

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Daniel Edelhoff

# In-vitro Untersuchungen zur Passgenauigkeit CAD/CAM-gefertigter Zirkonoxidbrücken

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin  
an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-  
Universität zu München

vorgelegt von  
Joana Schönberger  
aus Weiden i. d. Opf.  
2018

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Florian Beuer MME

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. Jürgen Durner

Prof. Dr. Ekaterini Paschos

Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:

Dr. rer. hum biol. Dipl. Ing. Kurt Erdelt

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 26.07.2018

# Eidesstattliche Versicherung

Schönberger Joana Teresa

Ich erkläre hiermit an Eides statt,  
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**In-vitro Untersuchungen zur Passgenauigkeit CAD/CAM-  
gefertigter Zirkonoxidbrücken**

selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Weiden i. d. Opf. , den 07.08.2018

Joana Schönberger

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin

# Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungsverzeichnis
2. Publikationsliste
3. Einleitung und Zielsetzung
4. Eigene Arbeiten
  - 4.1 Originalarbeit: Schönberger J., Erdelt KJ., Bäumer D., Beuer F.  
Evaluation of Two Protocols to Measure the Accuracy of Fixed Dental Prosthesis: An In Vitro Study. J Prosthodont. 2017 Feb 2. (IF: 1.452 45/90\*)
  - 4.2 Originalarbeit: Schönberger J., Erdelt KJ., Bäumer D., Beuer F.  
Marginal and internal fit of posterior three-unit fixed zirconia dental prostheses fabricated with two different CAD/CAM systems and materials. Clin Oral Invest 2017 Feb 4. (IF: 2.308 20/90\*)
5. Diskussion
  - 5.1 Vergleich zwei verschiedener Messmethoden zur Untersuchung der Passgenauigkeit
  - 5.2 Untersuchung der Passgenauigkeit zwei verschiedener CAD/CAM Systeme und zwei unterschiedlicher Materialien

6. Zusammenfassung und Ausblick
  - 6.1 Deutsche Version
  - 6.2 Englische Version
7. Veröffentlichung I: Erstautorenschaft
8. Veröffentlichung II: Erstautorenschaft
9. Literaturverzeichnis
10. Danksagung

\* Platzierung des Journals laut Impact factor listing for journals on Dentistry, Oral Surgery & Medicine (2016 JCR Science Edition)

# 1. Abkürzungsverzeichnis

CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
CAO	Chamfer area/axial area/occlusal area
CST	Cross section technique
FDP	Fixed dental prosthesis
RT	Replica technique

## 2. Publikationsliste

### Erstautorschaft:

1. Schönberger J., Erdelt KJ., Bäumer D., Beuer F.

### **Evaluation of Two Protocols to Measure the Accuracy of Fixed Dental Prostheses: An In Vitro Study**

J Prosthodont. 2017 Feb 2. doi: 10.1111/jopr.12583. [Epub ahead of print] (IF: 1.452 45/90\*)

2. Schönberger J., Erdelt KJ., Bäumer D., Beuer F.

### **Marginal and internal fit of posterior three-unit fixed zirconia dental prostheses fabricated with two different CAD/CAM systems and materials**

Clin Oral Investig. 2017 Nov;21(8):2629-2635. doi: 10.1007/s00784-017-2064-8. [Epub ahead of print 2017 Feb 4] (IF: 2.308 20/90\*)

\* Platzierung des Journals laut Impact factor listing for journals on Dentistry, Oral Surgery & Medicine (2016 JCR Science Edition)

### 3. Einleitung und Zielsetzung

Immer mehr Patienten bevorzugen in der heutigen Zeit eine metallfreie Versorgung auch für Brücken im Seitenzahnbereich, die ihrem Anspruch an Ästhetik und Biokompatibilität gerecht wird. Gerade im Seitenzahnbereich, in dem die größten Kaukräfte wirken, sind die Anforderungen an die Keramik bei der Brückenherstellung bezüglich Festigkeit und Bruchzähigkeit in den Fokus der vorklinischen und klinischen Forschung geraten. Verschiedenste hochfeste Keramiken sind bereits erhältlich [1], wobei sich Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid als Mittel der Wahl für den klinischen Einsatz im posterioren Bereich für Brücken bewährt hat [1-3].

