

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

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

# Neue Ansätze im Bereich der Doppelkronensysteme und der Implantatprothetik durch CAD/CAM

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

vorgelegt von  
Julian Größer  
aus München  
2017

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Florian Beuer MME

Mitberichterstatter:

Prof. Dr. Christoph Benz  
Priv. Doz. Dr. Wenko Smolka

Betreuung durch den promovierten Mitarbeiter:  
Dipl. Ing. Dr. rer. hum biol. Kurt Erdelt

Dekan: Prof. Dr. med dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 16.11.2017

# Eidesstattliche Versicherung

Julian Größer

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

## **Neue Ansätze im Bereich der Doppelkronensysteme und der Implantatprothetik durch CAD/CAM**

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.

München, 1.1.2017

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin/Doktorand

# Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungsverzeichnis
2. Publikationsliste
3. Bestätigung der Co-Autoren
4. Einleitung und Zielsetzung
5. Eigene Arbeiten
  - 5.1. Originalarbeit: Groesser J, Sachs C, Heiss P, Stadelmann M, Erdelt K, Beuer F. Retention forces of 14-unit zirconia telescopic prostheses with six double crowns made from zirconia – an in vitro study Clin Oral Invest. 2014 May;18(4):1173-9 (IF: 2.352, 21/86\*)
  - 5.2. Originalarbeit: Stimmelmayer M, Groesser J, Beuer F, Erdelt K, Krennmair G, Sachs C, Edelhoff D, Gueth J-F. Accuracy and mechanical performance of passivated and conventional fabricated 3-unit fixed dental prosthesis on multi-unit abutments J Prosthodont Res. 2017 Feb 7. pii: S1883-1958(17)30002-6. doi: 10.1016/j.jpor.2016.12.011. (IF: 1.693, 29/89\*\*)
6. Diskussion
  - 6.1. Abzugskräfte von 14-gliedrigen CAD/CAM gefertigten Zirkonoxid-Doppelkronensystemen
  - 6.2. Genauigkeit und mechanische Leistung von konventionell und passiv verklebten 3-gliedrigen Brücken auf mehrteiligen Abutments
7. Zusammenfassung und Ausblick
  - 7.1. Deutsche Version
  - 7.2. Englische Version
8. Veröffentlichung I: Erstautorenschaft
9. Veröffentlichung II: Zweitautorenschaft

10. Literaturverzeichnis

11. Danksagung

\* Platzierung des Journals laut Impact factor listing for journals on Dentistry, Oral Surgery & Medicine (2014 JCR Science Edition)

\*\* Platzierung des Journals laut Impact factor listing for journals on Dentistry, Oral Surgery & Medicine (2015 JCR Science Edition)

## **1. Abkürzungsverzeichnis**

CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
RF	Retention force
RDP	Removable dental prosthesis
CNC	Computerized Numerical Control
SC	Single crown
FDP	Fixed dental prosthesis
VAS	Visuelle Analogskala
SNK	Student Newman Keuls

## 2. Publikationsliste

### Erstautorschaft:

Groesser J, Sachs C, Heiss P, Stadelmann M, Erdelt K, Beuer F.

### **Retention forces of 14-unit zirconia telescopic prostheses with six double crowns made from zirconia – an in vitro study**

Clin Oral Investig. 2014 May;18(4):1173-9 (IF: 2.352, 21/86\*)

### Zweitautorschaft:

Stimmelmayr M, Groesser J, Beuer F, Erdelt K, Krennmair G, Sachs C, Edelhoff D, Gueth J-F.

### **Accuracy and mechanical performance of passivated and conventional fabricated 3-unit fixed dental prosthesis on multi-unit abutments**

J Prosthodont Res. 2017 Feb 7. pii: S1883-1958(17)30002-6. doi: 10.1016/j.jpor.2016.12.011. (IF: 1.693, 29/89\*\*)

\* Platzierung des Journals laut Impact factor listing for journals on Dentistry, Oral Surgery & Medicine (2014 JCR Science Edition)

\*\* Platzierung des Journals laut Impact factor listing for journals on Dentistry, Oral Surgery & Medicine (2015 JCR Science Edition)

### 3. Bestätigung der Ko-Autoren

<b>LMU</b>	LUDWIG MAXIMILIANS UNIVERSITÄT MÜNCHEN	Medizinische Fakultät
------------	---	-----------------------

#### Kumulative Dissertation

Bestätigung  
gem. § 4a Abs. 3 und 5 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. med., Dr. med. dent und Dr. rer. biol. hum.  
und  
gem. § 7 Abs. 4 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. rer. nat. an der Medizinischen Fakultät

Julian Größer

Doktorand

Retention forces of 14-unit zirconia telescopic prostheses with six double crowns made from zirconia – an in vitro study

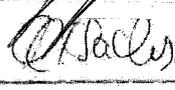
Titel der Publikation

Hiermit bestätige ich, dass keiner der zur Promotion eingereichten Fachartikel Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Unterschrift Doktorand

Folgende Ko-Autoren bestätigen mit ihrer Unterschrift

- ihren Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang) an den eingereichten Veröffentlichungen,
- ihr Einverständnis zur Einreichung der Publikationen sowie,
- dass der jeweilige eingereichte Fachartikel nicht Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Name Ko-Autor	Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang)	Unterschrift Ko-Autor
1. ZA Julian Größer	Erstellen des Studienprotokolls Studiendurchführung, schriftliche Niederlegung	
2. Dr. Caroline Sachs	Unterstützung beim Versuchsaufbau und der Versuchsdurchführung, Korrekturlesen Unterstützung Versuchsdurchführung	
3. ZA Philipp Heiß	Unterstützung bei der zahn-technischen Durchführung mit Fräsparametern	
4. ZTM Markus Stadelmann	Statistische Auswertung	
5. Dr. Kurt Erdelt		

weitere Autoren bitte auf ein gesondertes Blatt

Kumulative Dissertation - Bestätigung

Stand 5.12.2011



LUDWIG-  
MAXIMILIANS-  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

Medizinische Fakultät



**Kumulative Dissertation**

Bestätigung

gem. § 4a Abs. 3 und 5 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. med., Dr. med. dent und Dr. rer. biol. hum.  
und  
gem. § 7 Abs. 4 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. rer. nat. an der Medizinischen Fakultät

