werden. Die Vermessung der Kronengerüste erfolgte zunächst für alle hergestellten Restaurationen ohne ein manuelles Aufpassen durch einen Zahntechniker. In einem zweiten Schritt wurden die Serien 2., 4. und 6. durch einen Zahntechnikermeister manuell auf dem Masterstumpf 2 (interokklusaler Winkel: 150°) aufgepasst, wodurch sich die Messserien 7., 8. und 9. ergaben. Der Vorgang des Aufpassens sollte dabei nicht länger als 15 min. pro Restauration betragen. Das manuelle Aufpassen selbst wurde ohne die Unterstützung eines Mikroskops durchgeführt. Als rotierende Instrumente wurden feinkörnige, zylindrische Diamantschleifer ( $\varnothing$  0,8mm) in einem EWL K9 Handstück (KAVO, Biberbach) unter Wasserkühlung eingesetzt. Das Einschleifen der Gerüste erfolgte hierbei nur im Bereich der innen gelegenen Friktionswände und wurde mit Okklusions-Spray (SD-Fit Control, Servo-Dental, Hagen-Halden) kontrolliert. Eine Aufpassung durch Einschleifen im Bereich des Restaurationsrandes wurde nicht durchgeführt. Dies sollte zum einen anhand der Ergebnisse die Notwendigkeit des manuellen Aufpassens der Restauration durch einen Zahntechniker im Herstellungsprozess einer CAD/CAM- gefertigten, ZrO<sub>2</sub>-basierten, vollkeramischen Versorgung evaluieren. Zum anderen diente es der Vermeidung einer zu großen Streubreite der gemessenen Randspalten um eine mögliche Aussage zu präzisieren.

### **3.4 Messungen**

Die Vermessung des Randspaltes erfolgte mittels digitalfotografisch erfasster Bilder. Um eine annähernd senkrechte Lage der Kamera zur Stumpfachse zu erreichen und geometrische Verzerrungen durch die Optik zu minimieren, wurde der Stumpf auf einer Rotationsachse befestigt und der relevante Bereich vor jeder Aufnahme vor das Abbildungszentrum des Objektivs bewegt. Die Rotationsachse wurde mit einer Scala,

einer Fixierung für gleichmäßigen Anpressdruck der Gerüste und einem Feinvorschub versehen, um jeweils im Winkelabstand von  $10^\circ$  mit einer Genauigkeit von  $1^\circ$  ein Foto aufnehmen zu können. Zur Vermessung wurde der Umfang des Sockels der Masterstümpfe errechnet und in 24 gleichgroße Abschnitte eingeteilt, wodurch sich entlang der Präparationsgrenze 24 Messpunkte pro Stumpf, mit einem Abstand von jeweils  $15^\circ$ , ergaben. Um Verzerrungen durch ggf. schräge Aufnahmewinkel in Richtung Zahnachse zu minimieren, verfügt das Gerät zusätzlich über die Möglichkeit, den Winkel der Zahnachse um jeweils  $15^\circ$  in der Abbildungsachse zu verändern (siehe Abb. 20).



a.)



b.)

Abb.20: a.) Fixierungsapparatur zur Aufnahme der Kronengerüste  
b.) Nahaufnahme der Rotationsachse

Die Bilder von jedem einzelnen Messpunkt wurden mit einem Leica EZ4D Auflichtmikroskop (Leica-Microsysteme, Wetzlar) mit integrierter Digitalkamera Nikon

D90 (Nikon, Düsseldorf) unter 35facher Vergrößerung senkrecht zur Präparationsgrenze aufgenommen. Diese so entstandenen Bilder wurden mittels der Software Leica FireCam V.3.3.1. (Leica-Microsysteme, Wetzlar) direkt auf einen Computer aufgezeichnet. Die eigentliche Vermessung des auf den Bildern sichtbaren Randspaltes erfolgte mit dem Werkzeug „Messwerkzeug“ in dem Programm Adobe Photoshop CS4 (Adobe, München). Das Messwerkzeug in erwähntem Programm, sowie die gesamte Einheit Mikroskop-Kamera-Computer wurden mittels mehrerer Probeaufnahmen eines Motic Calibration Slides (Motic-Europe, Barcelona, Spanien) kalibriert und diese Aufnahmen zur späteren Reproduzierbarkeit archiviert. Bei der Vermessung wurde zudem darauf geachtet, dass der Winkel, in dem der Abstand gemessen wurde, immer 90° zur Präparationsgrenze beträgt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Messserie 1:

Parameter:

- Okklusaler Öffnungswinkel : 125°
- Scansystem: Cercon® eye
- Fertigung: Netzwerkfertigung Compartis®
- Keine Aufpassung durch Zahntechniker.

Die Untersuchung der Messpunkte des Kronenrandes innerhalb dieser Messreihe ergaben 480 Messwerte insgesamt (je 24 Messpunkte bei 20 Kronengerüsten). Beim Vergleich der einzelnen Messpunkte und Restaurationen untereinander stellte sich bei einer Standardabweichung von 37,85  $\mu\text{m}$  eine relativ große Streuung der Messwerte heraus. Dies ist sowohl beim Vergleich der Messpunkte eines Gerüstes als auch beim Vergleich der einzelnen Gerüste untereinander festzustellen. Die größten Werte überschritten die klinisch geforderte Toleranz von 120  $\mu\text{m}$  teilweise deutlich. Auffällig war hierbei, dass diese Messpunkte mit einer großen Häufigkeit im Bereich der vestibulären und oralen Flächen (Messpunkte 8 und 9 im vestibulären Bereich, Messpunkte 20 und 21 im oralen Bereich) aller gemessenen Kronengerüste zu finden waren.

Der Mittelwert für alle 480 Messpunkte insgesamt betrug 65,93  $\mu\text{m}$ . Der kleinste Mittelwert, bezogen auf die einzelnen Gerüste, lag bei 46,21  $\mu\text{m}$ , während der größte mit 98,72  $\mu\text{m}$  deutlich höher war, aber die geforderte klinische Toleranz von 120  $\mu\text{m}$  nicht überschritt.

| Kronengröße                      | e-101      | e-102      | e-103      | e-104      | e-105      | e-106      | e-107     | e-108      | e-109      | e-110      | e-111      | e-112      | e-113      | e-114      | e-115      | e-116      | e-117     | e-118      | e-119      | e-120      | MW Messp.  | Sid.-Abw. Messp.              |          |  |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------------------------|----------|--|
| Messpunkte                       | 1          | 771,12600  | 49,29290   | 38,53960   | 40,86970   | 49,26390   | 49,26390  | 31,73850   | 43,31190   | 45,56720   | 70,86130   | 45,84850   | 47,66180   | 34,00550   | 54,56170   | 27,29850   | 31,81940  | 58,94290   | 36,55170   | 47,38780   | 13,50148   |                               |          |  |
|                                  | 2          | 79,76580   | 57,39720   | 43,31190   | 139,67970  | 63,84280   | 51,60150  | 62,70420   | 45,84850   | 53,36020   | 78,69750   | 103,43280  | 69,89790   | 74,26390   | 90,13520   | 78,69750   | 67,13780  | 101,38620  | 64,48210   | 69,78790   | 23,65290   |                               |          |  |
|                                  | 3          | 101,38620  | 178,29480  | 58,38020   | 180,35920  | 73,81060   | 61,87870  | 44,01880   | 73,81060   | 39,13570   | 90,74030   | 112,17080  | 59,63740   | 92,47910   | 30,83630   | 78,17950   | 48,04020  | 69,83970   | 100,62470  | 64,48210   | 80,10130   | 39,53388                      |          |  |
|                                  | 4          | 82,40220   | 54,45670   | 63,84070   | 131,19660  | 66,36710   | 59,11720  | 50,69330   | 68,53060   | 95,17240   | 65,30800   | 72,86360   | 59,63740   | 63,68950   | 27,58070   | 19,27420   | 48,46450  | 64,12210   | 107,15200  | 57,08290   | 68,90070   | 24,82309                      |          |  |
|                                  | 5          | 122,57590  | 81,73950   | 104,38230  | 165,88190  | 96,18320   | 84,00290  | 79,86340   | 90,79420   | 77,61400   | 89,13850   | 143,27290  | 68,61360   | 86,62380   | 41,69890   | 115,97480  | 96,18320  | 95,64670   | 104,67670  | 95,64680   | 95,99574   | 25,99603                      |          |  |
|                                  | 6          | 115,974360 | 65,78320   | 83,911070  | 163,28970  | 77,909120  | 59,11720  | 72,86360   | 106,647320 | 47,82340   | 68,53060   | 140,848870 | 65,900420  | 74,86660   | 45,34070   | 84,15590   | 86,890710 | 127,681460 | 106,53080  | 105,485460 | 88,611731  | 30,17522                      |          |  |
|                                  | 7          | 158,83890  | 63,84070   | 111,10800  | 206,61190  | 91,13420   | 88,87870  | 93,19730   | 93,19730   | 122,441070 | 78,271450  | 103,244810 | 147,79320  | 79,86340   | 98,427980  | 63,638950  | 86,62380  | 105,167980 | 118,23450  | 100,39220  | 104,89854  | 33,00474                      |          |  |
|                                  | 8          | 63,63890   | 98,427980  | 120,68790  | 169,28760  | 117,97320  | 102,24330 | 99,852780  | 163,242510 | 97,588130  | 109,407190 | 152,49990  | 97,588130  | 116,417110 | 77,611400  | 108,912350 | 98,140090 | 77,611400  | 122,944230 | 86,26680   | 109,009632 | 26,63067                      |          |  |
|                                  | 9          | 24,937420  | 72,38280   | 56,678130  | 135,268140 | 32,459740  | 64,122150 | 49,87480   | 69,59340   | 36,905320  | 39,593130  | 69,59340   | 39,593130  | 82,116110  | 46,23950   | 48,46450   | 36,55570  | 34,67970   | 64,48210   | 32,061070  | 54,20035   | 24,21786                      |          |  |
|                                  | 10         | 29,471500  | 55,78250   | 25,34870   | 88,53290   | 13,60230   | 38,60630  | 29,471500  | 29,471500  | 41,80980   | 36,905320  | 15,209200  | 48,86790   | 30,246810  | 14,38710   | 39,593130  | 16,504900 | 11,559890  | 11,335190  | 31,410920  | 31,410920  | 18,41602                      |          |  |
|                                  | 11         | 36,272610  | 36,55570   | 34,00570   | 84,15590   | 45,397460  | 34,00570  | 31,73850   | 55,78250   | 36,343460  | 49,26390   | 47,823430  | 36,343460  | 45,397460  | 39,13570   | 38,06630   | 27,20460  | 30,246810  | 15,80720   | 29,818570  | 39,308150  | 13,43359                      |          |  |
|                                  | 12         | 44,541640  | 29,471500  | 38,60630   | 70,314780  | 83,880410  | 40,869670 | 45,34070   | 45,34070   | 43,31190   | 47,60780   | 40,86960   | 34,005570  | 31,81940   | 38,530650  | 22,670380  | 45,397460 | 18,136310  | 45,56720   | 40,80660   | 29,471500  | 41,85522                      | 14,30648 |  |
|                                  | 13         | 94,051170  | 52,191190  | 48,091610  | 78,697510  | 85,820570  | 86,890710 | 86,890710  | 65,900420  | 61,878750  | 70,424440  | 59,334450  | 55,160150  | 37,390030  | 44,018830  | 87,598310  | 43,311940 | 82,15740   | 73,426300  | 55,160150  | 66,87875   | 17,05501                      |          |  |
|                                  | 14         | 35,846770  | 50,69330   | 45,906700  | 84,127560  | 85,464380  | 62,231750 | 86,338600  | 72,049310  | 66,019580  | 65,432550  | 66,678640  | 62,70420   | 42,53250   | 51,147940  | 75,362340  | 58,112250 | 108,938150 | 73,182830  | 61,672710  | 67,040102  | 17,27125                      |          |  |
|                                  | 15         | 26,53620   | 39,13570   | 33,109790  | 48,83670   | 54,505550  | 25,849090 | 23,60950   | 23,60950   | 57,354840  | 53,888560  | 40,871820  | 31,578180  | 42,597550  | 39,593130  | 40,173580  | 73,55180  | 47,66010   | 44,659070  | 57,938910  | 48,040240  | 42,641480                     | 12,76516 |  |
|                                  | 16         | 45,172420  | 22,32950   | 15,209240  | 26,53620   | 20,27890   | 34,533110 | 21,508000  | 21,508000  | 31,578180  | 11,337180  | 21,508000  | 23,669530  | 24,418390  | 14,38710   | 45,432550  | 22,32950  | 23,119780  | 43,016130  | 21,508000  | 26,868729  | 12,10346                      |          |  |
|                                  | 17         | 109,970000 | 28,04220   | 36,55570   | 41,803080  | 26,53620   | 44,018830 | 40,173580  | 40,173580  | 77,547260  | 22,32950   | 17,246560  | 34,679670  | 40,173580  | 41,370110  | 20,40340   | 44,541640 | 18,09510   | 30,246810  | 30,836360  | 32,061070  | 38,871212                     | 20,73118 |  |
|                                  | 18         | 165,509330 | 84,977200  | 90,681530  | 102,419350 | 84,155950  | 82,397540 | 104,382370 | 104,382370 | 121,515420 | 93,637860  | 88,414490  | 70,278180  | 63,638950  | 95,215400  | 27,298850  | 65,78320  | 71,187330  | 93,393540  | 94,678110  | 68,530690  | 88,642194                     | 26,31378 |  |
|                                  | 19         | 111,662360 | 150,651690 | 131,407780 | 124,687100 | 128,300780 | 138,36370 | 158,708880 | 158,708880 | 147,793240 | 131,488220 | 113,714410 | 134,445790 | 120,153030 | 186,780600 | 112,213760 | 99,852780 | 122,441070 | 127,136400 | 115,707900 | 104,677670 | 130,96995                     | 20,65161 |  |
|                                  | 20         | 66,678640  | 137,345510 | 94,678110  | 91,697010  | 90,709890  | 81,613380 | 116,172810 | 116,172810 | 132,443310 | 104,677670 | 76,478450  | 114,370690 | 82,740220  | 194,099130 | 91,277440  | 78,271450 | 86,890710  | 86,892880  | 80,504920  | 76,039960  | 99,97850                      | 28,63353 |  |
|                                  | 21         | 24,418390  | 144,84850  | 63,235650  | 51,751980  | 68,930190  | 36,905320 | 109,407190 | 109,407190 | 127,687580 | 34,679670  | 59,509750  | 42,53250   | 48,836790  | 262,719540 | 48,836790  | 59,509750 | 53,07930   | 53,07930   | 47,339060  | 78,482404  | 52,58205                      |          |  |
|                                  | 22         | 37,39030   | 44,718600  | 44,541640  | 27,67170   | 25,346650  | 18,27580  | 17,246560  | 60,240080  | 14,338710  | 15,209240  | 44,659070  | 143,195760 | 36,59290   | 16,50300   | 12,209200  | 34,679670 | 19,370750  | 19,370750  | 46,739630  | 34,871231  | 28,22957                      |          |  |
|                                  | 23         | 59,509750  | 54,50550   | 36,53620   | 28,677420  | 33,703810  | 16,53030  | 46,68650   | 20,27890   | 13,220700  | 33,703810  | 40,871820  | 20,901540  | 51,79670   | 34,609480  | 24,418390  | 46,739630 | 46,739630  | 31,578180  | 33,476090  | 34,28244   | 12,96658                      |          |  |
|                                  | 24         | 55,689321  | 80,152090  | 44,541640  | 51,60150   | 38,805700  | 21,508000 | 61,878750  | 34,533110  | 20,901540  | 20,901540  | 48,836790  | 35,19540   | 56,678130  | 39,59230   | 45,90670   | 19,370750 | 17,246560  | 17,246560  | 25,849090  | 41,31674   | 16,87328                      |          |  |
| Mittelwerte                      | 73,743393  | 72,218649  | 60,550079  | 98,71957   | 64,458708  | 56,438327  | 65,942518 | 65,942518  | 77,57694   | 52,851470  | 59,978624  | 76,208817  | 55,859588  | 84,782476  | 46,211101  | 65,498720  | 52,990078 | 64,347836  | 68,253064  | 56,019133  | 959287     | Sid.-Abw. der Sid.-Abw. Messp |          |  |
| Mittelwert aller Geräte zusammen | 65,940510  |            |            |            |            |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |            |            |            | 23,0778    | Mittelwert Sid.-Abw.          |          |  |
| Sid.-Abw. Geräte einzeln:        | 37,8520215 |            |            |            |            |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |            |            |            |            |                               |          |  |

Abb. 21: Messserie 1: Werte für die gemessenen marginalen Randspalten

## 4.2 Messserie 2:

Parameter:

- Okklusaler Öffnungswinkel : 150°
- Scansystem: Cercon® eye
- Fertigung: Netzwerkfertigung Compartis®
- Keine Aufpassung durch Zahntechniker.

Im Vergleich zur Messserie 1 war hier der okklusale Öffnungswinkel 150°, wodurch sich eine reduzierte Stumpfhöhe ergab. Die sich daraus ergebenden Einflüsse auf den Scannvorgang sollten anhand der gewonnenen Messwerte evaluiert werden.

Die Standardabweichung lag bei 25,97  $\mu\text{m}$  und ist im Vergleich zur Messserie 1 zwar kleiner, aber die Streubreite war hier ebenfalls hoch. Die einzelnen Messwerte, schwankten sowohl innerhalb der Messungen eines Gerüsts, als auch auf alle in dieser Serie gemessenen Gerüste bezogen deutlich. An vereinzelt Messpunkten wurde die geforderte klinische Toleranz von 120  $\mu\text{m}$  weit überschritten. Der kleinste gemessene Mittelwert eines Einzelgerüsts lag bei 49,09  $\mu\text{m}$ , während der größte mit 66,15  $\mu\text{m}$  gemessen wurde. Beide Werte lagen somit deutlich unter der schon erwähnten Toleranz von 120  $\mu\text{m}$ . Der Gesamtmittelwert bezogen auf alle Messpunkte dieser Serie war mit 57,94  $\mu\text{m}$  kleiner als der in Messserie 1 mit dem gleichen Scansystem, aber kleinerem okklusalen Öffnungswinkel erzielte Wert.