Zirkonoxid vereint viele positive Aspekte der Dentalkeramiken wie zum Beispiel:

- Gute Biokompatibilität
- Geringe Plaquanlagerung
- Nicht leitend

Lediglich die hohe Opazität stellt bezüglich der Ästhetik im klinischen Alltag ein Problem da. Daher eignen sich besonders hoch transluzente Materialien für Frontzahnrestaurationen um ein ästhetisch ansprechendes Ergebnis zu erzielen.

Die Computer Aided Design (CAD)/ Computer Aided Manufacturing (CAM)-Technik ermöglicht aus bereits dichtgesinterten Rohlingen, welche eine hervorragende Passung haben [4-6] und weiterhin aus vorgesinterten Rohlingen Restaurationen aus Zirkonoxid herzustellen. Diese vorgesinterten, kreideartigen Rohlinge haben den Vorteil, den Verschleiß an der Fräseinheit der CAM Maschine zu minimieren [1, 4, 7-9], während bei der Verarbeitung des dichtgesinterten Materials ein hoher Verbrauch



an Schleifkörpern und ein zeitlicher Mehraufwand zu verzeichnen sind [4-6]. Dafür zeigen Studien, dass Zahnersatz aus dichtgesintertem Zirkonoxid eine exzellente Passung aufweist und es klinisch keine Probleme mit Sekundärkaries gab [5, 10]. Da bei halbgesinterten Rohlingen nach dem Fräsen eine zweite Sinterung notwendig ist, ist es für die Passung essentiell wichtig, dass die CAD Programme die Sinterschrumpfung (15-30 %) richtig vorausberechnen. Eine falsch berechnete Schrumpfung führt zu einer schlechten marginalen und internen Passung, wobei vor allem ein zu großer marginaler Spalt zur Plaqueanlagerung führen kann und sich daraus folgend eine Parodontitis mit Knochenabbau oder Sekundärkaries entwickeln können [2, 11-17]. Verschiedenste Autoren klinischer Studien sind sich einig, dass ein marginaler Randspalt unter 120 µm am Patienten akzeptabel ist [18-21], wieder andere fordern Randspalten von 50 – 75 µm [22, 23]. Da bereits in Studien gezeigt wurde, dass Brücken aus vorgesintertem Zirkonoxid klinisch akzeptable Ergebnisse aufweisen [14, 24], Vergleichsergebnisse bezüglich der hochtransluzenten Materialien aber fehlen und die Messverfahren in den beiden genannten Studien unterschiedlich sind, soll in den vorgelegten Studien auf folgende Themen näher eingegangen werden:

- a. Vergleich von zwei verschiedenen Messmethoden zur Untersuchung der Passgenauigkeit
- b. Untersuchung der Passgenauigkeit zweier verschiedener CAD/CAM Systeme und von zwei unterschiedlichen Materialien

## 4. Eigene Arbeit

Nachfolgend werden 2 Originalarbeiten in englischer Sprache vorgestellt und diskutiert.

### 4.1 Originalarbeit:

**Joana Schönberger, Kurt-Jürgen Erdelt, Daniel Bäumer, Florian Beuer**

**Evaluation of two different protocols to measure the accuracy of fixed dental prostheses: an in vitro study.**

**J Prosthodont. 2017 Feb 2. doi: 10.1111/jopr.12583. [Epub ahead of print]**

*Zusammenfassung:*

Ziel: Ziel dieser in vitro Arbeit war es, zwei verschiedene Messverfahren bei der Untersuchung der inneren Passgenauigkeit und der Randspaltpassung von dreigliedrigen Zirkonoxidbrücken zu vergleichen.

Material und Methode: Es wurden 44 Brücken mit 2 verschiedenen Labor CAD/CAM Systemen auf standardisierten Gipsmodellen angefertigt, jeweils 22 mit Cercon von Degudent und 22 mit Ceramill von Amann Girrbach. Die Passgenauigkeit wurde untersucht, in dem ein Innenabdruck mit einem dünnfließenden Silikon (President light body green, Coltène, Konstanz, Germany) angefertigt und dieser mit einem festeren Silikon (President heavy body, Coltène, Konstanz, Germany) stabilisiert wurde (Replika Technik (RT), Technik Nr. 1). Die stabilisierten Innenabdrücke wurden danach

mit einem Skalpell in bucco-lingualer und in mesio-distaler Richtung geschnitten. Danach wurden die Brücken auf die entsprechenden Gipsmodelle zementiert, eingebettet und mit einer Laborschneidemaschine zerteilt (Cross-Section/Modellschnitt Technik (CST), Technik Nr. 2). Der Randspalt und die interne Passung wurden unter einem optischen Mikroskop mit 50-facher Vergrößerung unter Zuhilfenahme eines geeigneten Softwareprogramms vermessen. Die Auswertung der Daten erfolgte analog vorheriger Studien auf einem Signifikanzniveau von 5 %.