Julian Größer

Doktorand

Retention forces of 14-unit zirconia telescopic prostheses with six double crowns made from zirconia – an in vitro study

Titel der Publikation

Hiermit bestätige ich, dass keiner der zur Promotion eingereichten Fachartikel Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Unterschrift Doktorand

Folgende Ko-Autoren bestätigen mit ihrer Unterschrift

- ihren Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang) an den eingereichten Veröffentlichungen,
- ihr Einverständnis zur Einreichung der Publikationen sowie,
- dass der jeweilige eingereichte Fachartikel nicht Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Name Ko-Autor	Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang)	Unterschrift Ko-Autor
1. Prof. Dr. F. Beuer MME	Erstellen des Studienprotokolls, Unterstützung bei der schriftlichen Niederlegung	
2.		
3.		
4.		
5.		

weitere Autoren bitte auf ein gesondertes Blatt

	LUDWIG- MAXIMILIANS- UNIVERSITÄT MÜNCHEN	Medizinische Fakultät	
---	---	-----------------------	--

**Kumulative Dissertation**

Bestätigung  
gem. § 4a Abs. 3 und 5 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. med., Dr. med. dent und Dr. rer. biol. hum.  
und  
gem. § 7 Abs. 4 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. rer. nat. an der Medizinischen Fakultät

Julian Größer

Doktorand

Accuracy and mechanical performance of passivated and conventional fabricated 3-unit fixed dental prosthesis

on multi-unit abutments.

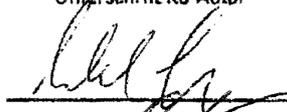
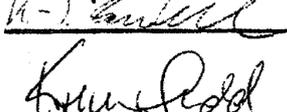
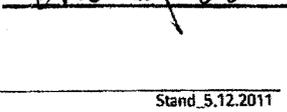
Titel der Publikation

Hiermit bestätige ich, dass keiner der zur Promotion eingereichten Fachartikel Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Unterschrift Doktorand

Folgende Ko-Autoren bestätigen mit ihrer Unterschrift

- ihren Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang) an den eingereichten Veröffentlichungen,
- ihr Einverständnis zur Einreichung der Publikationen sowie,
- dass der jeweilige eingereichte Fachartikel nicht Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Name Ko-Autor	Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang)	Unterschrift Ko-Autor
1. PD. Dr. M. Stimmelmayer	Erstellen des Studienprotokolls Studiendurchführung, Unterstützung bei der Verfassung des Artikels Verfassung des Artikels, Studiendurchführung	
2. ZA Julian Größer	Erstellen des Studienprotokolls, Korrekturlesen des Artikels	
3. Prof. Dr. Florian Beuer MA	Statistische Auswertung	
4. Dr. Kurt Erdelt	Unterstützung bei der Versuchsdurchführung	
5. Prof. Dr. G. Krennmair		

weitere Autoren bitte auf ein gesondertes Blatt

	LUDWIG- MAXIMILIANS- UNIVERSITÄT MÜNCHEN	Medizinische Fakultät	
---	---	-----------------------	--

**Kumulative Dissertation**

Bestätigung  
 gem. § 4a Abs. 3 und 5 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. med., Dr. med. dent und Dr. rer. biol. hum.  
 und  
 gem. § 7 Abs. 4 Promotionsordnung für die Promotion zum Dr. rer. nat. an der Medizinischen Fakultät

Julian Größer

Doktorand

Accuracy and mechanical performance of passivated and conventional fabricated 3-unit fixed dental prosthesis  
 on multi-unit abutments.

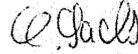
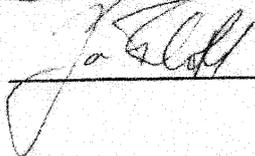
Titel der Publikation

Hiermit bestätige ich, dass keiner der zur Promotion eingereichten Fachartikel Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Unterschrift Doktorand

Folgende Ko-Autoren bestätigen mit ihrer Unterschrift

- ihren Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang) an den eingereichten Veröffentlichungen,
- ihr Einverständnis zur Einreichung der Publikationen sowie,
- dass der jeweilige eingereichte Fachartikel nicht Gegenstand einer anderen (laufenden oder abgeschlossenen) Dissertation ist.

Name Ko-Autor	Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang)	Unterschrift Ko-Autor
1. Dr. C. Sachs	Verfassen des Artikels	
2. Prof. Dr. D. Edelhoff	Erstellung des Studienprotokolls	
3. PD. Dr. J.-K. Güth	Unterstützung Versuchsdurchführung Korrekturlesen des Artikels	
4.		
5.		