Der kleinste Mittelwert eines Einzelgerüsts liegt bei 49,09  $\mu\text{m}$  und ist somit kleiner als der entsprechende der vorangegangenen Messserie 1. Auch der größte gemessene Mittelwert blieb kleiner als das Äquivalent der ersten Serie und beträgt 77,35  $\mu\text{m}$ . Die größten Werte lagen bei dieser Messreihe im Bereich der Messpunkte 7 und 8 (vestibulär), sowie 20 und 21 (oral), was den vestibulären und oralen Stumpfflächen entsprach.

| Komengröße                                | e-2-01 | e-2-02     | e-2-03     | e-2-04     | e-2-05    | e-2-06     | e-2-07     | e-2-08     | e-2-09     | e-2-10     | e-2-11     | e-2-12     | e-2-13     | e-2-14     | e-2-15    | e-2-16     | e-2-17    | e-2-18    | e-2-19    | e-2-20     | MW Messp.  | Sid.-Abw. Messp. |                  |                      |
|---|--------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------------|------------------|----------------------|
| Messpunkte                                | 1      | 121,874740 | 52,925200  | 70,861380  | 68,356090 | 79,806340  | 62,251750  | 77,909120  | 87,215740  | 75,360370  | 113,744110 | 57,082960  | 62,251750  | 76,981300  | 79,346340 | 70,606820  | 86,890710 | 87,215740 | 78,097510 | 71,187330  | 71,583690  | 77,608590        | 16,292121        |                      |
|   | 2      | 155,652440 | 70,390080  | 60,493620  | 51,698170 | 63,156350  | 55,208900  | 67,634070  | 38,857820  | 65,432550  | 87,215740  | 95,539000  | 76,008270  | 67,407620  | 69,339340 | 63,235650  | 68,204260 | 50,948500 | 68,204260 | 76,981300  | 79,609550  | 72,552810        | 21,893960        |                      |
|   | 3      | 140,638120 | 51,698170  | 48,939910  | 35,195040 | 73,182830  | 56,801440  | 77,483000  | 41,681940  | 36,627590  | 56,678130  | 50,697470  | 46,739630  | 54,509550  | 50,948500 | 49,724120  | 41,681940 | 45,906700 | 44,541640 | 52,208900  | 50,948500  | 55,064694        | 22,126480        |                      |
|   | 4      | 122,087770 | 36,627590  | 32,461830  | 38,004140 | 48,605300  | 66,019580  | 31,578180  | 28,677420  | 39,95230   | 19,370750  | 35,846770  | 48,040240  | 32,459740  | 45,906700 | 35,488230  | 44,018830 | 44,018830 | 47,390630 | 47,390630  | 33,703810  | 43,818493        | 20,466511        |                      |
|   | 5      | 135,664720 | 67,634070  | 72,049510  | 64,919490 | 61,043890  | 60,024070  | 50,693310  | 84,127560  | 82,40220   | 82,116110  | 84,127560  | 76,981300  | 64,482170  | 60,493620 | 67,634070  | 55,578250 | 48,464570 | 64,919490 | 69,839790  | 86,328600  | 71,993109        | 18,259460        |                      |
|   | 6      | 146,519420 | 59,334450  | 91,387920  | 93,692900 | 100,673730 | 111,915570 | 113,744110 | 100,392290 | 107,416360 | 97,903920  | 108,841470 | 101,817000 | 100,161420 | 79,637560 | 109,195390 | 97,903920 | 96,183220 | 91,697010 | 109,665900 | 125,698890 | 102,159673       | 16,821770        |                      |
|   | 7      | 129,221180 | 79,475900  | 83,911070  | 72,686910 | 77,212670  | 106,767840 | 90,794920  | 65,783220  | 91,134250  | 74,812260  | 92,948570  | 102,117550 | 79,346340  | 61,210890 | 74,812260  | 70,278180 | 90,681550 | 88,414490 | 88,530790  | 113,819000 | 86,797947        | 16,484801        |                      |
|   | 8      | 83,911070  | 61,587080  | 46,737530  | 70,606820 | 77,212670  | 95,242620  | 86,266800  | 70,424440  | 72,863640  | 67,137840  | 68,613610  | 83,143390  | 70,424440  | 48,091610 | 66,715060  | 52,925300 | 58,286920 | 97,203920 | 68,613610  | 111,108030 | 72,890820        | 16,083911        |                      |
|   | 9      | 36,551770  | 39,593130  | 22,329540  | 40,173580 | 34,679670  | 79,746580  | 47,339060  | 51,147940  | 41,681940  | 51,68170   | 19,370750  | 47,339060  | 15,209240  | 39,593130 | 25,849090  | 48,939910 | 21,508060 | 39,593130 | 30,246810  | 42,533230  | 38,740666        | 14,204130        |                      |
|   | 10     | 13,220700  | 57,354840  | 20,901540  | 24,418390 | 12,209200  | 51,698170  | 16,350300  | 34,533110  | 20,278990  | 25,849090  | 43,786590  | 28,043200  | 20,901540  | 28,043200 | 22,329540  | 40,871820 | 25,849090 | 19,370750 | 38,741500  | 21,390130  | 38,307017        | 12,105909        |                      |
|   | 11     | 12,209200  | 45,627720  | 33,703810  | 11,598900 | 18,695010  | 13,220700  | 26,536520  | 19,370750  | 22,329540  | 49,777790  | 27,395020  | 14,338710  | 23,119780  | 21,508060 | 29,473630  | 23,119780 | 28,043200 | 30,840260 | 43,607870  | 26,059654  | 10,506453        |                  |                      |
|   | 12     | 18,279640  | 36,905320  | 43,073730  | 28,677420 | 44,018830  | 50,336870  | 36,627590  | 74,780050  | 37,390080  | 27,390080  | 34,679670  | 34,081130  | 40,806970  | 48,464570 | 37,390080  | 36,551770 | 43,607870 | 39,593130 | 28,677420  | 39,338032  | 11,040058        |                  |                      |
|   | 13     | 43,073730  | 65,783220  | 57,354840  | 31,819480 | 45,397460  | 38,606330  | 45,397460  | 47,824300  | 41,058050  | 38,339650  | 57,082960  | 41,058050  | 39,135720  | 47,607800 | 50,080710  | 34,679670 | 62,251750 | 52,191190 | 51,160150  | 59,637140  | 47,686940        | 9,289593         |                      |
|   | 14     | 58,286920  | 105,850600 | 63,842890  | 64,919490 | 51,698170  | 71,583690  | 67,634070  | 52,340990  | 57,082960  | 43,311940  | 69,546650  | 51,799670  | 48,040240  | 60,493620 | 51,147940  | 44,541640 | 47,661800 | 72,828350 | 62,377720  | 61,672710  | 60,330828        | 13,577850        |                      |
|   | 15     | 32,459740  | 57,799450  | 61,878750  | 44,018830 | 31,578180  | 57,799450  | 55,160150  | 48,091610  | 50,693310  | 47,823430  | 51,698170  | 34,306810  | 55,578250  | 59,637140 | 53,360920  | 44,541640 | 66,715060 | 71,583690 | 48,464570  | 50,338670  | 51,176301        | 10,284310        |                      |
|   | 16     | 22,785560  | 29,586500  | 141,722760 | 48,091610 | 27,580070  | 53,360920  | 48,091610  | 29,818570  | 48,939910  | 36,272610  | 25,849090  | 30,246810  | 45,567120  | 41,370110 | 41,370110  | 57,082960 | 38,805700 | 46,239560 | 31,819480  | 52,338830  | 44,845502        | 24,316700        |                      |
|   | 17     | 70,314780  | 109,195390 | 107,153620 | 56,721320 | 79,863340  | 68,350690  | 81,739550  | 43,073730  | 61,252040  | 43,311940  | 71,187330  | 52,338990  | 61,377890  | 45,397460 | 45,567120  | 48,464570 | 61,252040 | 75,360370 | 52,191190  | 39,135720  | 61,674644        | 19,319090        |                      |
|   | 18     | 79,475900  | 120,288630 | 131,507780 | 49,263900 | 61,252040  | 52,583990  | 80,115260  | 63,477070  | 43,311940  | 20,403340  | 32,459740  | 22,670380  | 22,670380  | 81,739550 | 36,343460  | 65,900420 | 69,339340 | 43,340760 | 68,011150  | 79,373076  | 20,875344        |                  |                      |
|   | 19     | 102,117530 | 179,225230 | 129,382520 | 86,623870 | 97,588130  | 59,117290  | 88,443580  | 58,942990  | 63,517380  | 65,900420  | 59,117290  | 45,340760  | 58,986620  | 57,082960 | 65,783220  | 72,686910 | 81,644890 | 92,976240 | 41,370110  | 41,370110  | 79,373076        | 20,875344        |                      |
|   | 20     | 65,432550  | 89,138850  | 41,803080  | 65,432550 | 86,890710  | 88,878760  | 66,715060  | 76,981300  | 68,613610  | 64,919490  | 36,343460  | 66,367160  | 76,981300  | 25,346650 | 95,888600  | 68,950190 | 64,482170 | 83,606160 | 23,609530  | 64,890565  | 20,556738        |                  |                      |
|   | 21     | 19,370750  | 20,901540  | 27,298850  | 23,119780 | 25,348730  | 29,818570  | 20,529030  | 43,607870  | 32,459740  | 37,390080  | 26,565620  | 28,043200  | 26,565620  | 29,818570 | 48,091610  | 22,783560 | 30,246810 | 37,390080 | 36,905320  | 29,602272  | 7,520847         |                  |                      |
|   | 22     | 55,578250  | 20,529030  | 59,637140  | 39,135720 | 23,609530  | 67,634070  | 32,459740  | 46,737580  | 25,346650  | 30,246810  | 39,135720  | 32,061070  | 29,586590  | 37,390080 | 59,117290  | 53,360920 | 38,741500 | 38,805700 | 44,018830  | 54,832750  | 41,399847        | 12,988760        |                      |
|   | 23     | 87,215740  | 51,147940  | 70,424440  | 59,117290 | 59,637140  | 68,011150  | 61,587080  | 65,432550  | 54,561070  | 64,482170  | 70,278180  | 54,832750  | 50,338670  | 54,832750 | 63,517380  | 63,517380 | 61,587080 | 52,925300 | 79,637560  | 62,181867  | 9,464621         |                  |                      |
|   | 24     | 104,505510 | 41,370110  | 68,725470  | 65,900420 | 70,606820  | 68,974680  | 59,117290  | 79,637560  | 65,900420  | 88,678760  | 65,900420  | 54,597690  | 63,689590  | 77,212670 | 62,667850  | 82,116110 | 79,346340 | 67,423780 | 65,783220  | 73,567920  | 70,333339        | 12,798010        |                      |
| <b>Mittelwerte:</b>                       |        | 77,521644  | 64,578845  | 66,149264  | 51,424020 | 56,322460  | 63,916810  | 59,296841  | 38,734327  | 54,081084  | 54,959911  | 57,314140  | 51,852378  | 49,091158  | 51,637177 | 53,220916  | 56,190065 | 54,717655 | 59,745306 | 58,285068  | 60,497473  | 16,517000        | Sid.-Abw. Messp. |                      |
| <b>Mittelwert aller Gerüste zusammen:</b> |        | 79,940184  |            |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |            |           |           |           |            |            |                  | 16,5955          | Mittelwert Sid.-Abw. |
| <b>Sid.-Abw. Stumpfe einzeln</b>          |        | 25,971708  |            |            |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |            |           |           |           |            |            |                  |                  |                      |

Abb. 22: Messserie 1: Werte für die gemessenen marginalen Randspalten

### 4.3 Messserie 3:

Parameter:

- Okklusaler Öffnungswinkel : 125°
- Scansystem: 3shape D-700™
- Fertigung: Netzwerkfertigung Compartis®
- Keine Aufpassung durch Zahntechniker.

Im Unterschied zu den beiden vorangegangenen Messreihen wurde nun mit dem 3shape D-700™ Scanner (DeguDent, Hanau) ein anderes Scansystem verwendet. Die Messergebnisse sollten so, in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Systemen, evaluiert werden.

Mit einer Standardabweichung von 20,45  $\mu\text{m}$  war die vorhandene Streubreite verhältnismäßig geringer, jedoch relativ zur Größe der Messwerte beträchtlich. So waren die einzelnen Messwerte großen Schwankungen unterworfen, was sich innerhalb der Werte eines Gerüsts, aber auch auf die Messungen aller Gerüste gesehen, ausdrückte. Wiederum wurde auch hier an einzelnen Messpunkten die geforderte klinische Toleranzgrenze von 120 $\mu\text{m}$  überschritten. Der kleinste Mittelwert eines einzelnen Kronengerüsts lag bei 45,40  $\mu\text{m}$  und war somit kleiner als die entsprechenden Ergebnisse der Messserien 1 und 2. Der größte Mittelwert eines Einzelgerüsts war mit 101,13  $\mu\text{m}$  sehr hoch, blieb aber unter der klinischen Toleranzgrenze. Der Mittelwert aller erhobenen Messpunkte betrug 62,09  $\mu\text{m}$ .

Die erhobenen Mittelwerte dieser Messserie unterschieden sich lediglich im Bezug auf den höchsten Wert einer Einzelrestauration deutlich von den vorherigen. Mit 101,13  $\mu\text{m}$  war dieser Wert deutlich erhöht. Die Werte an den Messpunkten der vestibulären (Messpunkte 7 und 8) und oralen (Messpunkte 20 und 21) Stumpfflächen waren auch hier leicht erhöht, blieben aber deutlich unter den Werten der ersten beiden Messserien.

| Kronengröße                        | 3e-1-01 | 3e-1-02    | 3e-1-03   | 3e-1-04   | 3e-1-05   | 3e-1-06   | 3e-1-07   | 3e-1-08    | 3e-1-09    | 3e-1-10   | 3e-1-11   | 3e-1-12   | 3e-1-13   | 3e-1-14   | 3e-1-15   | 3e-1-16   | 3e-1-17    | 3e-1-18   | 3e-1-19   | 3e-1-20   | MW Messp. | Std. Abw. Messp. |                                |
|------------------------------------|---------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|--------------------------------|
| Messpunkte                         | 1       | 52,925300  | 64,919490 | 68,590190 | 57,397520 | 64,482170 | 54,305550 | 76,081300  | 58,286200  | 51,698170 | 48,464570 | 42,355250 | 73,810640 | 54,505550 | 70,390080 | 37,290040 | 70,390080  | 50,693310 | 76,081300 | 45,848500 | 62,704620 | 59,183927        | 11,254742                      |
|                                    | 2       | 43,016130  | 64,524190 | 62,704620 | 73,847620 | 40,871820 | 54,790040 | 81,016670  | 61,043890  | 46,739630 | 64,009330 | 43,016130 | 57,354840 | 45,172420 | 53,073030 | 70,390080 | 43,786590  | 59,509750 | 86,332790 | 66,099550 | 55,208900 | 58,625231        | 12,610104                      |
|                                    | 3       | 57,354840  | 38,004140 | 97,313350 | 77,483000 | 42,353250 | 64,924260 | 120,480160 | 27,395020  | 40,557970 | 58,286200 | 38,112250 | 72,582350 | 55,475610 | 80,413260 | 60,240080 | 36,627590  | 74,262300 | 86,332790 | 58,112250 | 61,224520 | 63,421791        | 21,744593                      |
|                                    | 4       | 46,229560  | 38,741500 | 76,008270 | 45,172420 | 36,905320 | 78,271450 | 106,146000 | 49,514600  | 36,627590 | 48,836790 | 38,004140 | 62,704620 | 35,195940 | 64,524190 | 33,703810 | 48,939100  | 57,397520 | 82,526580 | 47,339060 | 43,786590 | 53,829256        | 18,723551                      |
|                                    | 5       | 29,558650  | 47,823430 | 33,009790 | 33,703810 | 61,878750 | 58,286200 | 125,693890 | 52,925300  | 42,353250 | 52,383990 | 28,042520 | 86,23870  | 50,693310 | 25,346650 | 79,766580 | 48,091610  | 82,740220 | 43,311940 | 52,338830 | 54,897553 | 23,570435        |                                |
|                                    | 6       | 34,081130  | 49,874840 | 73,110330 | 63,688950 | 65,900420 | 45,848500 | 157,016500 | 52,583990  | 51,698170 | 65,900420 | 52,383990 | 63,688950 | 40,806690 | 34,081130 | 59,334450 | 113,917810 | 48,091610 | 77,379060 | 43,135400 | 88,314490 | 64,051742        | 28,274371                      |
|                                    | 7       | 61,252040  | 56,857210 | 77,611400 | 61,377890 | 75,121070 | 56,857210 | 204,083860 | 61,587080  | 13,790040 | 91,387920 | 56,721320 | 77,212670 | 65,783220 | 90,681530 | 27,298850 | 52,141880  | 57,397520 | 68,506090 | 56,085040 | 73,110330 | 69,235439        | 35,648323                      |
|                                    | 8       | 60,240080  | 74,262300 | 60,493620 | 65,432550 | 66,715060 | 69,359340 | 177,065940 | 64,919490  | 71,187330 | 69,839790 | 57,397520 | 66,715060 | 68,840330 | 74,262300 | 74,780050 | 44,018830  | 74,575500 | 58,286200 | 83,176640 | 72,830103 | 25,300929        |                                |
|                                    | 9       | 60,240080  | 66,099550 | 51,799670 | 64,924260 | 56,861440 | 66,099550 | 149,025990 | 50,948500  | 23,669530 | 60,240080 | 68,202160 | 57,799450 | 66,019580 | 71,008580 | 30,863600 | 58,818200  | 65,277250 | 75,362540 | 72,019770 | 64,025355 | 23,113288        |                                |
|                                    | 10      | 33,703810  | 75,058870 | 57,803610 | 53,890660 | 59,856600 | 64,524190 | 89,687600  | 34,533110  | 81,272340 | 90,517580 | 38,947250 | 46,799630 | 32,461830 | 81,115950 | 74,025650 | 49,724120  | 30,418480 | 59,856600 | 62,872640 | 36,627590 | 58,681906        | 18,672173                      |
|                                    | 11      | 71,583690  | 81,743650 | 60,240080 | 75,366440 | 84,647850 | 79,190450 | 123,718090 | 78,174950  | 30,246810 | 78,174950 | 71,008580 | 69,546650 | 78,862900 | 105,85120 | 88,911990 | 56,861440  | 58,818200 | 35,846770 | 70,319060 | 38,947250 | 72,889656        | 20,354591                      |
|                                    | 12      | 74,949670  | 76,478450 | 59,637140 | 70,314780 | 72,863640 | 65,783220 | 86,447450  | 68,950190  | 45,397460 | 63,688950 | 52,191190 | 86,415760 | 72,049310 | 88,878760 | 79,863340 | 52,338830  | 46,239560 | 72,049310 | 81,896540 | 61,377890 | 68,873072        | 12,694875                      |
|                                    | 13      | 37,290030  | 41,681940 | 45,848500 | 85,369800 | 59,509750 | 40,871820 | 114,931570 | 68,202160  | 41,803080 | 54,505550 | 60,493620 | 60,493620 | 63,842890 | 62,251750 | 38,857820 | 87,251530  | 47,339060 | 53,073030 | 38,857820 | 41,681940 | 59,212864        | 18,438918                      |
|                                    | 14      | 65,432550  | 51,698170 | 67,634070 | 56,678130 | 53,888560 | 65,277240 | 126,188370 | 77,483000  | 45,172420 | 35,195940 | 62,704620 | 53,360920 | 51,147940 | 94,051170 | 45,172420 | 88,911990  | 50,948500 | 80,347160 | 31,578180 | 52,440990 | 62,740572        | 21,575009                      |
|                                    | 15      | 59,637140  | 57,082960 | 87,298310 | 44,018830 | 58,286200 | 48,939100 | 87,215740  | 68,202160  | 46,737530 | 57,799450 | 62,251750 | 48,464570 | 61,043890 | 76,981300 | 57,397520 | 91,697010  | 43,133400 | 60,493620 | 23,119780 | 34,906810 | 58,720430        | 17,104104                      |
|                                    | 16      | 61,878750  | 59,637140 | 57,799450 | 83,606160 | 61,587080 | 48,939100 | 94,294830  | 66,715060  | 23,119780 | 55,160150 | 52,525300 | 54,832750 | 64,122150 | 61,878750 | 71,583690 | 129,717870 | 54,456170 | 59,637140 | 38,805700 | 62,251750 | 63,147479        | 20,825993                      |
|                                    | 17      | 36,555170  | 49,874840 | 40,806690 | 59,334450 | 43,311940 | 68,102260 | 56,085040  | 56,675960  | 59,637140 | 34,679670 | 70,424440 | 41,058050 | 64,122150 | 57,397520 | 64,482170 | 134,080420 | 58,942990 | 56,857210 | 54,456170 | 52,338830 | 58,009156        | 20,233985                      |
|                                    | 18      | 43,311940  | 41,058050 | 56,721320 | 66,367160 | 62,141880 | 53,360920 | 45,367120  | 56,675960  | 27,580070 | 52,925300 | 49,226390 | 52,583990 | 61,878750 | 54,597690 | 68,350690 | 124,872630 | 43,340760 | 52,191190 | 43,311940 | 54,456170 | 55,160996        | 18,301675                      |
|                                    | 19      | 84,972800  | 57,799450 | 58,986620 | 82,740220 | 68,350690 | 59,637140 | 52,925300  | 111,662260 | 70,861380 | 65,900420 | 59,637160 | 66,367160 | 56,721320 | 86,623870 | 61,878750 | 83,606160  | 64,122150 | 48,091610 | 77,611400 | 69,311120 | 14,539566        |                                |
|                                    | 20      | 62,704620  | 96,853750 | 65,277230 | 69,839790 | 90,257240 | 69,359340 | 67,137840  | 76,478450  | 69,546650 | 64,524190 | 79,186270 | 57,799450 | 71,583690 | 58,286200 | 40,173580 | 60,240080  | 59,509750 | 57,799450 | 61,049580 | 67,459398 | 11,954238        |                                |
|                                    | 21      | 39,593130  | 47,339060 | 61,672710 | 74,262300 | 34,679670 | 71,187330 | 59,637140  | 60,240070  | 48,464570 | 64,482170 | 61,672710 | 64,919490 | 60,493620 | 57,799450 | 62,37720  | 15,209240  | 51,147940 | 64,919490 | 45,906700 | 47,339060 | 54,665379        | 13,484919                      |
|                                    | 22      | 61,878750  | 66,367160 | 68,950190 | 75,669400 | 48,091610 | 43,133400 | 58,986620  | 64,122150  | 15,869270 | 56,675960 | 47,823430 | 61,587080 | 46,239560 | 69,359340 | 47,661800 | 22,670380  | 57,082960 | 67,137840 | 63,840730 | 68,613610 | 55,887939        | 15,008423                      |
|                                    | 23      | 52,338830  | 55,160150 | 84,369640 | 97,509030 | 77,611400 | 45,340760 | 88,878760  | 77,079300  | 50,800710 | 38,986620 | 61,377890 | 77,079300 | 54,408920 | 63,517560 | 25,040360 | 70,424440  | 68,162260 | 57,397520 | 70,666820 | 65,104368 | 16,116092        |                                |
|                                    | 24      | 56,857210  | 68,953270 | 60,024070 | 83,143390 | 45,848500 | 51,698170 | 78,271450  | 61,878750  | 55,578250 | 48,464570 | 65,744110 | 77,079300 | 52,583990 | 66,367160 | 43,073730 | 68,613610  | 57,397520 | 51,147940 | 53,360920 | 60,024070 | 60,305499        | 10,70772                       |
| Mittelwerte                        |         | 53,664743  | 59,495565 | 63,940453 | 67,545154 | 59,250943 | 59,347845 | 101,132673 | 62,732600  | 45,400941 | 60,049041 | 56,079332 | 64,032111 | 57,252278 | 70,778123 | 58,365769 | 66,336033  | 55,203730 | 66,918840 | 53,549748 | 59,677278 | 5,895622         | Std. Abw. der Std. Abw. Messp. |
| Mittelwert aller Gerüste zusammen: |         | 62,089722  |           |           |           |           |           |            |            |           |           |           |           |           |           |           |            |           |           |           |           | 18,76622         | Mittelwert Std. Abw.           |
| Standardabweichung:                |         | 20,4520237 |           |           |           |           |           |            |            |           |           |           |           |           |           |           |            |           |           |           |           |                  |                                |