Ergebnisse: Die durchschnittliche innere Passung lag für die Replika Technik bei 51  $\mu\text{m}$  ( $\pm 36$ ) und bei 52  $\mu\text{m}$  ( $\pm 35$ ) für die Modellschnitt-Technik ( $p= 0.74$ ). Die durchschnittliche marginale Randspaltpassung für RT lag bei 27  $\mu\text{m}$  ( $\pm 18$ ) und bei 30  $\mu\text{m}$  ( $\pm 19$ ) für CST ( $p=0.19$ ). Statistische Untersuchungen zeigten keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0.05$ ).

Schlussfolgerung: Beide Messmethoden können zur Bestimmung der Passgenauigkeit verwendet werden.

Klinische Relevanz: In der vorliegenden Studie wurde gezeigt, dass beide Messverfahren vergleichbare Ergebnisse liefern. Für die klinische Anwendung eignet sich aber nur die nicht-invasive Replika Technik.

## 4.2 Originalarbeit:

Joana Schönberger, Kurt-Jürgen Erdelt, Daniel Bäumer, Florian Beuer

**Marginal and internal fit of posterior three-unit fixed zirconia dental prostheses fabricated with two different CAD/CAM systems and materials**

Clin Oral Investig. 2017 Nov;21(8):2629-2635. doi: 10.1007/s00784-017-2064-8.

[Epub ahead of print 2017 Feb 4]

*Zusammenfassung:*

Ziel: Ziel dieser Studie war es, die Passgenauigkeit von Brücken aus halbgesintertem regulären Zirkonoxid und hochtransluzenten Zirkonoxid zu untersuchen, die mithilfe zweier verschiedener CAD/CAM Systemen gefertigt wurden.

Material und Methode: Dreigliedrige Seitenzahnbrücken wurden auf standardisierten Gipsmodellen (n= 11) mit zwei verschiedenen CAD/CAM Systemen (Cercon von Degudent und Ceramill von Amann Girrbach) angefertigt. Die Repliktechnik wurde verwendet, um die interne und die marginale Passgenauigkeit unter einem optischen Mikroskop zu messen. Die Auswertung der Daten erfolgte analog früherer Studien auf einem Signifikanzniveau von 5 %.

Ergebnisse: Die zwei verschiedenen Systeme zeigten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die interne Passung ( $p \leq 0.001$ ) und die marginale Passung ( $p < 0.001$ ). Die Art des Materials zeigte keinen Einfluss bei der marginalen Passung bei Cercon

( $p = 0.636$ ) und bei Ceramill weder marginal ( $p = 0.064$ ) noch intern ( $p = 0.316$ ). Beim Cercon System zeigten sich bei der internen Passung für das reguläre Zirkonoxid höhere Werte als für das hochtransluzente Zirkonoxid ( $p = 0.016$ ).

Schlussfolgerung:

Beide der untersuchten Systeme zeigten klinisch akzeptable Werte im Rahmen der durchgeführten in-vitro Studie, auch wenn bei einem System geringere Werte für die interne Passung festgestellt wurden, sobald hochtransluzentes Zirkonoxid verwendet wurde.

## 5. Diskussion

In diesem Abschnitt werden die jeweiligen Untersuchungen einzeln diskutiert.

### 5.1 Vergleich zwei verschiedener Messmethoden zur Untersuchung der Passgenauigkeit

Beide der getesteten Methoden zeigten vergleichbare Ergebnisse, so dass die Arbeitshypothese akzeptiert werden kann. Außerdem zeigten beide Systeme klinisch akzeptable Zementspalten [18-21]. Die Differenz zwischen der Replika Technik und der Modellschnitt Methode lag bei 1-6  $\mu\text{m}$ , so dass beide Methoden keinen signifikanten Unterschied aufzeigten. Da die Replika Technik weniger Zeit bei der Probenherstellung erfordert und die Proben nicht zersägt werden, scheint diese Methode der anderen im Vorteil zu sein. Andererseits könnten Probleme beim Mischen des Silikons während der Verarbeitung und eine veränderte Viskosität einen Einfluss auf die Ergebnisse haben [25, 26]. Diese Fehlerquelle kann durch die Verwendung eines Kartuschensystems minimiert werden [27]. Eine dünne Silikonschicht könnte beim Entfernen oder beim Zerschneiden reißen [28], der Vorteil der Methode liegt aber darin, dass die Replikas sich problemlos erneut herstellen lassen [14]. Eine glatte Oberfläche minimiert das Risiko des Reißens.