weitere Autoren bitte auf ein gesondertes Blatt

## 4. Einleitung und Zielsetzung

Die neuesten Entwicklungen in der Computer-aided design/Computer-aided manufacturing Fertigung haben die Materialvielfalt und Materialqualität in der Zahnmedizin sehr stark verbessert. Besonders die Verarbeitung unterschiedlichster Keramiken ist durch moderne Computer-aided design/Computer-aided manufacturing Verfahren erleichtert worden (1-4). Gerade die Verarbeitung von Zirkonoxid erfreut sich großer Beliebtheit aufgrund der niedrigen Biegefestigkeit im Weißlingszustand (31-50 MPa) und der extrem hohen Biegefestigkeit nach dem Sinterprozess bei ca. 1500 MPa (2, 5-8). Die durch biaxial oder heiß-isostatische Verfahren industriell hergestellten Zirkonoxid-Blanks zeichnen sich durch eine hohe Materialhomogenität und Materialgüte aus, was sich in einem minimalen Sinterverzug, einer hohen Biegefestigkeit, einer hohen Biokompatibilität sowie einer guten Passung niederschlägt. Zirkonoxid weist einen sehr großen Einsatzbereich auf und kann v.a. für unterschiedliche Gerüste (9-13), Implantatabutments, monolithisch gefräste Kronen (14) sowie für Primärkronen (15) verwendet werden. Nichtsdestotrotz sind Keramiken im Allgemeinen sehr frakturanfällig gerade was die Verblendkeramik angeht. In diesem Zusammenhang sind vor allem implantatgetragene Keramiken hervorzuheben, die signifikant höhere Keramikchippings (Keramikfrakturen, Keramikabplatzungen) aufweisen als zahnetragene (16). Des Weiteren gibt es keinerlei Literatur über monolithische Zirkonoxid Doppelkronensysteme ohne galvanische Zwischenelemente, die aber gerade aus ästhetischer sowie aus Gründen der Biokompatibilität von Interesse sein könnten. Ziel dieser Studie war es, die Unterschiede zwischen konventionell und passiv verklebten Zirkonoxidbrücken auf Implantaten, sowie die Machbarkeit und Abzugskräfte von monolithischen Zirkonoxid Doppelkronensystemen zu untersuchen.

Zu diesem Zweck wurden zusammenfassend innerhalb der vorliegenden Arbeit folgende Punkte untersucht:

- a. Abzugskräfte von 14-gliedrigen CAD/CAM gefrästen monolithischen Zirkonoxid Doppelkronensystemen
- b. Passgenauigkeit und mechanische Eigenschaften von passiv und konventionell verklebten 3-gliedrigen Brücken auf mehrteiligen Abutments

## 5. Eigene Arbeit

Nachfolgend werden 2 Originalarbeiten in englischer Sprache vorgestellt und diskutiert.

**5.1. Originalarbeit: Groesser J, Sachs C, Heiss P, Stadelmann M, Erdelt K, Beuer F. Retention forces of 14-unit zirconia telescopic prostheses with six double crowns made from zirconia – an in vitro study Clin Oral Investig. 2014 May;18(4):1173-9**

*Zusammenfassung:*

Ziel: Ziel dieser Arbeit war es, in vitro die Abzugskräfte von Doppelkronensystemen zu untersuchen, bei denen sowohl das Primärteil als auch das Sekundärteil komplett aus Zirkonoxid gefertigt wurde.

Material und Methode: Es wurden zehn Oberkiefermodelle mit je sechs Pfeilerzähnen präpariert. Auf diesen wurden 60 Primärteile aus vorgesintertem Zirkonoxid mit einem Winkel von null Grad gefräst. Mithilfe des gleichen Computer-aided design/Computer-aided manufacturing Systems wie für die Primärteile, wurden zehn 14-gliedrige, teleskopierende Sekundärgerüste aus Zirkonoxid hergestellt. Die Abzugstests wurden in einem standardisierten Versuchsaufbau, durch eine Universalprüfmaschine mit einer Zuggeschwindigkeit von 10 mm/min, durchgeführt. Dabei wurde unter künstlicher Speichelatmosphäre jedes Primärteil sowie jede 14-gliedrige Teleskoparbeit je zehnmal abgezogen. Die Ergebnisse wurden in ein Statistikprogramm eingepflegt und mittels einem one-way ANOVA und einem post-hoc Test analysiert. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt.

Ergebnisse: Die durchschnittlichen Abzugskräfte der einzelnen Doppelkronen bewegten sich in einem Bereich zwischen 0.611-2.895 N, wobei die Abzugskräfte der gesamten 14-gliedrigen Sekundärkonstruktion zwischen 8.1 und 13.6 N lagen. Die Abzugskräfte waren abhängig von dem einzelnen Pfeilerzahn ( $p < 0.001$ ) und von dem jeweiligen Modell ( $p < 0.001$ ).

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass es nicht nur möglich ist Doppelkronensysteme komplett aus Zirkonoxid zu fertigen, sondern diese auch reproduzierbar herzustellen sind. Die Abzugskräfte sind vergleichbar mit den bekannten gegossenen Doppelkronensystemen und Galvano-Doppelkronensystemen.

Klinische Relevanz: Durch diese Studie konnte gezeigt werden, dass die Abzugskräfte des vorgestellten Doppelkronensystems vergleichbar mit den bereits existierenden Doppelkronensystemen sind und es damit eine interessante biokompatible Alternative darstellt.

**5.2. Originalarbeit: Stimmelmayr M, Groesser J, Beuer F, Erdelt K, Krennmair G, Sachs C, Edelhoff D, Gueth J-F. Accuracy and mechanical performance of passivated and conventional fabricated 3-unit fixed dental prosthesis on multi-unit abutments J Prosthodont Res. 2017 Feb 7. pii: S1883-1958(17)30002-6. doi: 10.1016/j.jpor.2016.12.011.**

*Zusammenfassung:*

Ziel: Ziel dieser Studie war es die Passung und mechanische Stabilität von dreigliedrigen verschraubten Brücken auf Implantaten zu untersuchen, die einmal konventionell sowie passiviert verklebt wurden.

Material und Methode: Es wurden 20 Kunststoffmodelle mit je zwei eingebetteten Implantaten hergestellt, die als Patientenmodelle fungierten. Von diesen wurden Abformungen gemacht und 20 dreigliedrige Zirkonoxidbrücken erstellt. Zehn von den Brücken wurden direkt auf den Gipsmodellen (Gruppe 1) und zehn auf den Patientenmodellen passiv verklebt (Gruppe 2). Die Passung der einzelnen dreigliedrigen Brücken wurden mittels einer Sichtprüfung (Noten 1-10) und Mikroskop untersucht. Des Weiteren wurden die Proben künstlich gealtert um sie auf prothetische Fehler zu untersuchen und im Anschluss wurden sie einem Bruchlasttest unterzogen.