Abb. 23: Messserie 3: Werte für die gemessenen marginalen Randspalten

#### 4.4. Messserie 4:

Parameter:

- Interokklusaler Winkel : 150°
- Scansystem: 3shape D-700™
- Fertigung: Netzwerkfertigung Compartis®
- Keine Aufpassung durch Zahntechniker.

Auch für dieses Scansystem wurde ein zweiter Masterstumpf mit erhöhtem interokklusalem Winkel eingescannt, um mögliche Einflüsse dieses Parameters und der damit verbundenen unterschiedliche Stumpfhöhe zu evaluieren. Ferner konnten so die eventuellen Auswirkungen abhängig vom jeweiligen Scanner erkannt werden.

Eine mit einer Standardabweichung von 25,39  $\mu\text{m}$  als groß zu bezeichnende Streubreite trat auch bei diesen Messergebnissen auf. Eine Überschreitung der geforderten klinischen Toleranz (120  $\mu\text{m}$ ) fand an vereinzelt Messpunkten statt. Die Maxima und Minima der Mittelwerte bezüglich einzelner Restaurationen lagen bei 108,17  $\mu\text{m}$  und 63,39  $\mu\text{m}$ . Auffällig hierbei war der zur Vorserie wiederum erhöhte Maximalwert der aber immer noch unter der klinischen Toleranzgrenze verblieb. Der Gesamtmittelwert für alle Messpunkte war mit 71,01  $\mu\text{m}$  verglichen mit den bereits erhobenen Werten der vorangegangenen Messserien erhöht.

Die in dieser Messserie erhobenen Werte lagen in ihrer Gesamtheit leicht über den bereits erzielten Ergebnissen. Besonders auffällig ist hierbei der mit 108,17  $\mu\text{m}$  große Mittelwert eines Einzelgerüsts. Ebenfalls ist der Gesamtmittelwert aller Messpunkte mit 71,01  $\mu\text{m}$  im Vergleich eher groß ausgefallen. Die Auffälligkeiten aus den Serien 1 und 2 bezüglich der vestibulären und oralen Stumpfflächen bestätigen sich, ähnlich wie in Messreihe 3, nicht so markant wie in den ersten beiden Ergebnisreihen mit dem Cercon® eye Scanner.



## 4.5 Messserie 5:

Parameter:

- Okklusaler Öffnungswinkel : 125°
- Scansystem: Cercon® eye
- Fertigung: Cercon® brain expert
- Keine Aufpassung durch Zahntechniker.

In dieser Messreihe, sowie in der darauffolgenden wurden die Kronengerüste nicht über die zentrale Netzwerkfertigung (Compartis®) hergestellt, sondern über die Fräseinheit Cercon® brain expert (DeguDent, Hanau). Ziel war es, mögliche Einflüsse durch die unterschiedliche Fertigung anhand der Messergebnisse zu evaluieren. Die Stumpfparameter (unterschiedlicher okklusaler Öffnungswinkel mit 125° in Messserie 5 und 150° in Messserie 6) wurden beibehalten.

Mit 71,71 µm war der Mittelwert aller 480 Messpunkte dieser Serie als hoch zu bezeichnen. Ähnlich verhielt es sich beim größten Mittelwert eines einzelnen Gerüsts, welcher bei 97,89 µm lag. Der im Vergleich dazu kleinste Mittelwert dieser Kategorie betrug 47,83 µm. Die Streubreite der Messwerte innerhalb dieser Serie war hoch, was die Standardabweichung von 37,14 µm zeigte. Die geforderte klinische Toleranz (120 µm) wurde durch die erhobenen Mittelwerte der Kronengerüste zwar nicht überschritten, jedoch geschah dies durch die Werte einzelner Messpunkte, wie in allen anderen Serien auch, partiell.

Die Messwerte in ihrer Gesamtheit waren auch hier als eher hoch zu bezeichnen. Dies gilt besonders für den Gesamtmittelwert mit 71,71 µm, der aber noch deutlich unter dem klinischen Toleranzwert von 120 µm lag. Die Messwerte im Bereich der vestibulären (Messpunkte 7 und 8) und oralen (Messpunkte 18, 19 und 20) Stumpfregionen waren auch hier in charakteristischer Weise deutlich erhöht.



#### 4.6. Messserie 6:

Parameter:

- Okklusaler Öffnungswinkel : 150°
- Scansystem: Cercon® eye
- Fertigung: Cercon® brain expert
- Keine Aufpassung durch Zahntechniker.

Wie in der vorangegangenen Messreihe erfolgte die Fertigung dieser Kronengerüste über die Fräseinheit Cercon® brain expert (DeguDent, Hanau). Im Unterschied zu der Messserie zuvor betrug der okklusale Öffnungswinkel nun 150°.

Der sich aus den Messungen aller Gerüste für diese Serie ergebende Mittelwert betrug 69,22 µm. Er unterschied sich somit nur unwesentlich im Vergleich mit der Serie der gleichen Fertigungsvariante. Der größte errechnete Mittelwert, welcher sich aus den Messwerten eines einzelnen Kronengerüsts ergab lag bei 88,29 µm, wohingegen der kleinste 52,11 µm betrug. Auch in diesem Fall war die vorliegende Streubreite innerhalb der Messserie als hoch zu bezeichnen, was durch die Höhe der Standardabweichung mit 35,52 µm gezeigt wurde. Einzelne Messpunkte, bzw. die hier gemessenen Randspalten überschritten die geforderte klinische Toleranz von 120 µm.

Die höchsten Werte ergaben sich an den Messpunkten 6, 7 und 8, was dem vestibulären Stumpfbereich entsprach.

| Konjunktur                              | e-2.01     | e-2.02     | e-2.03     | e-2.04     | e-2.05     | e-2.06     | e-2.07     | e-2.08     | e-2.09     | e-2.10     | e-2.11     | e-2.12     | e-2.13     | e-2.14    | e-2.15     | e-2.16     | e-2.17     | e-2.18     | e-2.19     | e-2.20     | MW Messp.  | Sid. Abw. | Messp.    | Sid. Abw. |                                   |  |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------|--|
| 1                                       | 85,622618  | 60,200229  | 140,943041 | 96,134917  | 67,286726  | 130,578816 | 96,134917  | 62,508657  | 60,546129  | 130,578816 | 113,336814 | 90,73586   | 140,738729 | 80,695549 | 75,45614   | 73,624338  | 134,573451 | 145,531875 | 110,951228 | 95,810318  | 100,059515 | 28,056753 |           |           |                                   |  |
| 2                                       | 85,622618  | 60,200229  | 140,943041 | 96,134917  | 67,286726  | 130,578816 | 96,134917  | 62,508657  | 60,546129  | 130,578816 | 113,336814 | 90,73586   | 140,738729 | 80,695549 | 75,45614   | 73,624338  | 134,573451 | 145,531875 | 110,951228 | 95,810318  | 100,059515 | 28,056753 |           |           |                                   |  |
| 3                                       | 47,905159  | 38,937009  | 88,661300  | 111,116123 | 47,905159  | 55,065245  | 68,888107  | 30,400550  | 35,643363  | 40,761123  | 86,767114  | 38,937009  | 108,084250 | 77,516163 | 36,028084  | 36,028084  | 124,471683 | 124,433713 | 66,325743  | 39,335012  | 65,000499  | 31,149931 |           |           |                                   |  |
| 4                                       | 30,856656  | 60,200229  | 103,168730 | 93,949747  | 73,483160  | 103,168730 | 135,266142 | 50,951404  | 63,474899  | 65,240634  | 135,687712 | 63,311092  | 140,738729 | 85,162064 | 79,719004  | 73,624338  | 132,120439 | 80,097773  | 74,139016  | 82,597867  | 91,347983  | 28,380087 |           |           |                                   |  |
| 5                                       | 152,002650 | 119,621918 | 161,412247 | 174,756631 | 132,473651 | 159,505124 | 168,340231 | 113,199297 | 70,73964   | 71,549995  | 200,440518 | 110,218909 | 195,058052 | 79,554112 | 113,519911 | 119,252562 | 190,560975 | 90,927196  | 73,145884  | 135,381246 | 131,605544 | 41,282832 |           |           |                                   |  |
| 6                                       | 41,787788  | 119,230441 | 151,512201 | 152,309760 | 106,389655 | 122,495483 | 135,496252 | 109,565291 | 90,745009  | 87,541570  | 196,675060 | 116,008190 | 174,042120 | 72,643622 | 122,495483 | 119,400700 | 194,311315 | 115,276927 | 81,870934  | 122,495483 | 126,610074 | 31,420661 |           |           |                                   |  |
| 7                                       | 111,250215 | 107,354540 | 120,314380 | 122,707290 | 84,339581  | 75,228846  | 137,776215 | 89,882667  | 75,228846  | 137,776215 | 89,882667  | 75,228846  | 137,776215 | 40,347774 | 87,955761  | 89,128555  | 165,132864 | 85,162064  | 70,794556  | 117,121752 | 103,159612 | 31,420661 |           |           |                                   |  |
| 8                                       | 37,717807  | 50,025873  | 67,286726  | 37,717807  | 50,025873  | 67,286726  | 37,717807  | 50,025873  | 67,286726  | 37,717807  | 50,025873  | 67,286726  | 37,717807  | 50,025873 | 67,286726  | 37,717807  | 50,025873  | 67,286726  | 37,717807  | 50,025873  | 67,286726  | 37,717807 | 50,025873 | 67,286726 |                                   |  |
| 9                                       | 49,188561  | 27,332622  | 39,355012  | 40,377180  | 51,906441  | 40,761123  | 39,355012  | 33,177151  | 47,578901  | 42,015604  | 73,624338  | 44,883531  | 54,781645  | 86,494050 | 39,355012  | 39,355012  | 27,332622  | 22,786161  | 49,600462  | 50,326212  | 22,786161  | 44,988891 | 14,466784 |           |                                   |  |
| 10                                      | 33,177151  | 47,905159  | 37,717807  | 30,570843  | 44,676703  | 37,579899  | 40,377180  | 43,880059  | 34,856123  | 40,761123  | 44,676703  | 34,706846  | 30,570843  | 47,336116 | 34,706846  | 37,579899  | 28,822467  | 48,763656  | 62,345347  | 81,522246  | 44,988891  | 14,466784 |           |           |                                   |  |
| 11                                      | 61,141685  | 82,848926  | 65,170013  | 36,028084  | 53,146003  | 34,706846  | 78,405586  | 57,101955  | 19,334608  | 37,717807  | 67,286726  | 33,643363  | 59,244018  | 37,717807 | 46,138459  | 40,761123  | 50,059311  | 52,815270  | 48,444042  | 50,609458  | 15,375276  |           |           |           |                                   |  |
| 12                                      | 77,405809  | 71,186241  | 64,448995  | 45,229238  | 64,448995  | 48,444042  | 42,015604  | 64,529506  | 42,384709  | 74,396029  | 52,815270  | 32,485219  | 51,591906  | 35,591211 | 64,498774  | 60,236630  | 37,717807  | 77,517753  | 96,110374  | 29,709518  | 54,612272  | 18,210178 |           |           |                                   |  |
| 13                                      | 54,018101  | 29,002048  | 46,138459  | 39,202793  | 36,741580  | 24,514446  | 68,888107  | 20,380562  | 49,082892  | 36,741580  | 53,146003  | 34,706846  | 74,692071  | 37,717807 | 29,709518  | 39,859501  | 85,162064  | 36,230323  | 61,985058  | 45,019250  | 16,1766    |           |           |           |                                   |  |
| 14                                      | 43,880055  | 36,028084  | 49,294003  | 42,384709  | 39,202793  | 36,741580  | 24,514446  | 68,888107  | 20,380562  | 49,082892  | 36,741580  | 53,146003  | 34,706846  | 74,692071 | 37,717807  | 29,709518  | 39,859501  | 85,162064  | 36,230323  | 61,985058  | 45,019250  | 16,1766   |           |           |                                   |  |
| 15                                      | 42,992841  | 38,803433  | 38,803433  | 32,385219  | 16,112249  | 26,570001  | 23,459788  | 39,202793  | 42,992841  | 23,459788  | 42,015604  | 48,745113  | 19,601397  | 27,881687 | 36,028084  | 25,980220  | 37,717807  | 64,152833  | 54,519425  | 81,589111  | 38,151643  | 15,320038 |           |           |                                   |  |
| 16                                      | 70,967094  | 87,065797  | 87,065797  | 64,529506  | 54,876342  | 72,066166  | 45,114297  | 96,727185  | 61,564815  | 55,159454  | 61,311288  | 71,186241  | 43,299862  | 64,70438  | 61,564815  | 58,093539  | 48,763656  | 33,811512  | 58,804190  | 62,598572  | 15,01793   |           |           |           |                                   |  |
| 17                                      | 90,22893   | 80,625666  | 93,67017   | 64,529506  | 61,311288  | 74,396029  | 45,229238  | 100,103626 | 61,564815  | 51,90441   | 45,229238  | 75,87459   | 55,628107  | 45,764553 | 51,591906  | 74,744164  | 45,229238  | 45,463598  | 33,403310  | 84,339581  | 64,041523  | 18,679433 |           |           |                                   |  |
| 18                                      | 99,947903  | 95,673017  | 125,675540 | 64,70438   | 91,655807  | 58,004095  | 61,311288  | 87,065797  | 77,338793  | 74,396029  | 41,891846  | 70,967094  | 87,066143  | 73,581805 | 51,591906  | 61,226545  | 70,967094  | 37,407208  | 69,94716   | 61,564815  | 72,955263  | 20,134363 |           |           |                                   |  |
| 19                                      | 65,725337  | 72,650166  | 48,44042   | 39,859501  | 52,457682  | 32,862668  | 42,992841  | 61,985058  | 49,294003  | 46,138459  | 50,025873  | 42,384709  | 39,859501  | 47,816698 | 43,880055  | 65,68657   | 52,457682  | 63,147015  | 50,69722   | 33,643363  | 49,912202  | 10,380927 |           |           |                                   |  |
| 20                                      | 24,514466  | 29,709518  | 23,459788  | 32,862668  | 13,286580  | 19,334608  | 36,741580  | 37,717807  | 34,59738   | 29,180523  | 60,200229  | 13,286580  | 19,601397  | 53,588466 | 12,889799  | 28,822467  | 35,591211  | 43,299862  | 64,92189   | 29,180523  | 31,589468  | 14,407286 |           |           |                                   |  |
| 21                                      | 42,992841  | 22,786161  | 39,859501  | 65,725337  | 32,862668  | 42,992841  | 46,138459  | 36,028084  | 32,862668  | 50,025873  | 27,332622  | 52,457682  | 59,415976  | 55,980220 | 37,717807  | 36,741580  | 59,509704  | 55,63374   | 52,457682  | 44,97392   | 12,324488  |           |           |           |                                   |  |
| 22                                      | 38,36047   | 42,015604  | 61,985058  | 82,156670  | 55,628107  | 64,70438   | 74,744164  | 38,803433  | 29,180523  | 72,228846  | 55,628107  | 36,028084  | 68,584862  | 58,719217 | 38,803433  | 41,891846  | 67,977652  | 85,162064  | 52,815270  | 74,744164  | 58,150110  | 15,891992 |           |           |                                   |  |
| 23                                      | 77,606867  | 51,90441   | 90,745009  | 90,286118  | 100,362626 | 87,065797  | 61,226545  | 64,448995  | 103,118392 | 70,967094  | 45,114297  | 107,19193  | 90,229466  | 67,977652 | 58,004095  | 125,710846 | 85,162064  | 82,000959  | 82,000959  | 20,012217  | 100,824414 | 29,313795 |           |           |                                   |  |
| 24                                      | 87,955761  | 87,955761  | 149,105782 | 113,199297 | 100,362626 | 131,450673 | 99,270282  | 78,47779   | 133,536814 | 151,043201 | 99,270282  | 89,128555  | 132,120439 | 80,695549 | 79,719004  | 96,94668   | 151,699197 | 46,261266  | 67,960298  | 60,544333  | 100,824414 | 29,313795 |           |           |                                   |  |
| <b>Mittelwerte</b>                      | 73,868307  | 61,979005  | 83,478901  | 75,966632  | 61,907141  | 69,181636  | 71,709513  | 64,348864  | 61,146414  | 61,675738  | 83,027638  | 57,972017  | 88,292282  | 66,599067 | 64,48296   | 59,975900  | 87,93323   | 76,820776  | 64,277657  | 68,07290   | 68,09516   | Sid. Abw. | Sid. Abw. |           |                                   |  |
| <b>Mittelwert aller Geräte zusammen</b> | 69,223688  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |            |            |            |            |            |            |            |           | 21,44436  |           | Mittelwert der Standardabweichung |  |
| <b>Sid. Abw. Stumpfe einzeln</b>        | 35,522570  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |            |            |            |            |            |            |            |           |           |           |                                   |  |