Beim Verwenden der Modellschnittmethode wird im Gegensatz zur Replika Technik das Gipsmodell und das Brückengerüst zersägt, was eine Wiederholung ausschließt. Auch kann die Lagerung des Zementes vor dem Zementieren die Verarbeitung beeinflussen. Für diese Studie wurde der Zement im Kühlschrank aufbewahrt. Laut

Produktdossier von Ketac Cem verlängert eine niedrigere Temperatur des Zementes die Abbindezeit und damit auch die Verarbeitungszeit.

Die Herstellung der Replikas nahm 10 Minuten in Anspruch, während für die Modellschnittmethode 27 Minuten gebraucht wurden. Die Replika Technik hat den Vorteil, dass sie einfacher angewendet und schnell wiederholt werden kann ohne dass es Einbußen bei der Genauigkeit gibt.

Da nur an einer Stelle der Zementspalt untersucht wurde, ist es fraglich, ob dies die Passgenauigkeit der gesamten Probe darstellt. Allerdings verwendeten bereits mehrere Studien die untersuchten Methoden um die Passgenauigkeit zu bewerten und erzielten akzeptable Ergebnisse [11, 14, 21, 29-33].

In vorangegangenen Studien der Arbeitsgruppe wurde die Reproduzierbarkeit von Passgenauigkeitsuntersuchungen untersucht (unveröffentlichte Daten). Dabei stellte sich heraus, dass der systematische Fehler bei  $13 \pm 4 \mu\text{m}$  lag, sofern die Randspaltnessung von unterschiedlichen Untersuchern durchgeführt wurde. Wurde im Vergleich dazu die Untersuchungen von ein und demselben Untersucher durchgeführt, lag der systematische Fehler nur bei  $2,8 \mu\text{m}$  und für den marginalen Randspalt bei  $2,6 \mu\text{m}$ . In dieser Studie wurden alle Schritte der Messung von ein- und demselben kalibrierten Untersucher durchgeführt, so dass man von einem systematischen Fehler von  $2,8 \mu\text{m}$  ausgehen kann. Die Kalibration erfolgte in einer vorangegangenen Schulungsphase, bis 90 % Übereinstimmung mit den Originalwerten vorlagen. Angewendet auf die Differenz beider Methoden, zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

Die Untersuchung beider Methoden erfolgte unter idealen Bedingungen, da in vitro Studien immer optimale und standardisierte Bedingungen gewährleisten. Ein vorgefertigtes Gipsmodell wurde verwendet, so dass jedes weitere Modell dasselbe Präparationsdesign erhielt. Alle Untersuchungen wurden unter guten Sicht- und Lichtbedingungen durchgeführt, so dass die Passung aller Brücken optimal und die Anpassungszeit durch einen Zahntechniker kurz ( $t < 5 \text{ min}$ ) war. Im Praxisalltag wird die Passung einer Arbeit durch andere Faktoren wie die Zahnpräparation, die Abformung und den Zementierungsprozess beeinflusst [2, 14, 33]. Sollte die Oberfläche an der Innenseite der Brücke nicht so glatt wie in der aktuellen Studie sein, könnte es schwierig sein, Replikas aus Silikon zu fertigen, da diese an der Brücke hängen bleiben und reißen könnten.

Die Vergleichbarkeit der untersuchten Methoden lässt sich nur für die angewendeten Materialien annehmen, da nur ein bestimmtes Silikon (President light body green and heavy body, Coltène, Konstanz, Germany) und Zement (Ketac Cem, Aplicap, 3M ESPE) verwendet wurden.

Beide Methoden zeigten vergleichbare Ergebnisse trotz ihrer Unterschiede in der Handhabung. Weitere Studien sind nötig um die Ergebnisse dieser Studie für andere Materialien und Restaurationsarten zu bestätigen.