Ergebnisse: Bei der Sichtprüfung mit Benotung zeigte Gruppe 2 [(1.4 (±0.3))] signifikant ( $p < 0.001$ ) bessere Ergebnisse im Vergleich zur Gruppe 1 [6.3 (±2.4)]. Der mikroskopisch gemessene Randspalt betrug für die Gruppe 1 160 (±80) µm am Abutmentrand und 150 (±80) µm an der axialen Wand des Abutments, bzw. 0 µm und 0-17 µm für die Gruppe 2 ( $p < 0.001$ ). Während der künstlichen Alterung konnte kein Versagen bei den 3-gliedrigen Brücken beobachtet werden. Der Bruchlasttest zeigte keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,60$ ) zwischen der Gruppe 1 [2583 N (±664 N)] und der Gruppe 2 [2465 N (±238N)].

Schlussfolgerung: Bei der Sichtprüfung und der mikroskopischen Untersuchung konnten große Unterschiede in der Randpassung zwischen der Gruppe 1 und 2 festgestellt werden. Jedoch konnte, abgesehen von der Passung, kein statistisch

erfassbarer Unterschied in der Langzeitstabilität von implantatgetragenen 3-gliedrigen Brücken festgestellt werden.

## 6. Diskussion

In diesem Abschnitt werden die jeweiligen Untersuchungen einzeln diskutiert.

### 6.1. Abzugskräfte von 14-gliedrigen CAD/CAM gefertigten Zirkonoxid-Doppelkronensystemen

Die Abzugskräfte von Doppelkronensystemen sind von vielen verschiedenen Faktoren abhängig was dazu führt, dass ihre Werte einer breiten Streuung unterliegen. Beeinflussende Faktoren sind das Material, die Stumpfhöhe, die Konizität der Primärteile (15) sowie der Speichel (17). Bayer et al. berichtete über durchschnittliche Abzugskräfte von 1,93 N für hochgoldhaltige Doppelkronensysteme, die mit 1°-2° hergestellt wurden (17), 3 N für 0° gefräste Gold-Primärteile mit gegossenem Gold-Sekundärteil und 6,54 N für 2° gefräste Gold-Primärteile mit Galvano-Sekundärteilen (18). Andere Studien, welche Doppelkronensysteme mit Zirkonoxid-Primärteilen und Galvano-Sekundärteilen untersucht haben, erreichten Abzugswerte von 3,32 N (19) und 0,37-2,65 N (15). Die Abzugskräfte des vorgestellten Konzepts lagen zwischen 0,611 und 2,895 N, was bis auf einige Einschränkungen unsere Arbeitshypothese unterstreicht.

Die meisten Studien untersuchten die Abzugskräfte von einzelnen Doppelkronen. Dies hat jedoch wenig klinische Relevanz, da Teleskopprothesen in der Regel mit mindestens zwei Teleskopen gefertigt werden.

In der vorgestellten Studie wurde zunächst jede Teleskopkrone individuell und nachfolgend das aus 6 Teleskopen bestehende Sekundärgerüst als Ganzes aufgepasst. Obwohl die Passung und Abzugskraft des einzelnen Teleskops gut erschien, war die Passung und Abzugskraft des gesamten Sekundärgerüsts unterschiedlich und musste weiter adaptiert werden.

Da die Abzugskraft des gesamten Sekundärgerüsts in der Regel zu hoch war, führte die weitere Adaptation des Sekundärgerüsts - bis zur optimalen Gesamtpassung - zu einer geringeren Abzugskraft der einzelnen Teleskope.

Betrachtet man diesen Aspekt, so wird klar, dass die in vorausgegangenen Studien gemessenen Abzugskräfte von Einzelteleskopkronen höher sind als sie aufgepasst im Verbund des Doppelkronengerüsts in Realität wären. Die Primärteile die zur Messung in dieser Untersuchung hergestellt wurden, hatten einen Winkel von null Grad um einen Kolben-Zylinder-Effekt zu erzielen. Der Winkel von null Grad ist

gerade für Keramik von entscheidender Bedeutung da eine Konizität der Primärteile zu Spannungen an den Wänden der Sekundärteile führen würde.

Da Keramiken, im Gegensatz zu Metalllegierungen empfindlich auf Zugspannung reagieren, hätten Spannungen an den Wänden der Sekundärteile Risse in der Zirkonoxidkeramik zur Folge. Diese würden letztendlich zu einer Zerstörung des Sekundärgerüsts führen. Jedoch werden  $0^\circ$  Primärteile häufig mit Herstellungsschwierigkeiten assoziiert (15, 17). Um diesem Umstand entgegen zu wirken wurde ein Hochpräzisionshandstück (W&H Perfecta 900, W&H Dentalwerk Bürmoos GmbH) mit einer Rundlaufgenauigkeit von  $20\ \mu\text{m}$  gewählt.

Des Weiteren wurde besonders auf die Abnutzung der Diamantschleifer und den manuell ausgeübten Druck während des Parallelschleifens der Primärteile geachtet um Achsabweichungen des Schleifers zu vermeiden. Während der Herstellung des Sekundärgerüsts können zwei Fehlerquellen zu Problemen bei der Passung des Teleskopsystems führen.

Auch wenn Scanspray in einer hauchdünnen Schicht auf die hochglanzpolierten Primärteile aufgebracht wird, können Reflexionen während des Scannens der Primärteile nicht vermieden werden. Dies führt zu minimalen Scanfehlern, die sich in einer stellenweise raueren Innenfläche des Sekundärteils niederschlagen und damit einen höheren Aufpassaufwand des Sekundärgerüsts zur Folge hatten.

Des Weiteren wurde in Vorversuchen die Sinterschrumpfung des 14-gliedrigen Sekundärgerüsts als problematisch eingestuft.

Um dies zu untersuchen wurde ein Sekundärgerüst dreimal mit demselben CNC-Datensatz gefräst und in demselben Ofen mit dem gleichen Programm durchgesintert. Trotz identischer Bedingungen für alle drei Sekundärgerüste wurden leichte Unterschiede in der Expansion und Passung der Teleskope festgestellt.