Abb. 26: Messserie 6: Werte für die gemessenen marginalen Randspalten

#### 4.7. Messserie 7:

Parameter:

- Okklusaler Öffnungswinkel : 150°
- Scansystem: 3shape D-700™
- Fertigung: Netzwerkfertigung Compartis®
- Aufpassung durch Zahntechniker.

Im Unterschied zu allen bisherigen Messreihen wurde bei dieser, sowie bei den beiden folgenden Messserien 8 und 9, eine manuelle Aufpassung der Gerüste auf den Masterstumpf durch einen Zahntechniker durchgeführt. Ziel war es, die bisherigen großen Streubreiten zu minimieren, um präzisere Aussagen treffen zu können. Vermessen wurden hierbei jeweils die Serien mit einem okklusalen Öffnungswinkel von 150°.

In dieser Messserie war der Wert für die Standardabweichung mit 18,18  $\mu\text{m}$  und somit auch die Streubreite innerhalb dieser Serie deutlich reduziert. Die Streubreite innerhalb der lokalisationsbezogenen Messpunkte war mit 3,01  $\mu\text{m}$ , im Vergleich zu den vorangegangenen Messserien, ebenfalls kleiner. Die ermittelten Maxima lagen bei 66,07  $\mu\text{m}$  für den größten Mittelwert eines einzelnen Gerüsts und entsprechend 49,08  $\mu\text{m}$  für den kleinsten. Beide Werte lagen deutlich unter der geforderten klinischen Toleranz von 120  $\mu\text{m}$ . Der Gesamtmittelwert aller Messpunkte lag bei 59.70  $\mu\text{m}$ .

Auffällige Relationen bezüglich der höchsten ermittelten Werte und bestimmter Messpunkte ergaben sich nicht. Allerdings gab es innerhalb der Messreihe keinen gemessenen Randspalt, der über der geforderten klinischen Toleranz (120 $\mu\text{m}$ ) lag. Der Zeitaufwand beim Aufpassen der Gerüste betrug ca. 5 min pro Gerüst.

| Kromengröße                       | 3sa-2-01   | 3sa-2-02  | 3sa-2-03   | 3sa-2-04   | 3sa-2-05  | 3sa-2-06  | 3sa-2-07  | 3sa-2-08  | 3sa-2-09  | 3sa-2-10  | 3sa-2-11   | 3sa-2-12  | 3sa-2-13   | 3sa-2-14   | 3sa-2-15  | 3sa-2-16   | 3sa-2-17   | 3sa-2-18   | 3sa-2-19  | 3sa-2-20   | MW Messr  | Std.-Abw. Messp. |           |  |
|-----------------------------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------------|-----------|--|
| Messpunkt                         | 76,586605  | 83,645861 | 104,979163 | 61,681688  | 89,559030 | 63,147015 | 64,152833 | 84,352776 | 69,621674 | 90,927196 | 81,428903  | 71,181062 | 103,928469 | 73,145484  | 76,586605 | 88,531943  | 94,961604  | 117,438435 | 84,344284 | 84,352776  | 83,226641 | 14,311055        |           |  |
| 2                                 | 105,196737 | 86,070057 | 97,621043  | 101,389443 | 98,460608 | 80,695549 | 89,599030 | 99,062536 | 81,428903 | 70,945536 | 106,191834 | 83,645861 | 92,769324  | 119,139409 | 66,943378 | 110,082307 | 110,082307 | 119,139409 | 66,943378 | 110,082307 | 12,476188 |                  |           |  |
| 3                                 | 76,586718  | 93,798765 | 83,206551  | 74,020711  | 83,645861 | 88,065845 | 71,884260 | 72,706544 | 83,206551 | 88,942011 | 56,819438  | 85,162064 | 87,073670  | 93,798765  | 77,102110 | 90,977474  | 91,827983  | 110,910005 | 66,949384 | 59,509704  | 81,797358 | 12,459566        |           |  |
| 4                                 | 46,003144  | 52,813270 | 90,694722  | 56,496938  | 86,016911 | 73,145484 | 31,575508 | 48,481511 | 44,957869 | 74,814417 | 36,544740  | 74,692071 | 88,944201  | 64,081512  | 56,496938 | 47,816698  | 49,876278  | 108,069970 | 90,694722 | 70,794576  | 60,653376 | 18,668097        |           |  |
| 5                                 | 39,777056  | 38,253359 | 90,220366  | 52,813270  | 45,764333 | 46,261266 | 39,777056 | 57,539206 | 46,261266 | 55,763374 | 46,261266  | 42,998862 | 41,133479  | 44,957869  | 47,816698 | 49,876278  | 46,261266  | 105,680519 | 52,205675 | 39,777056  | 51,202221 | 16,600624        |           |  |
| 6                                 | 48,387097  | 48,768656 | 90,220366  | 52,813270  | 45,764333 | 46,261266 | 39,777056 | 57,539206 | 46,261266 | 55,763374 | 46,261266  | 42,998862 | 41,133479  | 44,957869  | 47,816698 | 49,876278  | 46,261266  | 105,680519 | 52,205675 | 39,777056  | 51,202221 | 16,600624        |           |  |
| 7                                 | 44,032923  | 54,770475 | 66,806619  | 44,032923  | 45,463598 | 45,463598 | 39,777056 | 59,415976 | 69,094716 | 45,463598 | 61,25252   | 43,298862 | 60,594929  | 58,719217  | 57,777137 | 55,186354  | 51,500160  | 52,205675  | 82,155712 | 52,813270  | 47,085555 | 10,357055        |           |  |
| 8                                 | 71,884260  | 60,256630 | 75,846388  | 66,325743  | 64,69874  | 67,960298 | 60,860721 | 74,385326 | 69,189390 | 66,943378 | 68,962223  | 81,428903 | 62,345347  | 63,580028  | 77,516163 | 55,99122   | 48,768656  | 66,943378  | 36,966938 | 58,406879  | 67,229776 | 6,9939246        |           |  |
| 9                                 | 75,786073  | 79,841001 | 67,623024  | 75,846388  | 63,795433 | 47,816698 | 73,145484 | 61,25252  | 71,884260 | 72,138269 | 45,362903  | 60,860721 | 56,819438  | 52,901791  | 62,271956 | 50,059311  | 48,768656  | 52,901791  | 38,719327 | 54,519425  | 61,614604 | 10,272958        |           |  |
| 10                                | 43,615540  | 54,519425 | 37,893837  | 54,519425  | 38,728574 | 36,416113 | 57,777137 | 47,816698 | 43,615540 | 55,516814 | 40,573814  | 59,646420 | 71,693163  | 40,686363  | 65,423389 | 52,813270  | 51,411290  | 39,430660  | 31,135978 | 35,267854  | 47,925121 | 10,634237        |           |  |
| 11                                | 44,651683  | 24,381828 | 44,651683  | 39,314516  | 51,677442 | 55,516814 | 56,496598 | 41,133479 | 44,957869 | 39,314516 | 44,957869  | 39,314516 | 37,893837  | 33,811512  | 32,711655 | 40,573814  | 29,784852  | 48,857342  | 58,177524 | 59,509704  | 48,768656 | 44,393324        | 39,712998 |  |
| 12                                | 66,049384  | 27,382327 | 22,016461  | 30,392769  | 36,790902 | 42,768555 | 39,430660 | 39,777056 | 43,299862 | 33,403310 | 39,777056  | 27,217742 | 45,463598  | 42,446579  | 33,266129 | 42,446579  | 52,813270  | 78,629032  | 33,403310 | 45,362903  | 41,107120 | 12,808105        |           |  |
| 13                                | 73,643925  | 58,719217 | 68,228916  | 66,943378  | 45,463598 | 55,186354 | 63,147015 | 51,768555 | 64,152833 | 74,139016 | 48,768656  | 68,228916 | 71,884260  | 68,962223  | 62,345347 | 61,60529   | 66,00954   | 103,554884 | 64,081512 | 65,283366  | 65,102788 | 11,624244        |           |  |
| 14                                | 96,110374  | 90,977474 | 80,695549  | 67,623024  | 84,352776 | 67,960298 | 76,147248 | 67,147994 | 77,102110 | 98,460608 | 65,283366  | 59,509704 | 89,559030  | 81,428903  | 96,632330 | 83,645861  | 71,884260  | 102,689074 | 74,814417 | 80,695549  | 80,638957 | 11,924796        |           |  |
| 15                                | 55,186354  | 54,770475 | 57,539206  | 54,45484   | 46,261266 | 39,314516 | 54,770475 | 63,580065 | 45,764333 | 64,152833 | 44,032923  | 42,768555 | 42,768555  | 54,519425  | 51,768555 | 64,69874   | 51,500160  | 62,345347  | 55,186354 | 39,777056  | 52,250857 | 7,8768295        |           |  |
| 16                                | 63,580028  | 46,261266 | 45,764333  | 36,790902  | 36,790902 | 60,78538  | 58,177524 | 48,481511 | 48,387097 | 52,205675 | 30,840844  | 33,266129 | 51,768555  | 36,290323  | 60,78538  | 48,768656  | 42,446579  | 61,681688  | 54,519425 | 54,519425  | 48,579884 | 9,8022028        |           |  |
| 17                                | 33,403310  | 42,446579 | 48,481511  | 48,481511  | 45,463598 | 39,430660 | 39,777056 | 48,481511 | 57,459677 | 39,430660 | 39,314516  | 39,777056 | 42,768555  | 33,403310  | 60,78538  | 39,314516  | 45,362903  | 61,160529  | 33,266129 | 66,00954   | 45,225111 | 9,4017056        |           |  |
| 18                                | 33,266129  | 42,446579 | 45,463598  | 54,519425  | 51,768555 | 45,463598 | 42,446579 | 37,407208 | 54,770475 | 36,416113 | 61,681688  | 45,362903 | 54,519425  | 43,299862  | 48,768656 | 36,790902  | 54,770475  | 40,347774  | 43,299862 | 48,387097  | 46,059460 | 7,3377089        |           |  |
| 19                                | 52,205675  | 43,299862 | 61,160529  | 71,884260  | 60,256630 | 52,205675 | 52,813270 | 43,299862 | 58,406879 | 49,240394 | 48,857342  | 30,840844 | 52,813270  | 31,573508  | 67,623024 | 53,588846  | 46,948109  | 100,528852 | 46,948109 | 42,446579  | 53,558952 | 11,376047        |           |  |
| 20                                | 51,677442  | 47,816698 | 74,385326  | 54,770475  | 52,813270 | 74,692071 | 40,347774 | 66,943378 | 44,032923 | 48,857342 | 44,957869  | 46,003344 | 44,032923  | 46,948109  | 46,261266 | 53,588846  | 46,948109  | 100,528852 | 46,948109 | 57,03374   | 54,418965 | 14,179005        |           |  |
| 21                                | 71,884417  | 49,240394 | 91,827983  | 55,763374  | 59,509704 | 49,876278 | 18,395451 | 43,299862 | 61,677442 | 56,496938 | 90,392769  | 61,235252 | 52,813270  | 74,139016  | 66,009384 | 57,380038  | 62,769324  | 66,009384  | 53,588846 | 58,330297  | 17,074644 |                  |           |  |
| 22                                | 67,147994  | 52,205675 | 67,623024  | 54,770475  | 49,240394 | 44,032923 | 49,876278 | 66,009384 | 55,186354 | 82,54420  | 39,314516  | 49,876278 | 38,253359  | 55,186354  | 36,790902 | 44,032923  | 72,706544  | 99,062536  | 64,69874  | 64,152833  | 57,604455 | 15,278883        |           |  |
| 23                                | 60,594929  | 58,719217 | 66,806619  | 60,78538   | 68,066619 | 60,78538  | 78,861319 | 55,186354 | 57,777137 | 45,463598 | 63,795433  | 60,78538  | 49,876278  | 60,78538   | 49,876278 | 45,362903  | 64,69874   | 108,870968 | 52,205675 | 48,768656  | 60,329246 | 13,870109        |           |  |
| 24                                | 59,631478  | 79,150720 | 72,580645  | 66,049384  | 70,145646 | 67,623024 | 60,78538  | 58,258766 | 63,580028 | 75,846388 | 68,066619  | 73,145484 | 67,147994  | 52,897634  | 65,283366 | 66,00954   | 57,539206  | 109,540949 | 63,795433 | 66,00954   | 68,150511 | 11,31075         |           |  |
| Mittelwerte:                      | 60,822651  | 57,101540 | 66,067083  | 59,349921  | 57,088016 | 53,922607 | 59,349921 | 59,349921 | 59,349921 | 59,349921 | 59,349921  | 59,349921 | 59,349921  | 59,349921  | 59,349921 | 59,349921  | 59,349921  | 59,349921  | 59,349921 | 59,349921  | 59,349921 | 59,349921        | 59,349921 |  |
| Standardabweichung                | 18,470539  | 19,091994 | 19,957446  | 14,678952  | 17,798442 | 15,923704 | 14,801161 | 14,266174 | 15,088702 | 17,610319 | 13,414488  | 19,088441 | 18,624261  | 17,549776  | 16,257686 | 17,730455  | 15,454735  | 24,915599  | 12,95632  | 17,009373  |           |                  |           |  |
| Mittelwert aller Geräte zusammen: | 59,704737  |           |            |            |           |           |           |           |           |           |            |           |            |            |           |            |            |            |           |            |           |                  |           |  |
| Standardabweichung                | 18,184878  |           |            |            |           |           |           |           |           |           |            |           |            |            |           |            |            |            |           |            |           |                  |           |  |

Abb. 27: Messserie 7: Werte für die gemessenen marginalen Randspalten

## 4.8 Messserie 8:

Parameter:

- Interokklusaler Winkel : 150°
- Scansystem: Cercon® eye
- Fertigung: Netzwerkfertigung Compartis®
- Aufpassung durch Zahntechniker.

Bei dieser Messreihe ließ sich ebenfalls eine mit 24,36 µm im Vergleich zu entsprechenden Messungen ohne vorheriges Aufpassen deutlich reduzierte Standardabweichung feststellen. Gleiches gilt für die Streubreite innerhalb der lokalisationsbezogenen Messpunkte, was der Wert der Standardabweichung in diesem Bereich mit 4,44 µm zeigte. Der Mittelwert aller Messpunkte liegt bei 54,59 µm. Der höchste, für ein einzelnes Gerüst errechnete Mittelwert, ist mit 64,52 µm ebenso deutlich unter der geforderten klinischen Toleranz, wie der kleinste, mit 46,90 µm.