## 5.2 Untersuchung der Passgenauigkeit zwei verschiedener CAD/CAM Systeme und zwei unterschiedlicher Materialien

Verschiedene Autoren sind sich einig, dass ein klinisch akzeptabler marginaler Randspalt unter 120  $\mu\text{m}$  für in-vivo Studien beträgt. Weaver et al. [23] fordern einen akzeptablen marginalen Spalt von 70 ( $\pm 10$ )  $\mu\text{m}$  für Vollkronen, während Hung et al. 50 – 75  $\mu\text{m}$  vorschlagen [22]. In der Literatur [11, 34, 35] findet man für CAD/CAM gefertigte Vollkeramikronen Randspaltwerte von 23 – 74  $\mu\text{m}$ . Sowohl die in dieser in-vitro Studie getesteten Systeme als auch die Materialien zeigten klinisch akzeptable mediane Randspaltbreiten von 20 – 27  $\mu\text{m}$ . Diese Ergebnisse stützen die zugrunde gelegte Nullhypothese.

Ceramill zeigte geringere Werte als Cercon auf, wobei der Unterschied so gering ausfiel ( $\leq 17 \mu\text{m}$ ), dass es für den klinischen Gebrauch keine Rolle spielen wird. Auch war die Differenz ( $\leq 10 \mu\text{m}$ ) zwischen den unterschiedlichen Materialien eines Systems im täglichen klinischen Gebrauch ohne Bedeutung. Die Medianwerte der internen Passung (CAO) wiesen akzeptable Ergebnisse auf, wobei die Werte geringer waren als in vorherigen Studien [29, 30, 36]. Ob dies an der ständigen Weiterentwicklung und Verbesserung der CAD/CAM Systeme liegt, muss in weiteren Studien untersucht werden. Tuntiprawon und Wilson untersuchten die Bruchfestigkeit von Aluminium Porzellan Jacket-Kronen [37]. Ihre Studie zeigte, dass eine Zementspaltbreite der axialen Wand zwischen 73 und 122  $\mu\text{m}$  die Druckfestigkeit reduziert ohne dass es zu einer signifikanten Verbesserung des Sitzes kommt. In dieser in-vitro Studie fielen die Werte geringer aus, aber die vorliegenden Daten zeigten keinerlei Kontakt zwischen Gipsmodell und Brücke, was an den Replikas zu sehen gewesen wäre.

Um den Zementspalt zu vergrößern, müsste ein höherer Spacer (Zementspalt) - Parameter eingestellt werden, was wiederum die Werte der internen Passung vergrößert hätte.

Weitere Studien sind daher notwendig um die Passung und die Bruchfestigkeit beider Systeme und Materialien in-vivo und in-vitro zu untersuchen, da sich die Tuntiprawon Studie nicht direkt auf Zirkonoxid bezieht. Außerdem sind dünne Zementschichten (80 µm) im okklusalen Bereich aus Gründen der mechanischen Stabilität [38] vorzuziehen und eine höhere Präzision in der internen Passung kann das Risiko für Verblendungsabplatzungen reduzieren [39]. Sowohl beide Systeme als auch die Materialien konnten diese Forderungen erfüllen.

Die Bedingungen von in-vitro Studien sind standardisiert und optimiert. Es wurde nur ein Gipsmodell verwendet, so dass das Präparationsdesign für alle untersuchten Brücken einheitlich war. Daher zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie die Passgenauigkeit von CAD/CAM Systemen unter idealen Voraussetzungen. CAD/CAM Technologie umfasst das Scannen, die Software und die maschinelle Herstellung. Jeder einzelne Schritt kann zu Ungenauigkeiten in der Passung führen, genauso wie ein unpassender „Spacer“ Parameter oder eine falsch berechnete Sinterschrumpfung. Um dies zu vermeiden, wurden Voruntersuchungen angestellt um den richtigen Spacer Parameter für jedes System zu finden. Für beide getesteten CAD/CAM Systeme wurden dasselbe Präparationsmodell, aber unterschiedliche Laserscanner, CAD Software, vorgesinterte Zirkonoxidrohlinge und verschiedene Fräsmaschinen verwendet. Signifikante Unterschiede können durch jeden Schritt der Herstellung auftreten.

Es sind weitere Studien nötig um zu untersuchen, ob eine veränderte Einstellung in den Design Parametern dazu führt, dass die interne Passung von regulärem Zirkonoxid von Cercon mit dem hochtransluzentem Zirkonoxid übereinstimmt.