Dies führte zur Annahme, dass die Sinterschrumpfung zwar bis zu einem gewissen Grad kalkulierbar jedoch nicht 100-prozentig reproduzierbar ist.

Sowohl monolithische Zirkonoxid- als auch Galvano-Doppelkronensysteme (15, 19-21) basieren auf dem Prinzip der Adhäsion und nicht auf Friktion, was ein wasserartiges Medium, wie Speichel, zwischen Primär- und Sekundärteil notwendig macht.

Die Abzugskräfte von auf Adhäsion basierenden Doppelkronensystemen werden von zwei Komponenten beeinflusst: der Viskosität des Speichels sowie der Oberflächenbenetzung.

Zur Messung der Abzugskräfte wurde nur ein künstliches Speichelerersatzprodukt verwendet. Jedoch kann angenommen werden, dass ein viskoserer Speichel zu höheren Abzugskräften führen würde. Diese Komponente sollte in einem klinischen Fall Beachtung bei der Anpassung der Abzugskräfte der Sekundärgerüste finden.

In dieser Studie wurden die Abzugskräfte der Einzelteleskope sowie des gesamten Sekundärgerüsts von ein und demselben Zahntechniker durchgeführt, da alle 60 Teleskope nach dem Sintervorgang bearbeitet werden mussten.

Auch wenn das Computer-aided design/Computer-aided manufacturing System zuverlässig und präzise gearbeitet hat, musste jedes Teleskopsystem aufgepasst werden. Klinisch betrachtet ist dies jedoch nichts Ungewöhnliches da in der Regel auch bei herkömmlichen Doppelkronensystemen die Passung und Abzugskraft der Doppelkronen vom Zahntechniker adaptiert werden (17).

Vergleicht man die verschiedenen Pfeilerzähne miteinander, so fielen die Retentionskräfte an den Eckzähnen am niedrigsten aus. Dieser Effekt kann durch die komplexe Geometrie der Eckzähne, mit einer kurzen palatinalen und langen vestibulären Adhäsionsfläche, erklärt werden. Die geometrische Beschaffenheit der Prämolaren und Molaren war wesentlich homogener und damit auch leichter aufpassbar.

Bezüglich der Methodik des Versuchsaufbaus und der Messung selbst, wurde im Besonderen darauf geachtet, eine Kippung während des Abzugs der Einzelkronen sowie des ganzen Sekundärgerüsts zu vermeiden da dies zu stark ansteigenden Abzugskräften geführt hätte. Hierfür wurde ein Draht mit einer Länge von 1 Meter verwendet, um horizontale Spannungen zu vermeiden und den Vorteil einer Selbstausrichtung entlang der Abzugsachse zu nutzen. Des Weiteren wurde die Einschubrichtung jedes Einzelteleskops sowie jedes Sekundärgerüsts parallel zur Abzugsrichtung ausgerichtet. Die Messung jedes Einzelteleskops sowie jedes Gerüsts wurde zehnmal durchgeführt. Im Falle einer Kippung während des Abzugstests wurde der Test wiederholt und als solcher nicht gewertet.

Da die Summe der durchschnittlichen Abzugskräfte der Einzelteleskope sehr nahe oder identisch mit den Abzugskräften des gesamten Sekundärgerüsts sind, kann angenommen werden, dass keine Kippung oder Verkantung während eines gewerteten Abzugs stattgefunden hat. Die Abzugskräfte des vorgestellten Konzepts sind mit denen von Galvano-Teleskopsystemen vergleichbar (15) und sind innerhalb eines schmalen Bereichs reproduzierbar. Aus diesem Grund würden die Ergebnisse

eine klinische Studie zur weiteren Untersuchung des vorgestellten Konzepts rechtfertigen.

Die Studie hat folgende Einschränkungen:

1. Es wurde nur ein künstliches Speichelersatzprodukt getestet.
2. Der Einfluss von Abnutzung auf die Abzugskräfte wurde nicht gemessen. Das vorgestellte Konzept basiert jedoch nicht auf Friktion sondern auf Adhäsion und somit kann davon ausgegangen werden, dass es hier zu weniger Verschleiß kommt als bei herkömmlichen Doppelkronensystemen.
3. Es wurde nur ein Computer-aided design/Computer-aided manufacturing System und ein Zirkonoxidmaterial getestet.

## 6.2. Genauigkeit und mechanische Leistung von konventionell und passiv verklebten 3-gliedrigen Brücken auf mehrteiligen Abutments

Ziel dieser Studie war es den Unterschied zwischen konventionell und passiv verklebten 3-gliedrigen Brücken auf verschraubten Implantaten zu untersuchen, bezüglich Randpassung und Bruchlast nach künstlicher Alterung.

Die passiv verklebten 3-gliedrigen Brücken zeigten eine bessere Passung als die konventionell verklebten Brücken. Jedoch konnte kein Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Komplikationsrate und der Bruchlast nach künstlicher Alterung festgestellt werden. Aus diesem Grund muss die Arbeitshypothese teilweise abgelehnt werden. Die von drei erfahrenen und verblindeten Spezialisten für Prothetik durchgeführte klinische Beurteilung der Randpassung, zeigte statistisch nachweisbare Unterschiede zwischen den konventionell und passiv verklebten 3-gliedrigen Brücken. Die konventionell verklebten 3-gliedrigen Brücken mit einem durchschnittlichen Visuellen Analogskala-Wert (VAS-Wert) von 6.3 ( $\pm$  2.4) wurden deutlich schlechter als die passiv verklebten mit einem durchschnittlichen VAS-Wert von 1.4 ( $\pm$  0.3) bewertet.

Die Streuung der VAS-Werte in Gruppe 1 war deutlich höher als in Gruppe 2. Dies zeigt, dass die Passung der konventionell verklebten Brücken von mehreren Punkten abhängt: Abformtechnik, Platzierung der Laboranaloge und der Modellherstellung (22-25).