Die höchsten Einzelmesswerte zeigen sich erneut im Bereich der vestibulären (Messpunkte 7 und 8) und oralen (Messpunkt 20) Stumpfanteile. Die Messwerte an jedem einzelnen Messpunkt blieben unter der klinisch geforderten Toleranz von 120 µm. Der Zeitaufwand beim Aufpassen der einzelnen Kronengerüste betrug ca. 10 min.

| Kronengröße                             | α-2-01 | α-2-02    | α-2-03    | α-2-04    | α-2-05    | α-2-06    | α-2-07    | α-2-08    | α-2-09    | α-2-10    | α-2-11    | α-2-12   | α-2-13    | α-2-14    | α-2-15    | α-2-16    | α-2-17    | α-2-18     | α-2-19    | α-2-20   | MW Messp. Süd-Abw. Messp. |                       |           |
|---|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| Messpunkte                              | 1      | 58,79217  | 64,69874  | 78,51261  | 80,55820  | 53,58846  | 46,98109  | 48,76356  | 31,57508  | 73,14584  | 91,97256  | 63,14705 | 66,04938  | 68,22891  | 76,14728  | 52,81520  | 74,81447  | 50,09311   | 70,13566  | 71,81062 | 77,10210                  | 64,89639              | 13,97220  |
|   | 2      | 84,52776  | 57,06037  | 46,06314  | 46,08152  | 61,22532  | 52,81520  | 46,06314  | 55,59912  | 71,09316  | 60,25630  | 48,85742 | 47,33616  | 58,17152  | 51,67742  | 46,06314  | 36,91498  | 42,29862   | 48,85742  | 41,13347 | 48,76356                  | 33,51476              | 10,82710  |
|   | 3      | 38,25359  | 41,13347  | 38,25359  | 67,96029  | 42,12242  | 31,57508  | 42,12242  | 44,65163  | 44,65163  | 35,26784  | 46,06314 | 28,53015  | 57,38038  | 35,97278  | 31,13578  | 31,57508  | 25,83721   | 31,57508  | 42,12242 | 34,48112                  | 95,19363              | 9,60749   |
|   | 4      | 78,51261  | 52,81520  | 93,58966  | 52,81520  | 57,38038  | 38,25359  | 51,67742  | 52,81520  | 71,81062  | 48,85742  | 46,98109 | 62,34547  | 51,67742  | 63,14705  | 63,14705  | 34,81112  | 35,97278   | 46,98109  | 41,13347 | 55,58846                  | 4,82402               | 14,074156 |
|   | 5      | 118,56273 | 88,16063  | 115,27027 | 113,56844 | 73,14584  | 79,15072  | 97,94836  | 75,58185  | 81,57508  | 101,43455 | 58,17152 | 92,52751  | 113,88065 | 79,15072  | 115,90986 | 103,22066 | 103,00321  | 100,20929 | 82,54420 | 73,58185                  | 93,61894              | 16,460179 |
|   | 6      | 99,79887  | 87,90931  | 87,70163  | 99,81504  | 90,72806  | 112,05812 | 99,84498  | 66,53228  | 105,84074 | 90,92716  | 84,89318 | 91,52875  | 100,20929 | 79,15072  | 106,35776 | 117,94538 | 93,94407   | 96,77419  | 87,75379 | 99,79887                  | 94,92962              | 11,31499  |
|   | 7      | 80,06772  | 107,39081 | 82,54420  | 78,86319  | 99,06256  | 107,94293 | 106,53576 | 89,55909  | 88,99559  | 75,84688  | 96,96301 | 96,96301  | 90,77619  | 52,20565  | 95,52731  | 119,33167 | 75,84688   | 97,52731  | 88,53193 | 100,20929                 | 91,64528              | 14,51318  |
|   | 8      | 43,29986  | 87,07870  | 43,29986  | 55,59912  | 89,15738  | 112,22162 | 94,72053  | 106,36394 | 80,69549  | 52,81520  | 74,81447 | 68,96223  | 61,23552  | 30,92769  | 35,26784  | 46,06314  | 46,08152   | 79,38148  | 54,51942 | 69,86682                  | 22,04908              |           |
|   | 9      | 36,91498  | 46,16231  | 29,79482  | 32,71165  | 90,62494  | 89,76037  | 57,06037  | 58,40687  | 49,60462  | 13,52465  | 75,78673 | 33,81152  | 27,04920  | 35,26784  | 55,51684  | 36,41613  | 21,80770   | 49,23004  | 31,13578 | 31,13578                  | 95,29129              | 20,47841  |
|   | 10     | 34,48112  | 17,63927  | 25,66113  | 30,24195  | 35,26784  | 17,63927  | 25,66113  | 27,04920  | 17,63927  | 15,42042  | 25,66113 | 27,04920  | 28,53015  | 19,12609  | 32,57156  | 23,61907  | 31,13578   | 23,61907  | 21,80770 | 31,13578                  | 29,61037              | 10,02583  |
|   | 11     | 36,54170  | 39,43060  | 33,81152  | 26,01507  | 20,28907  | 24,98139  | 29,79482  | 63,58002  | 17,63927  | 28,69019  | 20,28907 | 37,40728  | 28,53015  | 19,12609  | 32,57156  | 23,61907  | 31,13578   | 23,61907  | 21,80770 | 31,13578                  | 29,61037              | 10,02583  |
|   | 12     | 45,76453  | 72,58065  | 21,16955  | 36,41613  | 24,38182  | 21,38427  | 42,33870  | 48,48151  | 42,33870  | 36,29023  | 21,16955 | 24,38182  | 30,24195  | 15,42042  | 27,38523  | 15,12068  | 33,26612   | 33,40330  | 27,21774 | 36,29023                  | 32,73215              | 13,116118 |
|   | 13     | 58,17152  | 83,64506  | 46,98109  | 44,95789  | 41,13347  | 36,54170  | 46,20126  | 24,98139  | 69,83930  | 30,84084  | 38,25359 | 44,03293  | 60,25630  | 30,92769  | 42,12242  | 49,87628  | 40,34774   | 58,71921  | 50,69472 | 50,69472                  | 47,43246              | 13,52531  |
|   | 14     | 65,28366  | 45,46359  | 58,40687  | 27,88167  | 61,68168  | 50,69472  | 58,71921  | 43,29986  | 37,40728  | 50,69472  | 49,23004 | 39,31451  | 44,95786  | 36,79092  | 38,25359  | 28,69019  | 40,34774   | 51,67742  | 58,17152 | 45,76453                  | 16,63651              | 10,227878 |
|   | 15     | 31,57508  | 39,43060  | 69,62164  | 34,48112  | 40,34774  | 33,81152  | 42,76855  | 39,77056  | 58,17152  | 30,84084  | 24,38182 | 31,13578  | 55,76374  | 27,38523  | 23,03172  | 40,34774  | 21,16955   | 28,69019  | 36,79092 | 36,79092                  | 47,31583              | 11,86254  |
|   | 16     | 60,55942  | 75,84638  | 48,76356  | 30,84084  | 36,41613  | 33,26612  | 51,50010  | 62,01661  | 49,23004  | 27,38523  | 48,76356 | 24,38182  | 56,49598  | 33,26612  | 27,38523  | 58,17152  | 36,79092   | 30,24195  | 24,19358 | 33,40330                  | 47,31583              | 13,811591 |
|   | 17     | 75,84638  | 111,94601 | 87,75379  | 45,46359  | 39,31451  | 36,29023  | 51,50010  | 22,01661  | 54,77045  | 41,13347  | 51,50010 | 45,46359  | 84,89318  | 42,44659  | 64,15283  | 63,79543  | 30,92769   | 51,41290  | 24,38182 | 42,33870                  | 42,33870              | 21,940276 |
|   | 18     | 75,66298  | 115,07843 | 112,26236 | 51,76855  | 48,48151  | 30,84084  | 42,76855  | 42,33870  | 66,53228  | 57,53926  | 45,56293 | 58,17152  | 84,89318  | 73,14584  | 73,14584  | 93,77094  | 93,77094   | 33,26612  | 60,48871 | 42,33870                  | 62,66204              | 23,321431 |
|   | 19     | 83,64506  | 112,91226 | 91,97256  | 88,99559  | 60,78538  | 64,15283  | 57,77137  | 74,13901  | 66,53228  | 82,15571  | 88,99559 | 64,15283  | 55,18634  | 54,51942  | 70,14566  | 115,90986 | 64,15283   | 51,76855  | 80,06072 | 65,28366                  | 45,54379              | 17,24189  |
|   | 20     | 49,87628  | 52,20565  | 56,49598  | 55,76374  | 64,64987  | 49,87628  | 60,25630  | 85,16206  | 40,34774  | 74,13901  | 80,06072 | 64,64987  | 33,81152  | 42,76855  | 65,28366  | 89,55909  | 42,76855   | 37,40728  | 80,69549 | 30,92769                  | 57,68939              | 17,24189  |
|   | 21     | 31,13578  | 18,95451  | 43,29986  | 35,97278  | 42,12242  | 35,97278  | 27,88167  | 27,88167  | 32,57156  | 33,40330  | 39,31451 | 49,87628  | 30,84084  | 52,81520  | 30,92769  | 33,81152  | 24,38182   | 28,69019  | 44,03293 | 24,19358                  | 15,03630              | 8,597052  |
|   | 22     | 52,20565  | 24,38182  | 49,23004  | 49,23004  | 46,20126  | 61,68168  | 42,76855  | 49,23004  | 52,20565  | 45,76453  | 43,29986 | 39,43060  | 52,20565  | 54,51942  | 60,78538  | 88,53193  | 48,76356   | 36,79092  | 54,77045 | 52,20565                  | 50,21388              | 11,98757  |
|   | 23     | 48,76356  | 24,98139  | 51,41290  | 55,18634  | 45,36293  | 24,19358  | 51,41290  | 33,40330  | 72,58065  | 30,24195  | 36,29023 | 40,48871  | 48,38707  | 39,31451  | 61,79920  | 57,53926  | 30,24195   | 63,79543  | 45,36293 | 46,50317                  | 15,40938              |           |
|   | 24     | 42,33870  | 48,48151  | 79,55412  | 75,84638  | 39,77056  | 33,40330  | 55,18634  | 46,98109  | 86,59724  | 100,93745 | 41,13347 | 37,40728  | 73,58185  | 73,14584  | 64,64987  | 76,56645  | 72,82225   | 51,76855  | 48,76356 | 64,08152                  | 60,50013              | 18,24560  |
| <b>Mittelwerte</b>                      |        | 59,97295  | 63,11365  | 62,13183  | 55,39196  | 54,33601  | 51,03474  | 54,60291  | 53,85719  | 53,44457  | 51,89424  | 50,46651 | 58,26601  | 46,90126  | 53,16780  | 63,16780  | 48,28647  | 47,54762   | 54,52168  | 49,98397 | 44,41735                  | Süd-Abw. der Süd-Abw. | 14,5153   |
| <b>Süd-Abw.</b>                         |        | 23,189628 | 30,73195  | 26,936298 | 23,896749 | 21,415032 | 22,816023 | 20,446037 | 22,792741 | 26,572629 | 21,59948  | 21,56572 | 24,317438 | 19,492652 | 36,174608 | 33,126184 | 31,26184  | 21,3704039 | 23,309393 | 21,08037 | 21,3334737                |                       |           |
| <b>Mittelwert aller Geräte zusammen</b> |        | 54,590120 |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |           |           |           |           |           |            |           |          |                           |                       |           |
| <b>Standardabweichung</b>               |        | 24,357214 |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |           |           |           |           |           |            |           |          |                           |                       |           |

Abb. 28: Messserie 8: Werte für die gemessenen marginalen Randspalten

#### 4.9. Messserie 9:

Parameter:

- Interokklusaler Winkel : 150°
- Scansystem: Cercon® eye
- Fertigung: Cercon® brain expert
- Aufpassung durch Zahntechniker.

Im Unterschied zu den beiden vorangegangenen Messreihen wurden die Gerüste über das Frässystem Cercon® brain expert gefertigt und nicht via zentraler Netzwerkfertigung.

Die Standardabweichung aller ermittelten Werte dieser Serie hatte einen Wert von 22,62  $\mu\text{m}$  und ist im Verhältnis zu den Werten der Serien ohne vorherige Aufpassung ebenfalls deutlich reduziert. Gleiches gilt für die Standardabweichung innerhalb der lokalisationsbezogenen Messpunkte, welche 2,65  $\mu\text{m}$  betrug. Der Mittelwert für alle in dieser Serie gemessenen Messpunkte und Gerüste war 59,89  $\mu\text{m}$ . Der höchste Mittelwert eines einzelnen Kronengerüstes lag bei 70,38  $\mu\text{m}$ . Der kleinste Mittelwert eines einzelnen Gerüstes betrug 51,61  $\mu\text{m}$  und ist im Vergleich zu den beiden anderen Messreihen dieser Kategorie ebenfalls erhöht.

Die größten Werte einzelner Messpunkte lagen wiederum im Bereich der vestibulären (Messpunkte 6,7 und 8) und oralen (Messpunkte 19 und 20) Stumpfanteile. Alle an den Messpunkten gemessenen Werte lagen unterhalb der geforderten klinischen Toleranz von 120  $\mu\text{m}$ . Der Zeitaufwand beim Aufpassen der einzelnen Gerüste belief sich auf ca. 3 min pro Gerüst.

| Kromengröße                        | cae-2-01   | cae-2-02   | cae-2-03   | cae-2-04   | cae-2-05   | cae-2-06  | cae-2-07   | cae-2-08  | cae-2-09  | cae-2-10   | cae-2-11   | cae-2-12   | cae-2-13  | cae-2-14   | cae-2-15   | cae-2-16   | cae-2-17   | cae-2-18   | cae-2-19    | cae-2-20   | MW Messp. | Std.-Abw. Messp.                  |  |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------------------------------|--|
| Messpunkte                         |            |            |            |            |            |           |            |           |           |            |            |            |           |            |            |            |            |            |             |            |           |                                   |  |
| 1                                  | 59,415976  | 69,359335  | 99,752555  | 36,905898  | 83,645061  | 95,489839 | 65,283366  | 57,763374 | 93,162833 | 112,221625 | 74,814417  | 76,147248  | 66,049384 | 107,942953 | 71,888260  | 80,695549  | 67,623024  | 65,283366  | 53,88846    | 64,649874  | 75,90474  | 17,042289                         |  |
| 2                                  | 74,383326  | 40,557973  | 71,884260  | 42,013439  | 53,588846  | 73,082939 | 47,816698  | 72,065444 | 47,816698 | 58,819438  | 46,063144  | 54,519425  | 67,623024 | 43,299862  | 64,081512  | 43,299862  | 61,235252  | 46,063144  | 51,411290   | 55,782436  | 11,197884 |                                   |  |
| 3                                  | 42,122142  | 38,741498  | 55,599122  | 35,397278  | 46,948109  | 39,314516 | 38,253359  | 37,407208 | 44,032923 | 32,571561  | 42,122142  | 32,571561  | 42,122142 | 32,571561  | 42,122142  | 32,571561  | 42,122142  | 32,571561  | 42,122142   | 32,571561  | 39,249352 | 10,634935                         |  |
| 4                                  | 54,519425  | 50,693308  | 76,306718  | 48,857342  | 76,306718  | 44,032923 | 49,876278  | 36,799002 | 41,133479 | 60,256630  | 49,876278  | 58,719217  | 52,05675  | 63,147015  | 53,588846  | 72,706544  | 54,519425  | 43,299862  | 51,677442   | 50,694722  | 54,480437 | 10,652328                         |  |
| 5                                  | 109,916019 | 104,283758 | 107,942953 | 75,554112  | 103,928469 | 97,527311 | 98,460608  | 88,10636  | 48,763656 | 82,444200  | 103,531710 | 91,528705  | 88,10636  | 100,528852 | 97,283486  | 109,248338 | 110,727207 | 97,198540  | 109,916019  | 109,540949 | 96,420494 | 14,517700                         |  |
| 6                                  | 109,248338 | 100,673732 | 115,544273 | 114,959140 | 93,946907  | 90,776096 | 99,844198  | 96,821435 | 96,74194  | 114,919355 | 109,248338 | 103,222066 | 99,844198 | 94,187973  | 118,291979 | 115,276927 | 108,512062 | 117,982314 | 111,9586021 | 105,008614 | 9,5074084 |                                   |  |
| 7                                  | 93,94907   | 84,706501  | 85,162064  | 59,415976  | 100,957415 | 66,806619 | 69,818930  | 84,893158 | 66,600954 | 75,665298  | 91,528705  | 91,528705  | 69,818930 | 82,155712  | 69,818930  | 82,155712  | 69,818930  | 82,155712  | 93,162833   | 94,187973  | 82,781089 | 11,828609                         |  |
| 8                                  | 70,609509  | 87,573179  | 86,07057   | 55,763374  | 84,352776  | 58,406879 | 69,818930  | 89,915738 | 61,235252 | 60,256630  | 88,10636   | 88,10636   | 49,876278 | 50,694722  | 50,694722  | 42,122142  | 60,80721   | 29,784852  | 79,841001   | 74,692071  | 70,333971 | 14,227937                         |  |
| 9                                  | 69,622164  | 52,882798  | 62,923991  | 46,063144  | 54,098419  | 47,336116 | 54,098419  | 42,981866 | 32,571561 | 40,573814  | 47,336116  | 33,811512  | 29,784852 | 46,948109  | 27,049209  | 42,122142  | 60,80721   | 29,784852  | 21,807770   | 48,763656  | 44,571132 | 12,485904                         |  |
| 10                                 | 32,711655  | 44,659071  | 27,881687  | 46,063144  | 36,541470  | 54,519425 | 24,381828  | 21,807770 | 20,286907 | 40,573814  | 39,430660  | 20,286907  | 37,893037 | 52,901781  | 39,430660  | 24,938139  | 32,711655  | 21,807770  | 58,171524   | 20,286907  | 34,864291 | 11,847834                         |  |
| 11                                 | 43,299862  | 36,559287  | 40,573814  | 54,098419  | 58,406879  | 23,031572 | 63,580028  | 44,032923 | 32,571561 | 43,299862  | 35,397278  | 35,397278  | 80,695549 | 75,665298  | 27,217742  | 33,811512  | 47,336116  | 43,299862  | 42,46579    | 33,811512  | 41,731083 | 9,2257615                         |  |
| 12                                 | 39,77056   | 41,058053  | 44,032923  | 40,347774  | 61,160529  | 33,811512 | 54,519425  | 54,770475 | 42,446579 | 36,290323  | 64,152833  | 27,217742  | 39,430660 | 43,299862  | 42,768555  | 24,193548  | 67,147994  | 55,186354  | 62,345347   | 39,430660  | 45,669410 | 11,815771                         |  |
| 13                                 | 80,060772  | 68,613612  | 64,649874  | 72,706544  | 68,228916  | 81,428903 | 52,205675  | 80,695549 | 66,049384 | 61,681688  | 84,352776  | 68,962223  | 80,695549 | 75,665298  | 74,814417  | 54,519425  | 71,181062  | 77,751775  | 57,380038   | 68,962223  | 70,527712 | 9,0023145                         |  |
| 14                                 | 79,381480  | 73,810641  | 81,428903  | 69,818930  | 56,496598  | 90,220366 | 82,266959  | 87,073670 | 61,681688 | 64,081512  | 86,016911  | 83,645061  | 76,306718 | 36,799002  | 49,876278  | 54,519425  | 74,139016  | 87,283486  | 43,299862   | 54,519425  | 69,642892 | 15,602837                         |  |
| 15                                 | 59,415976  | 54,597694  | 76,306645  | 33,811512  | 45,764353  | 40,347774 | 67,147994  | 80,59030  | 24,938139 | 24,938139  | 57,539206  | 43,299862  | 56,496598 | 27,217742  | 23,031572  | 55,763374  | 54,770475  | 61,160529  | 39,430660   | 33,811512  | 48,460020 | 17,627300                         |  |
| 16                                 | 45,764353  | 46,239557  | 61,160529  | 48,387097  | 27,881687  | 42,768555 | 76,306645  | 66,806619 | 27,382327 | 27,382327  | 39,430660  | 39,430660  | 66,00954  | 60,559429  | 48,763656  | 37,407208  | 39,430660  | 90,776096  | 48,481511   | 39,777056  | 53,083306 | 14,323146                         |  |
| 17                                 | 45,764353  | 45,340764  | 63,508065  | 72,464022  | 52,205675  | 63,508065 | 75,665298  | 51,500160 | 54,770475 | 27,382327  | 57,777137  | 39,430660  | 66,00954  | 60,559429  | 48,763656  | 37,407208  | 39,430660  | 90,776096  | 48,481511   | 39,777056  | 53,083306 | 14,323146                         |  |
| 18                                 | 66,00954   | 68,011146  | 91,178307  | 72,580645  | 66,806619  | 72,580645 | 106,234888 | 66,806619 | 48,763656 | 48,763656  | 61,160529  | 60,78538   | 85,537111 | 56,496598  | 60,559429  | 66,806619  | 61,160529  | 115,078413 | 34,481112   | 52,205675  | 68,129934 | 18,731352                         |  |
| 19                                 | 68,228916  | 87,215737  | 88,995599  | 79,150720  | 64,152833  | 74,814417 | 80,695549  | 55,186354 | 30,840844 | 49,230394  | 70,145666  | 63,580028  | 79,554112 | 53,588846  | 54,770475  | 51,500160  | 48,763656  | 64,049384  | 51,765855   | 63,800329  | 14,537484 |                                   |  |
| 20                                 | 57,380038  | 64,122150  | 54,519425  | 53,588846  | 44,032923  | 40,347774 | 82,544420  | 36,799002 | 38,253359 | 37,407208  | 48,763656  | 30,392769  | 43,299862 | 58,719217  | 18,395451  | 37,407208  | 30,840844  | 54,770475  | 15,20422    | 36,416113  | 43,010805 | 15,3629                           |  |
| 21                                 | 31,573508  | 50,693308  | 31,573508  | 66,943378  | 49,230394  | 55,763374 | 83,645061  | 49,876278 | 52,205675 | 25,838721  | 15,120968  | 37,407208  | 49,876278 | 64,152833  | 46,948109  | 40,347774  | 21,384278  | 33,811512  | 25,838721   | 37,407208  | 43,481900 | 16,389873                         |  |
| 22                                 | 45,764353  | 59,637138  | 64,649874  | 70,609509  | 51,765855  | 44,032923 | 79,150720  | 45,764353 | 39,777056 | 39,777056  | 36,799002  | 36,290323  | 61,160529 | 68,006619  | 57,777137  | 52,205675  | 33,811512  | 54,453484  | 48,763656   | 33,811512  | 51,138659 | 12,687536                         |  |
| 23                                 | 54,519425  | 31,738535  | 52,205675  | 54,453484  | 57,777137  | 51,500160 | 63,795433  | 48,387097 | 27,382327 | 60,78538   | 51,500160  | 45,764353  | 60,78538  | 94,527215  | 30,241935  | 33,811512  | 48,481511  | 30,241935  | 45,645398   | 49,435181  | 14,952758 |                                   |  |
| 24                                 | 76,566465  | 72,686913  | 84,731406  | 67,147994  | 79,150720  | 97,948396 | 104,411350 | 68,228916 | 82,155712 | 102,867844 | 64,649874  | 77,102110  | 79,554112 | 63,873457  | 91,97256   | 74,814417  | 87,283486  | 68,228916  | 55,571455   | 86,599724  | 79,277485 | 12,910905                         |  |
| Mittelwerte                        | 62,92467   | 61,435654  | 70,37794   | 38,901651  | 64,106977  | 61,773580 | 70,042243  | 61,489972 | 49,25429  | 63,294333  | 55,035075  | 61,04609   | 63,436655 | 51,671378  | 38,312144  | 39,931384  | 38,312144  | 39,931384  | 41,121093   | 54,739893  | 2,655947  | Std.-Abw. der Std.-Abw.           |  |
| Std.-Abw.                          | 21,556213  | 20,538042  | 22,758387  | 14,838132  | 21,564208  | 22,367924 | 20,228402  | 21,254686 | 20,673990 | 24,681748  | 23,340726  | 24,067946  | 19,25962  | 21,696988  | 21,149683  | 24,218400  | 24,427290  | 27,199728  | 25,002366   | 24,679995  | 13,36198  | Mittelwert der Standardabweichung |  |
| Mittelwert aller Stimpfe zusammen: | 59,886207  |            |            |            |            |           |            |           |           |            |            |            |           |            |            |            |            |            |             |            |           |                                   |  |
| Standardabweichung:                | 22,619493  |            |            |            |            |           |            |           |           |            |            |            |           |            |            |            |            |            |             |            |           |                                   |  |