Die Einschränkungen der aktuellen Studie sind:

1. Um Ungenauigkeiten zu vermeiden, wurden alle Brückengerüste nach einem standardisierten Protokoll von einem erfahrenen Techniker angepasst. Die Passung wurde von zwei erfahrenen Untersuchern und anhand der Replika Technik kontrolliert, wobei nur intakte Replikas verwendet wurden.
2. Die Zementspaltbreite wurde anhand der Replika Technik gemessen. Da nur an bestimmten Bereichen des Gerüsts die Passgenauigkeit gemessen wurde, könnte dies nicht die komplette Passung widerspiegeln.
3. Alle Brücken wurden unter idealen Konditionen hergestellt und getestet, was nicht unbedingt die Passung im täglichen klinischen Alltag beschreibt. Weitere Studien sind nötig, um die Ergebnisse dieser Studie auf unterschiedliche Spannen von Brücken und weitere verfügbare Systeme zu übertragen.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

### 6.1 Deutsche Version

Basierend auf den hier zusammengefassten Studien lässt sich feststellen, dass alle untersuchten 3-gliedrigen Zirkonoxidbrücken klinisch akzeptable Zementspalt- und Randspaltbreiten aufwiesen. Sowohl die Replika Technik (marginaler Spalt:  $27 \mu\text{m} \pm 18$ ) als auch die Modellschnittmethode (marginaler Spalt:  $30 \mu\text{m} \pm 19$ ) zeigten vergleichbare Ergebnisse. Da bei der Replika Technik kein Werkstück zersägt werden muss wie bei der Modellschnittmethode, ist diese Methode in der klinischen Anwendung als alternativlos zu betrachten. Auch die kurze ( $t = 10 \text{ min}$ ) Herstellungszeit und die einfache Reproduzierbarkeit der Replikas sprechen eindeutig für diese Technik. Da bei der vorliegenden Studie nur eine Art von Silikon und Zement verwendet wurde, sind die Ergebnisse nur auf die verwendeten Materialien anzuwenden und nicht universell zu übertragen.

Auch beim Vergleich der unterschiedlichen CAD/CAM Systeme und Materialien lässt sich abschließend zusammenfassen, dass beide Systeme akzeptable marginale Spalten aufzeigten und beide Systeme vergleichbare Ergebnisse erzielten. Auch wies das hochtransluzente Zirkonoxid dieselbe Passgenauigkeit auf wie das normale, opakere Zirkonoxid. Gerade dieser Aspekt ist hinsichtlich der Anwendung im anterioren Bereich sehr interessant, um den wachsenden Ansprüchen der Patienten bezüglich Verträglichkeit und Ästhetik auch ohne große finanzielle Belastung gerecht zu werden.

Die Entwicklung der CAD/CAM Geräte und der zu verwendenden Materialien schreitet stetig voran und wird dadurch auch in Zukunft weiter an Bedeutung für die moderne Zahnmedizin gewinnen, gerade auch im Einsatz für den Frontzahnbereich.

## **6.2 Englische Version**

Based on the summarized studies it can be concluded that all examined three-unit zirconia fixed dental prostheses showed clinically acceptable mean gap widths. Both the replica technique (marginal gap width:  $27 \mu\text{m} \pm 18$ ) and the cross-section technique (marginal gap:  $30 \mu\text{m} \pm 19$ ) showed similar results. As the replica technique is a non-invasive and non-destructive it is without any alternative in clinical use. Also the short time ( $t = 10 \text{ min}$ ) for manufacturing the replicas and the simple repeatability plead for the this technique. The results of this study are only assumed for the used materials (silicone, cement, zirconia) and not universally usable.

In summary, it can be stated that also the comparison of the different CAD/CAM systems and materials showed clinically acceptable marginal gap widths. Both systems showed similar results. Also the high translucent zirconia showed the same accuracy of fit as zirconia, which is more opaque. This is a very interesting aspect, because of the growing awareness of biocompatibility and aesthetics of patients without financial burden. The development of the CAD/CAM technology and the useable materials is going on rapidly. Zirconia will stay in demand in modern dentistry and become more important also for the anterior teeth.

## **7. Veröffentlichung I : Erstautorschaf**

Schönberger J., Erdelt KJ., Bäumer D., Beuer F.