Auch wenn das in-vitro Studiendesign klar verständlich war und jede Abformung sowie jedes Modell ausschließlich vom Autor in der gleichen Art und Weise hergestellt wurden, waren die Abweichungen ziemlich groß. Allerdings können diese Passungsgenauigkeiten durch passives Verkleben reduziert werden. Die Abweichungen der VAS-Werte, zwischen den drei erfahrenen Prothetikern, speziell bei den Brücken 1,6,7,8 und 10 zeigten die Schwierigkeiten bei der klinischen Bewertung. Die Streuung der Werte der verschiedenen Kliniker waren ungleich, obwohl sie während und zwischen den Untersuchungen kalibriert worden waren. Auch wenn die subjektive Untersuchung der Brückenpassung nicht das höchste Evidenzniveau hat, so spiegelt sie den klinischen Alltag wieder, in dem die Bewertung des Zahnarztes als Goldstandard angesehen wird. Die Ergebnisse der mikroskopischen Analyse der Randspalte unterstützen diese These ebenfalls. Für die konventionell verklebten Brücken ergab dies Mittelwerte von 160  $\mu$ m ( $\pm$  80  $\mu$ m), für den Abutmentrand und 150  $\mu$ m ( $\pm$ 80  $\mu$ m) für die axiale Wand des Abutments,

gemessen am distalen Abutment. Während der Messung wurde nur die Schraube des mesialen Abutments festgezogen. Die Messungen wurden anhand der Methoden von Boening *et al.* (26) und Molin und Karlsson (27) durchgeführt. Dabei werden Silikoninnenabdrücke des Zementspalts erstellt und die Dicke mit dem Mikroskop und spezieller Software vermessen (28, 29). Bei den passiv verklebten Brücken war diese Methode jedoch nicht durchführbar. Der dünne Silikoninnenabdruck zwischen dem multibase-Abutment und der Titankappe riss bevor es mit dickflüssigem Silikon stabilisiert werden konnte. Dies könnte als Beweis für einen kleineren Randspalt der passiv verklebten im Vergleich zu den konventionell verklebten Brücken gewertet werden.

Gemäß dem Konstruktions- und Produktionsdatenblatt des multibase-Abutments und der Titankappe, betragen die Passungengenauigkeiten zwischen dem multibase-Abutment und der Titankappe 0 µm am Rand und 0-17 µm an der axialen Wand des Abutments. Diese Daten zeigen anschaulich, warum es aufgrund dieser geringen Randspaltwerte nicht möglich war Silikoninnenabdrücke zu erstellen.

Die Unterschiede in der Passung der beiden Gruppen zeigen erneut die Schwierigkeit, die klinische Situation in das zahntechnische Labor zu übertragen. Auf Grundlage der *in vitro* und *in vivo* Untersuchungen mit 4 Implantaten von Stimmelmayer *et al.*, wurde in dieser Studie die offene Abformtechnik gewählt (30, 31). In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass die offene der geschlossenen Abformtechnik überlegen ist, wenn man 3 oder mehr Implantate oder Implantate mit verschiedenen Angulationen oder große Spannen zwischen Implantaten in ein Gipsmodell überführt (22).

Stimmelmayer *et al.* zeigten in einer klinischen Studie, dass die Passungengenauigkeiten mit zunehmender Brückenspanne steigen (30). In der vorgestellten *in vitro* Studie betrug der Randspalt 160 µm bei einer Spanne von 18 mm zwischen beiden Implantaten. Diese Daten sind mit den klinischen Daten von Stimmelmayer *et al.* vergleichbar, bei denen bei einer Brückenspanne von 18 mm ein Randspalt von 200 µm gemessen werden konnte (30).

Bevor die dreigliedrigen Brücken der künstlichen Alterung unterzogen wurden, wurden sie mit 10 Ncm auf dem mesialen und distalen Abutment verschraubt.

Nach dem Verschrauben der Brücken konnte kein Randspalt mehr am distalen Abutment festgestellt werden und die Passung der Brücken in Gruppe 1 und 2 schienen ähnlich zu sein. Vorliegendes Phänomen, dass der Randspalt nach dem

Festziehen aller Schrauben signifikant kleiner war, konnte schon von Tiozzi *et al.* und Berejuk *et al.* festgestellt werden (32, 33). Dies wirft jedoch die Frage auf, welche Struktur in dem Versuchsaufbau die Passungsgenauigkeit beim Festziehen der Schrauben kompensiert. In der vorgestellten Studie könnte das Acrylharz (DPC-Laminierharz LT 2) mit einem E-Modul von 3450 MPa, vergleichbar mit Typ III Knochen, verantwortlich sein (34). Folglich wäre der Acrylblock flexibel genug die Passungsgenauigkeit von 160 µm zu kompensieren. Transferiert man diese Annahme in eine klinische Situation, müsste der Knochen die Passungsgenauigkeit ausgleichen. Auf der einen Seite wäre der Knochen abhängig von Typ I-IV flexibel genug, auf der anderen Seite könnte es aber auch zu einem Knochenumbau kommen. Jemt *et al.* fanden heraus, dass Belastungen von klinisch relevanter Größenordnung zu einem Knochenumbau führen können (35).

Auf der anderen Seite wäre es aber auch möglich, dass die Implantatkomponenten die Passungsgenauigkeiten ausgleichen. Denkbar wäre, dass sich das Implantat im zervikalen Bereich verbiegt da es circa 3 mm unter der Implantatschulter eingebettet wurde. Des Weiteren wurde in dieser Studie ein konisches Implantatsystem verwendet. Diese Systeme zeichnen sich durch dünnere Implantatwandungen, im Vergleich zu butt-joint Verbindungen aus (36). In diesem Fall wurden jedoch Implantate mit einem Durchmesser von 4,1 mm verwendet, die als mechanisch stabil angesehen werden können.