Abb. 29: Messserie 9: Werte für die gemessenen marginalen Randspalten

## 5 Diskussion

Um den marginalen Randschluss von Kronen aus innovativen Materialien und/oder Herstellungstechniken zu evaluieren, werden meist initial in-vitro Untersuchungen durchgeführt (Abbate et al., 1989; Geursten, 1990; Holmes et al., 1992). Ziel dieser Laborstudie war es, die Versuche unter möglichst klinisnahen Bedingungen durchzuführen, um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die klinische Situation zu ermöglichen. Im Weiteren wurde darauf geachtet, die einzelnen Untersuchungen so zu gestalten, dass eine Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist. Leider kann jedoch eine durchgeführte In-vitro-Untersuchung technisch nur eine Annäherung an die klinische Situation darstellen (Geurtsen, 1990).

In der vorliegenden Arbeit wurde die marginale Passgenauigkeit verschiedener CAD-Scansysteme in Abhängigkeit vom okklusalen Öffnungswinkel der Präparation und der daraus resultierenden unterschiedlichen Stumpfhöhe evaluiert. Die Stümpfe für die Kronengerüste wurden mit dem Cercon® eye und mit dem 3shape D-700™ Scansystemen (beide DeguDent, Hanau) digitalisiert und per zentraler Netzwerkfertigung (Compartis®, Wolfgang-Hanau), sowie über das neu auf dem Markt eingeführte Frässystem Cercon® brain expert (DeguDent, Hanau) hergestellt. Im Vergleich zum Vorgängermodell Cercon® brain (DeguDent, Hanau), ist das Cercon® brain expert (DeguDent, Hanau) in der Lage, seine Fräser nicht nur nach drei, sondern nach 5 Achsen im Raum auszurichten. Zudem steht nun neben einem Grob- und Feinfräser noch ein weiterer Fräser zur Verfügung. Ein wesentlich genaueres Anstellen der Schleifwerkzeuge an den zu beschleifenden Rohling und damit auch verbesserte Fräsergebnisse sind somit möglich. Der Präparationswinkel (Konuswinkel) der beiden Masterstümpfe betrug jeweils  $2 \times 2^\circ$ . Die okklusalen Öffnungswinkel wurden mit  $125^\circ$  (Masterstumpf 1) und einer resultierenden Stumpfhöhe von 6,5 mm (vestibulär), sowie  $150^\circ$  (Masterstumpf 2) und einer resultierenden Stumpfhöhe von 5 mm (vestibulär), gewählt.

In der Literatur werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Stumpfpräparation einer vollkeramischen Restauration schon seit Jahren diskutiert. Die meisten Autoren bevorzugen für vollkeramische Restaurationen eine innen abgerundete Stufenpräparation oder die ausgeprägte Hohlkehlpräparation mit einem Konuswinkel von maximal  $10^\circ$  (de Rijk und Scherrer, 1996; Meier et al., 1995; Wiskott et al., 1996 und 1997). Für den zirkulären Substanzabtrag differieren die Werte in der Literatur zwischen 1 mm und 1,2 mm. Die okklusale Reduktion liegt im Bereich zwischen 1,5 mm und 2 mm (Bieniek und Spiekermann, 1993; Ottl und Lauer, 1996; Kern und Pröbster, 2002; Mörmann et al., 1998; Reuling und Siebert, 1989; Rinke und Zenatschke, 2001; Strub, 1992; Tinschert et al., 2001). Nach aktuellen Studien ist der zirkuläre Substanzabtrag für vollkeramische Versorgungen, unter der Verwendung von hochfesten Materialien (Zirkoniumdioxid), mit dem einer metallkeramischen Restauration vergleichbar, was einen zirkulären Abtrag von nur 0,8 mm als ausreichend erscheinen lässt (Stappert, 2001). Die axiale Stumpfhöhe sollte, um eine ausreichende Retention gewährleisten zu können, mindestens 4 mm betragen (Pröbster, 2001). Die hier verwendeten Stümpfe waren, je nach Lokalisation, zwischen 4 - 6,5 mm hoch.

Diese, auch in der Literatur beschriebene, Stumpfgeometrie ist Voraussetzung für eine klinisch gute marginale und interne Passung. Es ist abzuleiten, dass die Passung der Kronengerüste und somit auch die Randspaltgrößen, durch die unterschiedlichen okklusalen Öffnungswinkel und Stumpfhöhen, sowie unterschiedlichen Herstellungsmethoden beeinflusst werden. Somit erschien der Vergleich der marginalen Randspalten der Kronengerüste, welche auf Stümpfen mit unterschiedlichen okklusalen Öffnungswinkeln gefertigt wurden, sinnvoll. Entsprechend dem klinischen Ablauf wurden die Abrücke der hergestellten Masterstümpfe mit einer Präzisionsabformmasse (Impregum<sup>TM</sup> Penta<sup>TM</sup>, 3M ESPE, Seefeld) genommen und anschließend mit einem Superhartgips (GC FujiRock<sup>®</sup> EP, GC Europe N.V., Leuven, Belgien) ausgegossen. Eventuelle, durch die Abformung oder den Herstellungsprozess der Replikastümpfe entstandene Fehler oder Ungenauigkeiten, beeinflussten die Messungen im gleichen Maße, wie sie im Alltag

ebenfalls das klinische Ergebnis beeinflussen würden. Die Messungen der marginalen Randspalten sollten somit nicht idealisiert, sondern nah am klinischen Ablauf orientiert sein. Der Digitalisierungsprozess erfolgte über die in der Pilotstudie ermittelten Parameter und gemäß den Herstellerangaben des jeweiligen Scansystems. Anhand dieser Pilotserie wurde deutlich, dass die unter Werksangaben gefertigten Gerüste eine zu enge Innenpassung aufwiesen, so dass sie sich nicht vollständig auf dem Masterstumpf aufbringen ließen. Das manuelle Aufpassen durch einen Techniker zur Reduktion der Passungsungenauigkeiten bei den so eingestellten Parametern wäre somit unumgänglich gewesen. Klinisch akzeptable Randspaltgrößen im Rahmen der eigentlichen Studie waren also nur über eine Veränderung der werksseitig eingestellten Parameter zu erreichen. Der Zementspalt wurde daher für beide Systeme auf 60 µm erhöht und die Spacerfläche für den Cercon® eye Scanner auf 90% erweitert, um sinnvolle Messungen ohne das vorherige Aufpassen durch einen Zahntechniker zu erreichen. Dies zeigt, dass das manuelle Aufpassen durch einen erfahrenen Zahntechniker momentan noch ein fester Bestandteil innerhalb des Herstellungsprozesses von CAD/CAM gefertigtem Zahnersatz ist.

Die Vermessung des Randspaltes erfolgte mittels digitalfotografisch erfasster Bilder. Eine senkrechte Lage der Kamera zur Stumpfachse wurde eingestellt, um Verzerrungen durch ggf. schräge Aufnahmewinkel in Richtung Zahnachse zu vermeiden. Das Messwerkzeug, sowie die gesamte Einheit Mikroskop-Kamera-Computer, wurden mittels mehrerer Probeaufnahmen eines Messkörpers kalibriert und diese Aufnahmen zur späteren Reproduzierbarkeit archiviert. Somit war gewährleistet, dass Ungenauigkeiten bezüglich der Mess- und Umrechnungsparameter sowie anschließend innerhalb des Vermessungsprozesses, ausgeschlossen werden konnten. Die Gerüste wurden in dieser Studie nicht auf den Masterstümpfen zementiert, da der Einfluss der Zementierung auf die marginale Randspaltgröße nicht Gegenstand dieser Untersuchung sein sollte. Eine Zementierung hat eine Vergrößerung des marginalen Randspalts zur Folge (Ishikiriama et al., 1981). Zudem könnten Zementüberschüsse eine eindeutige

Vermessung der marginalen Randspaltgröße unmöglich machen. Die Gerüste wurden daher durch einen Fixationsarm mit gleichmäßig von okklusal einwirkendem Druck auf dem Masterstumpf fixiert. Eine Beeinflussung der marginalen Randspaltgrößen durch eine Zementierung der Gerüste bei gleichzeitiger sicherer und gleichmäßiger Fixierung selbiger sollte somit ausgeschlossen werden.

Das Ziel der vorliegenden Studie lag darin, zu ermitteln, ob und in welchem Ausmaß ein unterschiedlicher okklusaler Öffnungswinkel mit unterschiedlichen, resultierenden Stumpfhöhen, Einfluss auf die marginale Passgenauigkeit verschiedener CAD-Scansysteme hat. Gleichzeitig sollte ermittelt werden, mit welcher der beiden untersuchten Präparationsformen das Aufpassen durch einen erfahrenen Techniker zeitlich verkürzt und wie groß der Einfluss auf die marginale Passgenauigkeit sein würde. In dieser Studie lagen alle Mittelwerte der nicht aufgepassten Kronengerüste, die mit den Serien 1-6 gekennzeichnet wurden, zwischen 57,94  $\mu\text{m}$  (Messserie 2) bis 71,71  $\mu\text{m}$  (Messserie 5) und somit innerhalb der geforderten, klinischen Toleranz von 120  $\mu\text{m}$  (Mc Lean und von Frauenhofer, 1971). Dieses Ergebnis zeigte sich unabhängig vom okklusalen Öffnungswinkel und war bei beiden der hier verwendeten Stumpfparameter gleichermaßen zu beobachten. Luthardt erzielte in einer Studie über den marginalen Randspalt von Kronengerüsten aus Zirkoniumdioxid, welche mit dem DCS-Precident-System (BIEN-AIR DCS Solutions, Allschwil, Schweiz) hergestellt wurden, nach vorherigem manuellem Aufpassen, Mittelwerte zwischen 55  $\mu\text{m}$  und 88  $\mu\text{m}$  (Luthardt und Musil, 1997). Die sich aktuell auf dem Markt befindlichen Systeme sind bezüglich ihrer verbesserten Software und Herstellungsmechanismen mit dem von Luthardt verwendeten System nur noch schwer vergleichbar, was eine Erklärung für die im Vergleich eher hohen marginalen Randspaltwerte herangezogen werden kann. In einer aktuelleren Studie von Baig et al. (2010) wurde, wie in der vorliegenden Untersuchung, das Cercon<sup>®</sup> System (DeguDent, Hanau) zur Herstellung der Kronengerüste verwendet. Der Gesamtmittelwert der hier gemessenen marginalen Randspaltgrößen lag bei 66,4  $\mu\text{m}$ . Andere Randspalt-Studien von In-Ceram<sup>®</sup>- (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen), Procera<sup>®</sup>- (Nobel Biocare Deutschland GmbH, Köln) oder IPS Empress-

Restaurationen (Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) ergaben Mittelwerte von jeweils 161  $\mu\text{m}$ , 83  $\mu\text{m}$  und 63  $\mu\text{m}$  (Sulaiman et al., 1997). Die Genauigkeit, der sich momentan auf dem Markt befindlichen Systeme für die Herstellung von Kronen- und Brückengerüsten, liegt in diesem Bereich. Dies wurde u.a. für die VMK-Technologie mit marginalen Randspalten im Bereich von ca. 50  $\mu\text{m}$  (Limkangwalmongkol et al., 2007) als auch für mittels CAD/CAM-Verfahren hergestellten vollkeramischen Zahnersatz gezeigt (Bindl und Mörmann, 2007; Tinschert et al. 2001).

In der vorliegenden Untersuchung überschritten vereinzelt Messpunkte die Randspaltgrößen der beschriebenen Toleranzgrenze von 120  $\mu\text{m}$  im Gegensatz zu den Mittelwerten deutlich (die Maxima lagen zwischen 150 bis 200  $\mu\text{m}$ ). Die Streubreite der Messwerte innerhalb der einzelnen Messreihen war erheblich, was sich in einer hohen Standardabweichung zeigte. Diese lag für die Messserien 1-6 im Bereich von 25,97  $\mu\text{m}$  bis 37,85  $\mu\text{m}$  (teilweise > 50% des Mittelwertes). Bei allen der hier vermessenen Kronengerüste gab es Bereiche, an denen der Rand, im Gegensatz zu anderen Studien (Tinschert et al., 2001), häufig zu kurz war, was beim Messvorgang wiederum, erhöhte Werte nach sich zog. Ähnlich zu anderen Untersuchungen (Abdin-Bey, 2003) waren auch in dieser Studie durch den Fräsprozess bedingte Randaussprengungen zu beobachten. Diese Ungenauigkeiten waren bei den Kronengerüsten, welche über die zentrale Netzwerkfertigung (Compartis<sup>®</sup>, DeguDent, Hanau-Wolfgang) hergestellt wurden in einem tendenziell geringerem Maße zu beobachten. Nach Luthardt et al. (2000) hängt dies mit der Topographie der Schleifwerkzeuge zusammen. Der Haupteinflussfaktor auf die durch die Bearbeitung hervorgerufenen Randzonenschädigungen ist demnach die aktuelle Schneidfähigkeit des Schleifwerkzeugs. Aussprengungen im Bereich des Kronenrandes können vermieden werden wenn bereits verschlissene Werkzeuge immer rechtzeitig ausgewechselt werden, um eine fortlaufend optimale Schneidleistung zu gewährleisten (Luthardt und Musil, 1997; Luthardt et al., 2000). Bei der Herstellung über die zentrale Netzwerkfertigung kann das Auftreten von durch den Fräsprozess bedingten Randaussprengungen, nach den Ergebnissen dieser Studie minimiert werden. Eine mögliche Begründung ist der Einsatz von

technisch hochentwickelten Fräsmaschinen, sowie die Gewährleistung einer optimalen und regelmäßigen Gerätewartung und ein damit verbundenes, regelmäßiges Austauschen verschlissener Schleifwerkzeuge.