**Evaluation of Two Protocols to Measure the Accuracy of Fixed  
Dental Prostheses: An In Vitro Study.**

J Prosthodont. 2017 Feb 2. doi: 10.1111/jopr.12583.

Epub ahead of print

<https://doi.org/10.1111/jopr.12583>

## **8. Veröffentlichung II : Erstautorschaft**

Schönberger J., Erdelt KJ., Bäumer D., Beuer F.

**Marginal and internal fit of posterior three-unit fixed zirconia dental prostheses fabricated with two different CAD/CAM systems and materials**

Clin Oral Investig. 2017 Nov;21(8):2629-2635. doi: 10.1007/s00784-017-2064-8. [Epub ahead of print 2017 Feb 4]

<https://doi.org/10.1007/s00784-017-2064-8>

## 9. Literaturverzeichnis

- [1] Tinschert J, Natt G, Mohrbotter N, et al.: Lifetime of alumina- and zirconia ceramics used for crown and bridge restorations. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2007; **80**: 317-321.
- [2] Sailer I, Feher A, Filser F, et al.: Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont*. 2007; **20**: 383-388.
- [3] Tinschert J, Natt G, Mautsch W, et al.: Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *Int J Prosthodont*. 2001; **14**: 231-238.
- [4] Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D: Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008; **204**: 505-511.
- [5] Edelhoff D, Florian B, Florian W, et al.: HIP zirconia fixed partial dentures--clinical results after 3 years of clinical service. *Quintessence Int*. 2008; **39**: 459-471.
- [6] Vult von Steyern P, Carlson P, Nilner K: All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study. *J Oral Rehabil*. 2005; **32**: 180-187.
- [7] Kohorst P, Herzog TJ, Borchers L, et al.: Load-bearing capacity of all-ceramic posterior four-unit fixed partial dentures with different zirconia frameworks. *Eur J Oral Sci*. 2007; **115**: 161-166.
- [8] Sachs C, Groesser J, Stadelmann M, et al.: Full-arch prostheses from translucent zirconia: accuracy of fit. *Dent Mater*. 2014; **30**: 817-823.
- [9] Stawarczyk B, Ozcan M, Hallmann L, et al.: The effect of zirconia sintering temperature on flexural strength, grain size, and contrast ratio. *Clin Oral Investig*. 2013; **17**: 269-274.
- [10] Tinschert J, Schulze KA, Natt G, et al.: Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results. *Int J Prosthodont*. 2008; **21**: 217-222.
- [11] Bindl A, Mormann WH: Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. *J Oral Rehabil*. 2005; **32**: 441-447.
- [12] Felton DA, Kanoy BE, Bayne SC, et al.: Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health. *J Prosthet Dent*. 1991; **65**: 357-364.



- [13] Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, et al.: Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent.* 1989; **62**: 405-408.
- [14] Reich S, Wichmann M, Nkenke E, et al.: Clinical fit of all-ceramic three-unit fixed partial dentures, generated with three different CAD/CAM systems. *Eur J Oral Sci.* 2005; **113**: 174-179.
- [15] Schaerer P, Sato T, Wohlwend A: A comparison of the marginal fit of three cast ceramic crown systems. *J Prosthet Dent.* 1988; **59**: 534-542.
- [16] Sorensen JA: A rationale for comparison of plaque-retaining properties of crown systems. *J Prosthet Dent.* 1989; **62**: 264-269.
- [17] Sorensen SE, Larsen IB, Jorgensen KD: Gingival and alveolar bone reaction to marginal fit of subgingival crown margins. *Scand J Dent Res.* 1986; **94**: 109-114.
- [18] Belser UC, MacEntee MI, Richter WA: Fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo: a scanning electron microscope study. *J Prosthet Dent.* 1985; **53**: 24-29.
- [19] Karlsson S: The fit of Procera titanium crowns. An in vitro and clinical study. *Acta Odontol Scand.* 1993; **51**: 129-134.
- [20] McLean JW, von Fraunhofer JA: The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J.* 1971; **131**: 107-111.
- [21] Sulaiman F, Chai J, Jameson LM, et al.: A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress, and Procera crowns. *Int J Prosthodont.* 1997; **10**: 478-484.
- [22] Hung SH, Hung KS, Eick JD, et al.: Marginal fit of porcelain-fused-to-metal and two types of ceramic crown. *J Prosthet Dent.* 1990; **63**: 26-31.
- [23] Weaver JD, Johnson GH, Bales DJ: Marginal adaptation of castable ceramic crowns. *J Prosthet Dent.* 1991; **66**: 747-753.
- [24] Beuer F, Neumeier P, Naumann M: Marginal fit of 14-unit zirconia fixed dental prosthesis retainers. *J Oral Rehabil.* 2009; **36**: 142-149.
- [25] Nassar U, Oko A, Adeeb S, et al.: An in vitro study on the dimensional stability of a vinyl polyether silicone impression material over a prolonged storage period. *J Prosthet Dent.* 2013; **109**: 172-178.