Ein weiteres bewegliches Element wäre die Verbindung zwischen dem multibase-Abutment und dem Implantat Interface. Semper *et al.*, Hogg *et al.* und Blum *et al.* beschrieben Passungsgenauigkeiten in verschiedenen Implantat-Abutment-Verbindungen und zeigten, dass es dort auf Knochenniveau zu einem Rotations- und Bewegungsspiel von bis zu 1,7° kommen kann (37-39).

Die Versuchsergebnisse von Semper *et al.* weisen auf hohe Fertigungstoleranzen bei verschiedenen Implantattypen hin, die die Positionsstabilität der Abutments heruntersetzten und der Grund für die Kompensation der Passungsgenauigkeiten sein könnten (40). Die einzige Technik um eine lokale Deformation an der Implantat-Abutment -Verbindung während und nach der Kausimulation nachzuweisen, ist eine gleichzeitige Echtzeit Röntgendurchleuchtung und Mikrotomographie (41). Mit dem Rasterelektronenmikroskop können lokale Abrasionen und Deformationen des Abutments oder Implantats festgestellt werden. Dafür müssen vor und nach der

Kausimulation Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop gemacht werden (42).

Die letzte Möglichkeit der Kompensation stellt das verwendete Zirkondioxidgerüst der 3-gliedrigen Brücken dar. Da Zirkonoxid ein E-Modul von 210 GPa aufweist, ist dies eher unwahrscheinlich. Des Weiteren trat während der Kausimulation kein Chipping auf, was ein Hinweis darauf ist, dass die Restauration nicht unter Stress stand. Während der Kausimulation traten in keiner Studiengruppe Schraubenlockerungen, Schraubenfrakturen oder Verblendfrakturen auf.

Dies führt zur Annahme, dass die Passungengenauigkeit von ca. 160 µm in einer 3-gliedrigen verschraubten implantatgetragenen Brücke innerhalb des Versuchsaufbaus ausgeglichen werden kann und nicht in einer höheren Verlustrate resultiert.

Ein systematischer Review von Pjetursson *et al.* aus dem Jahre 2004 beschrieb ein kumulatives Auftreten von Verbindungsproblemen (Schraubenlockerung oder Schraubenermüdung) von 7,3% nach 5 Jahren klinischer Tragedauer (43).

Das Problem des Mikropaltes zwischen Implantat und Abutment ist, neben einem mechanischen, auch ein biologisches.

Die mechanischen Probleme führen zu Mikrobewegungen, die möglicherweise zu Schraubenlockerung oder Schraubenfrakturen, als Folge einer Ermüdung der Implantat-Abutmentverbindung zu werten sind (44, 45).

Die Frage, ob die konventionelle Technik für die Brückenherstellung ausreichend ist, ist für Kliniker schwer zu beantworten. Ein entscheidender Faktor für den Erfolg von Implantatrestorationen ist die Abformtechnik. Nur mit präzisen Abformungen, der richtigen Abformtechnik, einem guten Material und einer präzisen Modellherstellung, können klinisch vertretbar passende Brücken hergestellt werden (22-25). Die Passung der Gesamtrestauration hängt von der Gerütherstellung ab (46). Nichtsdestotrotz beschreibt die Studiengruppe um *Karl*, dass die Passivität von mehrgliedrigen Restaurationen für die dauerhafte Osseointegration von Implantaten nicht so entscheidend zu sein scheint wie man dachte. In einer randomisierten klinischen Studie konnten sie zeigen, dass um statisch und dynamisch belastete Implantate Knochenumbau stattfand (47).

Nach Knochenumbau führt dies zu einer Abnahme der Passungengenauigkeit von nicht passiv sitzenden Brücken, was zur Folge hat, dass die konventionelle Herstellungstechnik von 3-gliedrigen Brücken klinisch möglich ist.

Die Durchschnittswerte für die Bruchfestigkeit die in der Universaltestmaschine ausgewertet wurden, zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen mit 2583 N ( $\pm$  664 N) für die konventionell verklebten und 2465 N ( $\pm$  238 N) für die passiv verklebten Brücken.

Weitere in vitro Untersuchungen bezüglich der Biegefestigkeit von Brücken im Seitenzahnbereich sind verfügbar. Es muss in Betracht gezogen werden, dass die Ergebnisse auf verschiedenen Restaurationsarten (rein zahngetragen, Zahn-Implantat getragen und rein Implantat getragenen Brücken) basieren. Wenn man diese Ergebnisse der Studie mit der Literatur vergleicht, bewegen sich die veröffentlichten Werte von 647 N ( $\pm$  39 N) (48) bis zu 1584 N ( $\pm$  153 N) (49) und andere dazwischen (50).

Die Biegefestigkeitswerte der vorliegenden Studie übersteigen die bisher veröffentlichten Werte. Zahlreiche Gründe wie z.B. das höhere E-Modul, verschiedene Dimensionen oder ein anderes Belastungsprotokoll des simulierten Knochens könnten die höhere Biegefestigkeit erklären.

Eine Studie von Wimmer *et al.* zeigte, dass das Abutment- und Einbettmaterial einen Einfluss auf die Bruchfestigkeitswerte des Rekonstruktionsmaterials hat.

Die Studie ergab Werte von 2398 N ( $\pm$  548 N) für e.max CAD-on auf Kunststoffmodellen sowie Werte von 5818 N ( $\pm$  696 N) für e.max CAD-on auf Metallmodellen (51). Die Werte der Kunststoffmodelle in der Studie von Wimmer *et al.* sind vergleichbar mit den Werten der vorliegenden Studie.

Die Acrylmodelle (Acrylglas GS, Quinn Plastics) in der Studie von Wimmer *et al.* wiesen ein E-Modul von 3,3 GPa und die Brücken (IPS e.max CAD-on mit einem IPS e.max ZirCAD Gerüst, Ivoclar Vivadent) von 220 GPa auf (51). Diese Daten sind vergleichbar mit den Daten der vorliegenden Studie. Andere Studien in denen Zirkonoxidgerüste konventionell verblendet und auf natürlichen Pfeilerzähnen zementiert wurden, beobachteten Bruchlasten zwischen 1011 N und 2126 N (52).