Nach dem manuellen Aufpassprozess durch einen Zahntechniker konnte, analog zu einer von Beuer et al. (2009) durchgeführten Studie über den Einfluss des Präparationswinkels auf die marginale und interne Passung von CAD/CAM-gefertigten Kronengerüsten aus Zirkoniumdioxid, die marginale Passung deutlich verbessert werden. In den in dieser Untersuchung mit 7-9 gekennzeichneten Messserien, innerhalb welcher durch einen Zahntechniker manuell aufgepasst wurde, lagen die Mittelwerte (der jeweils gesamten Messserien) im Bereich zwischen 54,59  $\mu\text{m}$  und 59,89  $\mu\text{m}$ . Auch die Streubreite und somit die Standardabweichung wurden reduziert und wiesen, jeweils auf die gesamte Messserie gesehen, Werte zwischen 18,18  $\mu\text{m}$  und 24,36  $\mu\text{m}$  auf. Dies galt auch für die messpunkt-bezogenen (Lokalisation), gerüst-unabhängigen Standardabweichungen. Im Gegensatz zu den Messserien ohne manuelles Aufpassen durch einen Zahntechniker gab es keinen einzelnen Messpunkt, an dem der gemessene Wert des marginalen Randspalts die von Mc Lean und von Frauenhofer (1971) geforderte Toleranz von 120  $\mu\text{m}$  überschritten hat. Dieses Ergebnis zeigt, dass durch die manuelle Bearbeitung die marginale Passung der einzelnen Gerüste, unabhängig vom System und der Herstellungsart, deutlich verbessert werden konnte. Somit unterstreicht dies die Wichtigkeit und die Unerlässlichkeit dieses Arbeitsschritts innerhalb des Herstellungsprozesses des CAD/CAM-gefertigten Zahnersatzes. Während des Aufpassens durch einen erfahrenen Zahntechniker wurde der zeitliche Aufwand erfasst. Es zeigte sich, dass die Kronengerüste, welche mit dem Cercon<sup>®</sup> eye Scanner (DeguDent, Hanau) digitalisiert und mit der Fräseinheit Cercon<sup>®</sup> brain expert (DeguDent, Hanau) hergestellt wurden (Messserie 8), hierbei mit drei Minuten pro Gerüst die geringste Zeit in Anspruch nahmen. Bei den Gerüsten, die mit dem 3shape D-700<sup>™</sup> (DeguDent, Hanau) eingescannt und via Netzwerkfertigung (Compartis<sup>®</sup>, DeguDent, Hanau-Wolfgang) (Messserie 9) hergestellt wurden, lag die Aufpasszeit pro Gerüst bei durchschnittlich 5 Minuten. Bei den Gerüsten, die mit dem

Cercon<sup>®</sup> eye digitalisiert und durch Netzwerkfertigung (Compartis<sup>®</sup>, DeguDent, Hanau-Wolfgang) hergestellt wurden (Messserie 7), lag der Zeitaufwand bei durchschnittlich 10 Minuten. Da die Aufpassungszeiten für alle Systeme unter 15 Minuten lagen, kann generell von einem akzeptablen Handling gesprochen werden. Diese Ergebnisse lassen auf eine relativ enge Innenpassung bei den Gerüsten, welche in der Kombination Cercon<sup>®</sup> eye (CAD) und Compartis<sup>®</sup> (CAM) hergestellt wurden (10 min. Zeitaufwand), schließen. Die Innenpassung dieser Gerüste hatte somit einen erhöhten Optimierungsbedarf, bzw. scheint die zentrale Fertigungsweise weniger Toleranzbereiche aufzuzeigen.

Bei allen neun Messserien war zu beobachten, dass die Kronengerüste, bei denen der Cercon<sup>®</sup> eye Scanner (DeguDent, Hanau) zur Digitalisierung der Stümpfe verwendet wurde, eine tendenziell schlechtere Passung (statistisch nicht signifikant) bei größerer Stumpfhöhe aufwiesen, als die vergleichbaren, bei denen der 3shape D-700<sup>™</sup> (DeguDent, Hanau) als Scansystem eingesetzt wurde. Besonders auffällig war diesbezüglich die Häufung größerer Randspalten in spezifischen Bereichen bei den Restaurationen, bei denen eine Digitalisierung der Stümpfe mittels des Cercon<sup>®</sup> eye Scanners (DeguDent, Hanau) erfolgte. Hohe Werte traten stets an den vestibulären (Messpunkte 5-8) und oralen (Messpunkte 16-20) Stumpfabschnitten auf. Hier lag jeweils die relativ größte Stumpfhöhe vor, was bei den Gerüsten, bei welchen die Stümpfe über den 3shape D-700<sup>™</sup> (DeguDent, Hanau) eingescannt wurden, in dieser Form nicht zu beobachten war. Dieses Ergebnis blieb auch nach dem manuellen Aufpassen durch einen Zahntechniker bestehen. Dies zeigt, dass der Cercon<sup>®</sup> eye Scanner bei einem klein gewählten Konvergenzwinkel, wie er mit  $2 \times 2^\circ$  in dieser Studie verwendet wurde, und somit steiler Präparation, zwar eine klinisch akzeptable marginale Passung erreicht, aber die Randspaltgrößen an den vertikalen Flanken des Stumpfes im Vergleich eher größer ausfallen. Diese Ergebnisse sind ein Indiz dafür, dass der Cercon<sup>®</sup> eye Scanner (DeguDent, Hanau) tendenziell bei sehr steilen Präparationen in Kombination mit großen Stumpfhöhen ( $\geq 5\text{mm}$ ) nicht die maximal erreichbare Genauigkeit realisiert. Dies gelingt, nach dieser Studie, mit dem 3shape D-700<sup>™</sup> (DeguDent, Hanau) besser, was möglicherweise durch das

Aufbringen des Modells auf einen schwenkbaren Teller während des Digitalisierens zu erklären ist. Hiermit können ggf. sehr steile Bereiche optimaler erfasst werden. Eine Wechselbeziehung, zwischen steil gewähltem Präparationswinkel und abnehmender marginaler Passung, wurde bereits in anderen Studien validiert (Beuer et al., 2009).

Der Vergleich zwischen der zentralen Netzwerkfertigung und der lokalen Herstellung mit der Fräseinheit Cercon<sup>®</sup> brain expert (DeguDent, Hanau) ergab keine signifikanten Unterschiede. Korrespondierend zu einer Studie von Beuer ist es mit beiden Fertigungsmethoden möglich, klinisch akzeptable marginale Randspaltgrößen zu erreichen (Beuer et al., 2008).

## **5.1 Schlussfolgerungen für die Praxis**

Nach den Ergebnissen dieser Studie ist bei der Präparation für CAD/CAM gefertigte vollkeramische Restaurationen darauf zu achten, dass der Konvergenzwinkel nicht zu klein gewählt ist ( $> 2 \times 2^\circ$ ). Eher steile Präparationen in Kombination mit einer großen axialen Stumpfhöhe, führen zu einer Reduktion der marginalen Passgenauigkeit der CAD/CAM gefertigten Restaurationen. Auf ein Aufpassen der Restaurationen durch einen erfahrenen Zahntechniker ist nicht zu verzichten, da dies zu einer klinisch relevanten Verbesserung der marginalen Passung führt. Ohne den besagten Aufpassprozess ist ein klinisch akzeptabler marginaler Randschluss nur schwer zu erreichen. Es sollte generell bei der Präparation darauf geachtet werden, möglichst glatte Stumpfoberflächen und abgerundete Kanten anzulegen, da scharfe Kanten die Passung der Restauration negativ beeinflussen können.

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden Meistermodelle (Replika) mit den okklusalen Öffnungswinkeln von 125° und 150°, mittels des Cercon® eye Scanners und des 3shape D-700™ (beide DeguDent, Hanau), digitalisiert und Gerüste aus Zirkoniumdioxid für Einzelkronen hergestellt. Gefertigt wurden die Gerüste sowohl durch zentrale Netzwerkfertigung (Compartis®, DeguDent, Hanau-Wolfgang) als auch mittels der Fräseinheit Cercon® brain expert (DeguDent, Hanau). Ziel dieser Studie war es herauszufinden, bei welchem okklusalen Öffnungswinkel die bessere marginale Passung vorliegt. Gleichzeitig sollte untersucht werden, ob der Randschluss unterhalb der klinischen Toleranzgrenze von 120 µm liegt und wie groß die Unterschiede zwischen den verschiedenen Scansystemen und den beiden voneinander abweichenden Fertigungsverfahren sind. Hierfür wurden die einzelnen Kronengerüste entweder manuell aufgepasst oder nicht aufgepasst auf dem jeweiligen Metall-Masterstumpf vermessen. Zur qualitativen und quantitativen Beurteilung wurde jeder der beiden Masterstümpfe zirkulär mit 24 Messpunkten versehen, an denen jedes einzelne Gerüst unter einem Auflichtmikroskop fotografiert und am Computer vermessen wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass die Mittelwerte innerhalb der gesamten Studie von 54,59 µm bis 71,71 µm bei allen hier verwendeten Parametern innerhalb des klinischen Toleranzbereichs von 120 µm lagen. Zugleich war zu erkennen, dass die marginale Passgenauigkeit durch das manuelle Aufpassen eines Zahntechnikers insgesamt deutlich verbessert werden konnte. Bei einer wie in dieser Studie mit einem Konvergenzwinkel von 2x2° eher steilen Präparation zeigte sich in bestimmten Stumpfbereichen ein vergrößerter marginaler Randspalt bei den mit dem Cercon® eye Scanner digitalisierten Stümpfen. Bei den divergenten Herstellungsmethoden zeigten sich keine klinisch relevanten Unterschiede bezüglich der marginalen Passung. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass speziell das Cercon® System bei zu steilem Präparationswinkel eine, im Vergleich, reduzierte marginale Passung erzielt, diese aber, nach wie vor, deutlich innerhalb des klinischen Toleranzbereiches liegt.

## 7 Literaturverzeichnis

Abbate MF, Tjan AH, Fox WM (1989):

Comparison of the marginal fit of various ceramic crown systems.

J Prosthet Dent 61, 527 - 531

Abdin-Bey S:

Untersuchungen zu Passgenauigkeit vollkeramischer Systeme.

Med. Diss. München 2003

Apholt W, Bindl A, Lüthy H, Mörmann WH (2001):

Flexural strength of Cerec2 machined and jointed InCeram-Alumina and InCeram-Zirconia bars.

Dent Mater 17, 260–267

Baig MR, Tan KB, Nicholls JI (2010):

Evaluation of the marginal fit of a zirconia ceramic computer-aided machined (CAM) crown system.

J Prosthet Dent 104, 216-27.

Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Naumann M (2008)

Effect of preparation angles on the precision of zirconia crown copings fabricated by CAD/CAM system.

Dent Mater J 27, 814-20

Beuer F, Aggstaller H, Richter J, Edelhoff D, Gernet W (2009):

Influence of preparation angle on marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia crown copings.

Quintessence Int 3, 243-250

Bieniek KW, Spiekermann H (1993):

Innovative vollkeramische Kronen- und Brückensysteme - Eine kritische Bewertung.

Quintessenz 44, 529-542; 689-697

Bindl A, Mörmann WH (2007):

Fit of all-ceramic posterior fixed partial denture frameworks in vitro.

Int J Periodontics Restorative Dent 6, 567-575

Böttger H, Häupl K, Kirsten H:

Zahnärztliche Prothetik.

Band I, 2. Auflage, Bath, Leipzig 1961

Breustedt A:

Zahnärztliche Keramik.

2. Auflage, VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1968

Chan C, Weber H (1986):

Plaque retention on teeth restored with full-ceramic crowns: A comparative study.

J Prosthet Dent 56, 666-671

Curtis S, Richards M, Meiers J (1993):

Early erosion of glassionomer cement at crown margins.

Int J Prosthodont 6, 553–557

Demmel HJ (1971):

Der Einfluss verschiedener Zementsorten auf den Randschluss passgenauer Kronen.

Dtsch Zahnärztl Z 26, 700-705

De Rijk, WG, Scherrer SS(1996):

Stresses in a ceramic plate on substrates with different elastic moduli, an FES analysis.

J Dent Res 75, 249, Abst 1851

Eichner K:

Metallkeramik in der zahnärztlichen Prothetik.

Hanser, München 1979

Erpenstein H, Kerschbaum Th (1995):

Frakturanfälligkeit von glas- und galvanokeramischen Kronen.

Dtsch Zahnärztl Z 50, 668-670

Felton DA, Kanoy BE, Bayne SC, Wirthman BS (1991):

Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health.

J Prosthet Dent 65, 357-364

Fenske C, Jurren MP, Sadat-Khonsari MR, Jüde HD (1999):

In-vitro-Untersuchung zur Bruchfestigkeit von IPS-Empress-Kronen in Abhängigkeit von der Stufenbreite.

Dtsch Zahnärztl Z 54, 732-734

Freese AS (1959):

Porcelain fused to iridio-platinum crowns.

J Prosthet Dent 9, 847-850

Geurtsen W (1990):

Krown and restauration margins.

Dtsch Zahnärztl Z 45, 380-386

Gropp HP, Schwindling R (1971):  
Statistische Feststellungen über fehlerhafte Kronengestaltung mit Folgen auf Zahn,  
Parodont und Gingiva.  
Dtsch Zahnärztl Z 26: 734-742

Hahn R, Netuschil L, Löst C (1992):  
Initiale Plaquebesiedelung keramischer Restaurationsmaterialien.  
Dtsch Zahnärztl Z 47, 330-334

Hofmann-Axthelm W:  
Die Geschichte der Zahnheilkunde.  
2.Aufl. Quintessenz Verlags-GmbH. Berlin, Chicago, London, usw. 1985

Holmes JR, Sulik WD, Holland GA, Bayne SC (1992):  
Marginal fit of castable ceramic crowns.  
J Prosthet Dent 67, 594-599

Hölsch W, Kappert HF (1992):  
Festigkeitsprüfung von vollkeramischem Einzel- Zahnersatz für den Front- und  
Seitenzahnbereich.  
Dtsch. Zahnärztl Z 47, 621-623

Hugel R:  
Untersuchungen über die Wandstärken von Schmelz und Dentin an oberen  
Frontzähnen und Prämolaren.  
Med. Diss. Würzburg 1970

Ishikiriama A, Oliveira JF, Vieira DF, Mondelli J (1981):  
Influence of some Factors on the fit of cemented crowns.  
J Prosthet Dent 45, 400-404

Jacobs M, Windeler A (1991):  
An investigation of dental luting cement solubility as a function of the marginal gap.  
J Prosthet Dent 65, 436-442

Kappert HF:  
Vollkeramik: Werkstoffkunde- Zahntechnik-klinische Erfahrung.  
Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 1996

Kappert HF:  
Verblendung von Oxidkeramiken.  
In: Neue Oxidkeramiken und CAD/CAM- Techniken im Dentalbereich. Klinik,  
Labortechnik und Werkstoffkunde.  
Detuscher Ärzte Verlag DÄV, Köln 2007, S.47-58

Kappert HF, Krahl M (2001):  
Keramiken- eine Übersicht.  
Quintessenz Zahntech 27, 668-704

Kappert HF, Knode H, Manzotti L (1990):  
Metallfreie Brücken für den Seitenzahnbereich.  
Dent Lab 38, 177

Kappert HF, Schwickenrath H, Veich S, Bregazzi J (1994):  
Zur Korrosionsfestigkeit aufbrennfähiger Edelmetalllegierungen.  
Dtsch Zahnärztl Z 49, 716-721

Kern M (2010):  
Longitudinal bewährt – Tagungsbericht des 9. Keramik-Symposiums in München.  
Dtsch Zahnärztl Z 65, 115-119

Kern M, Pröbster L (2002):  
Vollkeramik für ästhetische und dauerhafte Restaurationen.  
dental-praxis 14, 269-276

Kerschbaum T (1986):  
Überlebenszeiten von Kronen- und Brückenzahnersatz heute  
Zahnärztl Mitt 76, 231-235

Kerschbaum T:  
Normierter Randspalt – Eine Analyse aus klinischer Sicht  
In: Walther, W., Heners, M. (Hrsg.): Qualitätssicherung in der Zahnheilkunde-  
Anspruch und Wirklichkeit  
Hüthig, Heidelberg 1995, S.19-45

Kerschbaum T (1998):  
Langzeit-Erfolgsaussichten von festsitzendem Zahnersatz.  
Zahnärztl Mitt 88, 2698-2703

Kerschbaum T, Thie BM (1981):  
Funktionsverlust von festsitzendem Zahnersatz.  
Dtsch Zahnärztl Z 41, 2-7

Kerschbaum T, Porschen C (1998):  
Kronenrandschluß und Konturqualität in fünf Dentallaboratorien.  
Dtsch Zahnärztl Z 53, 620-623

Kerschbaum T, Faber F (2001):  
Randschluss von Kronen aus dem Ausland.  
Zahnärztl Mitt 91, 44-46.