- [26] Wadhvani CP, Johnson GH, Lepe X, et al.: Accuracy of newly formulated fast-setting elastomeric impression materials. *J Prosthet Dent.* 2005; **93**: 530-539.
- [27] Netti CA, Yard RA: Control of polymerization in the dispensing cartridge of automixing impression systems. *J Prosthet Dent.* 1990; **64**: 16-17.
- [28] Donovan TE, Chee WW: A review of contemporary impression materials and techniques. *Dent Clin North Am.* 2004; **48**: vi-vii, 445-470.
- [29] Beuer F, Aggstaller H, Edelhoff D, et al.: Marginal and internal fits of fixed dental prostheses zirconia retainers. *Dent Mater.* 2009; **25**: 94-102.
- [30] Beuer F, Korczynski N, Rezac A, et al.: Marginal and internal fit of zirconia based fixed dental prostheses fabricated with different concepts. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2010; **2**: 5-11.
- [31] Bindl A, Mormann WH: Fit of all-ceramic posterior fixed partial denture frameworks in vitro. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2007; **27**: 567-575.
- [32] Boening KW, Wolf BH, Schmidt AE, et al.: Clinical fit of Procera AllCeram crowns. *J Prosthet Dent.* 2000; **84**: 419-424.
- [33] Molin M, Karlsson S: The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems. A clinical and in vitro study. *Acta Odontol Scand.* 1993; **51**: 201-206.
- [34] Coli P, Karlsson S: Precision of a CAD/CAM technique for the production of zirconium dioxide copings. *Int J Prosthodont.* 2004; **17**: 577-580.
- [35] Tinschert J, Natt G, Mautsch W, et al.: Marginal fit of alumina-and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. *Oper Dent.* 2001; **26**: 367-374.
- [36] Beuer F, Naumann M, Gernet W, et al.: Precision of fit: zirconia three-unit fixed dental prostheses. *Clin Oral Investig.* 2009; **13**: 343-349.
- [37] Tuntiprawon M, Wilson PR: The effect of cement thickness on the fracture strength of all-ceramic crowns. *Aust Dent J.* 1995; **40**: 17-21.
- [38] Rekow ED, Harsono M, Janal M, et al.: Factorial analysis of variables influencing stress in all-ceramic crowns. *Dent Mater.* 2006; **22**: 125-132.
- [39] Rekow D, Thompson VP: Near-surface damage--a persistent problem in crowns obtained by computer-aided design and manufacturing. *Proc Inst Mech Eng H.* 2005; **219**: 233-243.

## 10. Danksagung

Mit großer Freude sehe ich stolz der Verleihung meiner Doktorwürde entgegen. Allerdings möchte ich bei aller Freude nicht aus den Augen verlieren, dass mir diese Ehre nicht zuteil hätte werden können, wenn mich nicht eine Vielzahl von Menschen auf meinem Weg begleitet und unterstützt hätten. Daher möchte ich diese Gelegenheit nutzen, um meinen tiefsten Dank zum Ausdruck zu bringen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Florian Beuer MME der mir stets mit Rat zur Seite stand und mich trotz seines Wegganges von München nach Berlin unterstützt hat.

Ein großer Dank gilt ZTM Josef Schweiger und vor allem ZTM John Meinen für ihre großartige Unterstützung bei der Vorbereitung und Versuchsdurchführung. Außerdem möchte ich mich ganz herzlich bei Dr. rer. hum. biol. Kurt Erdelt für seine hervorragende Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse bedanken, er stand mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite. Mein besonderer Dank gilt auch Dr. Daniel Bäumer, der mich von Anfang an bis hin zur Korrektur der Veröffentlichungen stets unterstützt hat.

Meinem Mann und meiner Familie danke ich von ganzem Herzen für ihre stetige Unterstützung, Motivation, Beharrlichkeit und Geduld.