Kerschbaum T, Mentler-Koeser M, Stender E (1990):  
Qualitätskontrolle mit der zahnärztlichen Sonde?  
Zahnärztl Mitt 80, 2200-2208

- Kimmel K (1981):  
Die zahnärztliche Präparationstechnik - Grundlagen – Situationsanalyse –  
Arbeitskonzept.  
Dtsch Zahnärztl Z 36, 619-634
- Kirsten H:  
Die Jacketkrone.  
Hermann Meusser Verlag, Berlin 1929
- Krumbholz K (1996):  
Stand und Entwicklung von Dentalkeramiken.  
ZWR 3, 193-199
- Leempoel P:  
Leevensduur en nabehandlingen van kronen en conventionele bruggen in de  
algemene praktijk.  
Med. Dent. Habilitationsschrift, Nijmegen 1987
- Lehmann KM, Hellwig E:  
Einführung in die restaurative Zahnheilkunde.  
8. Auflage, Urban & Schwarzenberg, München 1998
- Lenz P, Körber KH (1968):  
Beitrag zum Problem der Randgestaltung von Ersatzkronen.  
Zahnärztl Welt 69, 440-445
- Limkangwalmongkol P, Chiche GJ, Blatz MB (2007):  
Precision of Fit of Two Margin Designs for Metal-Ceramic Crowns.  
J Prosthodont 16, 233-237
- Luthardt RG, Musil R (1997):  
CAD/CAM-gefertigte Kronengerüste aus Zirkoniumdioxid-Keramik  
Dtsch Zahnärztl Z 52, 380-384
- Luthardt RG, Sandkuhl O, Reitz B (1999):  
Zirconia-TZP and Alumina-Advanced Technologies for the Manufacturing of Single  
Crowns.  
Eur J Prosthodont Rest Dent 7, 113-119
- Luthardt RG, Holzhüter M, Sandkuhl O, Herold V, Walter M (2000):  
Festigkeit und Randzonenschädigung von Zirkonia-TZP-Keramik nach simulierter  
Innenbearbeitung von Kronen.  
Dtsch Zahnärztl Z 55, 785-789
- Luthardt RG, Sandkuhl O, Herold V, Walter MH (2001):  
Accuracy of mechanical digitizing with a CAD/CAM system for fixed restorations.  
Int J Prosthodont 14, 146-151

Marx R (1993):  
Moderne keramische Werkstoffe für ästhetische Restaurationen- Verstärkung und Bruchzähigkeit.  
Dtsch Zahnärztl Z 48, 229-236

Marxkors R (1980):  
Der Randschluss der Gusskronen.  
Dtsch Zahnärztl Z 35, 913-915

Marxkors R:  
Funktioneller Zahnersatz.  
Carl Hanser Verlag, München 1988

McLean JW, von Frauenhofer JA (1971):  
The estimation of cement film thickness by an in vivo technique.  
Br Dent J 131, 107-111

McLean, JW:  
Wissenschaft und Kunst der Dentalkeramik  
Quintessenz, Berlin 1978

Mehl A (2001):  
Technologische Grundlagen und Klassifizierungen.  
Zahnarzt Wirtschaft Praxis 4, 6-9

Mehl A, Gloger W, Kunzelmann KH, Hickel R (1996):  
Entwicklung eines neuen optischen Oberflächenmessgerätes zur präzisen dreidimensionalen Zahnvermessung.  
Dtsch Zahnärztl Z 51, 23-27

Meier M, Fischer H, Richter EJ, Maier HR, Spiekermann H(1995):  
Einfluss unterschiedlicher Präparationsgeometrien auf die Bruchfestigkeit vollkeramischer Molarenkronen.  
Dtsch Zahnärztl Z 50, 295

Minimazato T (1990):  
Slip-cast zirconia dental roots with tunnels drilled by laser process.  
J Prosthet Dent 63, 677-684

Mörmann WH (2006):  
20 Jahre keramische CEREC CAD/CAM Restaurationen. Technischer Stand und klinische Bewährung.  
Zahnärztl Mitt 96, 58-65

Mörmann WH, Bindl A, Lüthy H, Rathke A (1998):  
Effects of preparation and luting system on all-ceramic computer-generated crowns.  
Int J Prosthodont 11, 333-339

Nordlander J (1988):

The taper of clinical preparations for fixed prosthodontics.

J Prosthet Dent 60, 148-151

Ottl P, Lauer HC (1996):

Präparationstechnik für metallkeramische und vollkeramische Restaurationen.

Quintessenz 47, 623-640

Polanzky R, Reichhold Ch, Lorenzoni M, Haas M, Arnetzl G, Bratschko RO (1998):

Die Topographie der Pulpa im Seitenzahnberiech nach Stufenpräparation für vollkeramische Kronen.

Dtsch Zahnärztl Z 53, 643-647

Pospiech P. Tinschert J. Raigrodski A.,

Keramik- Vollkeramik,

3M Espe AG, Seefeld 2004

Pröbster L (2001):

Sind vollkeramische Kronen und Brücken wissenschaftlich anerkannt?

Wissenschaftliche Stellungnahme DGZMK

Dtsch Zahnärztl Z 56, 575-576

Pröbster L, Groten M:

Vita Vollkeramik – Vita In-Ceram – Leitfaden für vollkeramische Restaurationen in der zahnärztlichen Praxis.

3. Auflage, Vita, Bad Säckingen 2006

Rehberg HJ (1971):

Der Kronenrand; Exakter Randschluß - was ist das?

DZZ 26, 696-699

Reich S, Wichmann M (2004):

Unterschiede zwischen den CEREC-3D-Software-Versionen 1000 und 15000

Int J Comp Dentistry 7, 47-60

Reuling N (1987):

Keramische Werkstoffe-Entwicklungsstand und Bedeutung in der restaurativen Zahnheilkunde.

Zahnärztl Welt 96, 1139-1146

Reuling N, Siebert GK (1989):

Keramische Werkstoffe- Entwicklungsstand und Bedeutung

Dent Lab 37, 67-71

Rinke S, Zenatschke R (2001):

Neue Perspektiven in der Anwendung vollkeramischer Seitenzahnrestorationen auf Zirkonoxidbasis.

Quintessenz 52, 1151-1159

Sadoun M:  
Künftige Entwicklungen mit In-Ceram.  
In: Kappert (Hrsg.): Vollkeramik: Werkstoffkunde-Zahntechnik-klin. Erfahrung.  
Quintessenz Verlags-GmbH Berlin 1996, S. 225-230

Schmitz K:  
Dentalkeramik.  
In: Eichner K.: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.  
5. Aufl., Bd. 2, Hüthig, Heidelberg 1985, S.191-218

Schweiger M (2004):  
Zirkoniumoxid – Hochfeste und bruchzähe Strukturkeramik.  
Ästhet Zahnmed 5, 248-257

Siervo S, Bandettini B, Siervo P, Falleni A, Siervo R (1994):  
The Celay system: a comparison of the fit of direct and indirect fabrication  
techniques.  
Int J Prosthodont 7, 434-439

Spiekermann H (1986):  
Zur marginalen Passform von Kronen und Brücken.  
Dtsch Zahnärztl Z 41, 1015-1019

Stappert CF (2001):  
All ceramic restoration of trauma-induced defects of front teeth.  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 111(10), 1179-92

Strub JR (1992):  
Vollkeramische Systeme.  
Dtsch Zahnärztl Z 47, 566-571

Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M:  
Curriculum Prothetik Band I–III.  
Quintessenz Verlag, Berlin 1999

Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M  
Curriculum Prothetik Band II.  
3. Auflage, Quintessenz Verlag, Berlin 2005

Studart AR, Filser F, Kocher P, Lüthy H, Gauckler LJ (2007):  
Mechanical and fracture behaviour of veneer-framework composites for all-ceramic  
dental bridges.  
Dent Mater 23, 115-123

Sulaiman F, Chai J, Jameson LM, Wozniak WT (1997):  
A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress and Procera Crowns.  
Int J Prosthodont 10, 478-484

Tinschert J, Dicks Ch, Färber H, Marx R (1996):

Bruchwahrscheinlichkeit von verschiedenen Materialien für vollkeramische Restaurationen.

Dtsch Zahnärztl Z 51, 406-409

Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekerman H, Anusavice KJ (2001):

Marginal fit of alumina- and zirconia- based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system.

Oper Dent 4, 367-374

Uo M, Sjögren G, Sundh A, Watari F, Bergmann M, Lerner U (2003):

Cytotoxicity and bonding property of dental ceramics.

Dent Mater 19(6), 487-492

Weber W, Rieger W:

ZrO<sub>2</sub>-TZP in Dentistry: Materials, Properties and Applications.

In: Key engineering materials. Proceedings of the 13th Int. Symp. on Ceramics in Medicine. Bologna, Italy 22.Nov. 2000.

Trans Tech Publications, Switzerland, 2001, S. 929-932.

Wikipedia s.v., September 2010

<http://de.wikipedia.org/wiki/CEREC>

Windecker D, Ohle K (1971):

Einfluß des Herstellungsverfahrens auf den Randschluß von Metallkronen

Dtsch Zahnärztl Z 26, 706-715

Wiskott HWA, Nicholls JI, Belser UC (1996):

The relationship between abutment taper and resistance of cemented crowns to dynamic loading.

Int J Prosthodont 9, 117

Wiskott HWA, Nicholls JI, Belser UC (1997):

The effect on tooth preparation height and diameter on the resistance of complete crowns to fatigue loading.

Int J Prosthodont 10, 207

## 8 Anhang

### 8.1 Publikationen im Zusammenhang mit dieser Dissertation

Postervortrag:

Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V. im Rahmen des Deutschen Zahnärztetages vom 11.-12. November 2010 in Frankfurt am Main.

### Marginale Passgenauigkeit verschiedener CAD/CAM-Systeme in Abhängigkeit von der Präparationsform



Daniel Fornefett<sup>1</sup>, Matthias Rödiger<sup>1</sup>, Sven Rinke<sup>2</sup>, Alfons Hüls (†)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Abteilung Prothetik, Universität Göttingen, Robert-Koch-Str. 40, 37075 Göttingen, <sup>2</sup>Evident Consulting GmbH, Hanau, Germany



#### Einleitung:

Der klinische Langzeiterfolg von dentalen Restaurationen ist auch von der marginalen Passgenauigkeit abhängig. Man postuliert eine klinische Toleranz von 120 µm bei Randspalten (Mc Lean und von Fraunhofer, 1971). Komplikationen, die von der Größe des marginalen Randspaltes abhängig sein können, sind beispielsweise Sekundärkaries und Retentionsverluste. In dieser Studie sollten marginale Randspalten von Zirkoniumdioxid-Einzelzahnkronen-Gerüsten verschiedener CAD/CAM-Systeme evaluiert werden. Hierbei sollte als Parameter der okklusale Öffnungswinkel und damit die Stumpfhöhe variiert werden.

#### Material und Methoden:

Die Masterstümpfe wurden analog zur Präparation eines Oberkiefer-Prämolaren zur Aufnahme einer vollkeramischen Restauration mit einer innen gerundeten Stufe von 1 mm Schnitttiefe aus einer Metalllegierung (Pallia<sup>®</sup> M, DeguDent, Hanau) hergestellt. Die mittels Präzisionsabformung (Impregum Penta<sup>™</sup>, 3MESPE, Seefeld) aus Gips (Fuji-Rock<sup>®</sup> EP, GC EUROPE N.V., Leuven, Belgien) gefertigten Replikastümpfe wurden durch die Scansysteme Cercon eye<sup>®</sup> oder 3shape D-700<sup>™</sup> (beide DeguDent, Hanau) digitalisiert und per zentraler Netzwerkfertigung (Compartis<sup>®</sup>, Wolfgang-Hanau), sowie über das neu auf dem Markt eingeführte Frässystem Cercon<sup>®</sup> brain expert (DeguDent, Hanau) hergestellt. Der Präparationswinkel (Konuswinkel) der beiden Masterstümpfe betrug jeweils 2x2°. Die okklusale Öffnungswinkel wurden mit 125° und einer resultierenden Stumpfhöhe von 6,5 mm (vestibulär), sowie 150° und einer resultierenden Stumpfhöhe von

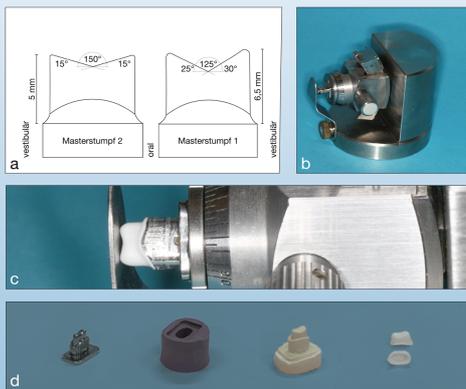


Bild a: Die unterschiedlichen Geometrien der Masterstümpfe  
Bild b und c: Fixierungsapparatur zur Aufnahme der Kronengerüste (siehe Text)  
Bild d (v. l. n. r.): Masterstumpf, Präzisionsabformung, Replikastumpf, fertiggestellte Gerüste

5 mm (vestibulär), gewählt. Die Vermessung des Randspaltes erfolgte an 24 Messpunkten je Gerüst mittels digitalfotografisch erfasster Bilder unter 35facher Vergrößerung (EZ4D-Auflichtmikroskop, Leica Microsystems, Wetzlar). Pro Messserie wurden 20 Gerüste vermessen. Um eine annähernd senkrechte Lage der Kamera zur Stumpfachse zu erreichen und geometrische Verzerrungen durch die Optik zu minimieren, wurde der Stumpf auf einer Rotationsachse befestigt. In einem abschließenden Schritt wurden die auf dem zweiten Masterstumpf (150° okklusale Öffnungswinkel) gefertigten Gerüste durch einen Zahntechniker manuell aufgemast und erneut vermessen.

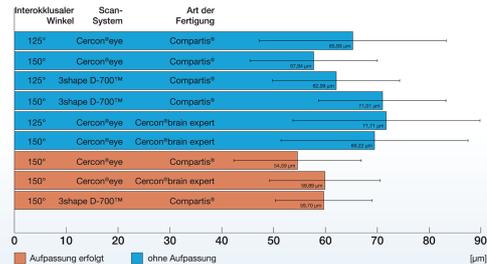


Diagramm: Gemittelte Randspaltgrößen der einzelnen Messserien

#### Ergebnisse:

Die Mittelwerte der nicht aufgemasteten Kronengerüste lagen zwischen 57,94 µm bis 71,71 µm und somit innerhalb der geforderten, klinischen Toleranz von 120 µm (Mc Lean und von Fraunhofer, 1971). Dieses Ergebnis zeigte sich unabhängig vom okklusalen Öffnungswinkel und war bei beiden der hier verwendeten Stumpfparameter gleichermaßen zu beobachten. Die marginalen Randspaltgrößen vereinzelter Messpunkte überschritten die beschriebene Toleranzgrenze von 120 µm teilweise deutlich (die Maxima lagen zwischen 150 bis 200 µm). Die Streubreite der Messwerte innerhalb der einzelnen Messreihen war erheblich, was sich in einer hohen Standardabweichung ausdrückte. Diese lag vereinzelt im Bereich von 25,97 µm bis 37,85 µm (teilweise > 50% des Mittelwertes). Bei allen neun Messserien war zu beobachten, dass die Kronengerüste, bei denen der Cercon<sup>®</sup> eye Scanner (DeguDent, Hanau) zur Digitalisierung der Stümpfe verwendet wurde, eine tendenziell schlechtere Passung (statistisch nicht signifikant) bei größerer Stumpfhöhe aufwiesen. Besonders auffällig war diesbezüglich die Häufung größerer Randspalten in spezifischen Bereichen. Hohe Werte traten stets an den vestibulären und oralen Stumpfabschnitten auf. Mittels manuellem Aufpassen durch einen Zahntechniker konnte analog zu einer von Beuer (2009) durchgeführten Studie, die marginale Passung deutlich verbessert werden. Da die Aufpasszeiten für alle hier verwendeten Parameter unter 15 Minuten lagen, kann generell von einem akzeptablen Handling gesprochen werden. Der größte Zeitaufwand ergab sich bei jenen Gerüsten, welche in der Kombination Cercon<sup>®</sup> eye (CAD) und Compartis<sup>®</sup> (CAM) hergestellt wurden (10 min. Zeitaufwand). Die Innenpassung dieser Gerüste hatte somit einen erhöhten Optimierungsbedarf, bzw. scheint die zentrale Fertigungsweise weniger Toleranzbereiche aufzuzeigen.

#### Schlussfolgerungen:

Die in dieser Studie erzielten Passungsqualitäten sind in ihrer Gesamtheit als akzeptabel zu bezeichnen. Bei der Präparation für CAD/CAM gefertigte vollkeramische Restaurationen ist darauf zu achten, dass der Konvergenzwinkel nicht zu klein gewählt ist (> 2x2°), da die hohen Schwankungen in dieser Studie unter anderem auf die sehr steilen Präparationswände zurückzuführen sind (vergl. Beuer, 2009). Auf ein Aufpassen der Restaurationen durch einen erfahrenen Zahntechniker ist nicht zu verzichten, da dies zu einer klinisch relevanten Verbesserung der marginalen Passung führt. Es sollte generell bei der Präparation darauf geachtet werden, möglichst glatte Stumpfoberflächen und abgerundete Kanten anzulegen, da scharfe Kanten die Passung der Restauration negativ beeinflussen können.

Literatur:  
Beuer F, Aggastaller H, Richter J, Edelhoff D, Gernert W:  
Influence of preparation angle on marginal and internal fit of CAD/CAM-fabricated zirconia crown copings.  
Quintessenz Int. (2009); 3: 243-250

McLean JN, von Fraunhofer JK:  
The estimation of cement film thickness by an in vivo technique.  
Br Dent J (1971); 131: 107-111

## Lebenslauf

Geboren wurde ich am 2. Januar 1979 in Göttingen als Sohn von Margarete Fornefett, geb. Meier, und Heinz-Otto Fornefett.

Von 1985 bis 1989 besuchte ich die Heinrich-Christian-Burkhardt-Grundschule in Adelebsen, von 1989 bis 1991 die Bonifatiuschule II in Göttingen, von 1991-1998 das Max-Planck-Gymnasium in Göttingen und von 1998 bis 1999 die Georg-Christoph-Lichtenberg-Gesamtschule in Göttingen, an welcher ich meine allgemeine Hochschulreife im Mai 1999 erlangte.

Meinen Wehrdienst absolvierte ich von Oktober 1999 bis Juni 2000 in der Medem Kaserne Holzminden. Anschließend begann ich im August 2000 eine Ausbildung zum Zahntechniker in Northeim. Diese beendete ich im April 2002 vorzeitig, um zum Sommersemester 2002 mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Universität Göttingen beginnen zu können. Die naturwissenschaftliche Vorprüfung legte ich im März 2003 ab und die zahnärztliche Vorprüfung im September 2004. Im Juni 2007 schloss ich das Studium der Zahnmedizin an der Georg-August-Universität Göttingen mit dem Bestehen des Staatsexamens ab. Seit Oktober 2007 bin ich wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Prothetik des Universitätsklinikums Göttingen. Meine Dissertation begann ich im April 2009 bei Prof. Dr. Dr. Alfons Hüls in der Abteilung Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Hüls für die Überlassung dieses interessanten Themas sowie für die hilfsbereite Betreuung.

Prof. Dr. Nicolai Miosge gilt ebenfalls mein besonderer Dank für die Übernahme der Betreuung meiner Dissertation.

Herrn Dr. Matthias Rödiger danke ich für seine vielfältige Hilfsbereitschaft und für seine wissenschaftliche Unterstützung.

Bei Herrn Dr. Nikolaus Gersdorff bedanke ich mich für seinen kollegialen Beistand.

Herrn Dr. Sven Rinke möchte ich für seine fachliche Unterstützung danken.

Der Firma DeguDent danke ich für die Bereitstellung der Materialien.