Eine weitere vergleichbare Bruchlast von 2000N bei dreigliedrigen, konventionell verblendetet Zirkonoxidbrücken, die auf Metallmodellen zementiert wurden, wurde von Tinschert *et al.* veröffentlicht (53).

Bedenkt man die Einschränkungen dieser in vitro Studie können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Die Randpassung einer dreigliedrigen vollkeramischen, verschraubten Brücke ist günstiger, wenn die Passivierung auf den Abutments im Mund durchgeführt wurde.
2. Die konventionelle Herstellung von dreigliedrigen vollkeramischen, verschraubten Brücken führte zu Passungenauigkeiten von 160 µm am distalen Abutment.
3. Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen passivierten und konventionell verklebten dreigliedrigen vollkeramischen, verschraubten Brücken in Bezug auf die Überlebensraten und die mechanische Stabilität nach Kausimulation festgestellt werden.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

### 7.1. Deutsche Version

Auf Grundlage der hier zusammengefassten Untersuchung konnte festgestellt werden, dass es möglich ist aus yttriumstabilisiertem Zirkonoxid hochpräzise monolithische Zirkonoxid-Doppelkronensysteme herzustellen. Die Abzugskräfte waren reproduzierbar und vergleichbar mit denen von Galvanodoppelkronensystemen. Die durchschnittlichen Abzugskräfte der Einzelteleskope lagen zwischen 0,611-2,895 N, die der gesamten Sekundärkonstruktion zwischen 8,1 N und 13,6 N. Vergleich man die einzelnen Zahnstümpfe miteinander, hatte sowohl das Modell ( $p < 0,001$ ) als auch der einzelne Pfeilerzahn ( $p < 0,001$ ) signifikanten Einfluss auf die Abzugskräfte. Die Eckzähne zeigten signifikant geringere Abzugskräfte im Vergleich zu den Prämolaren (SNK,  $p = 0,213$ ) und Molaren. Es konnte jedoch kein Unterschied hinsichtlich der Abzugskräfte zwischen den Prämolaren und Molaren festgestellt werden. Trotz der vielversprechenden Ergebnisse ist die entscheidende Limitation der 14-gliedrigen Computer-aided design/Computer-aided manufacturing gefrästen monolithische Zirkonoxid-Doppelkronensysteme ein Totalversagen der kompletten Restauration bei Bruch der Sekundärkonstruktion. Des Weiteren wurde in der Studie die Abnutzung der Teleskope und dessen Auswirkung auf die Abzugskräfte nicht überprüft. Wobei hier von einer geringeren Abnutzung als bei herkömmlichen Doppelkronensystemen auszugehen ist, da das vorgestellte Doppelkronensystem auf Adhäsion und nicht auf Friktion basiert. Bezüglich der Ästhetik und der Biokompatibilität stellt das vorgestellte Doppelkronensystem gerade für Allergiker eine interessante Alternative zu herkömmlichen Doppelkronensystemen dar.

Bezüglich der implantatgetragenen 3-gliedrigen Zirkonoxidbrücken konnte festgestellt werden, dass die passiv verklebten Brücken auf den originalen Abutments deutlich geringere Randspalten aufwiesen. Dennoch konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Biegefestigkeit und Überlebensrate beider Gruppen festgestellt werden. Ein limitierender Faktor, der auch für die geringere Passgenauigkeit der konventionell verklebten Brücken verantwortlich sein kann, ist die Überführung der Mundsituation ins Labor. Hier können sowohl bei der Abformung als auch bei der Modellherstellung Fehler passieren, die letztendlich zu einer

schlechteren Passung im Mund führen können. Dennoch ist festzuhalten, dass die passive Verklebung im Mund sich wesentlich schwieriger darstellt als die konventionelle Verklebung im Labor. Abhilfe könnten hier wegweisende Ansätze im digitalen Workflow schaffen, gerade was die digitale Abformung mittels Intraoralscannern anbelangt (54, 55). Die digitale Abformung könnte Passungengenauigkeiten minimieren und würde gleichzeitig im Zuge des Computer-aided design/Computer-aided manufacturing Workflows die ganze Palette an Keramiken zur Auswahl stellen die für die entsprechenden Anwendungsbereiche gewünscht sind.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Entwicklung in der Computer-aided design/Computer-aided manufacturing Technologie sehr rasant voranschreitet und sowohl die Materialvielfalt als auch die Präzision der Scanner und Fräsmaschinen stetig verbessert wird. Zirkonoxid wird sowohl in der Zahnmedizin als auch in der Zahntechnik ein sehr gefragter Werkstoff bleiben, nicht zuletzt aufgrund seiner hohen Biegefestigkeit, seines großen Anwendungsspektrums, seiner guten Ästhetik und perfekten Biokompatibilität.

## 7.2. Englische Version

Based on the summarized studies it can be concluded that accurately fitting zirconia double-crown systems can be produced from yttria-stabilized zirconia. The retention forces were reproducible and comparable to those of electroformed double-crown systems. The mean retention forces for single telescopic systems were in a range of 0.611-2.895 N, the values of the mean retention forces for the whole secondary construction varied between 8.1 and 13.6 N. Comparing the abutment teeth separately, the model ( $p < 0.001$ ) and the abutment teeth ( $p < 0.001$ ) had a significant influence on the retention forces. The cuspid showed significantly lower retention forces compared to the premolar (SNK,  $p = 0.213$ ) and the molar abutments. However, no differences between the premolar and the molar abutments were detected. Despite the promising results, the decisive restriction of the 14-unit RDPs is that with a failure of the secondary construction the complete restoration fails. Furthermore, the impact of wear on the retention forces was not measured. However, as the presented telescopic system is based on adhesion instead of friction, it can be supposed that less wear occurs compared to conventional double-crown systems. Regarding the esthetic and the biocompatibility the presented double-crown system represents an interesting alternative to conventional double-crown systems especially for allergy sufferers.

Regarding the 3-unit all-ceramic screw retained FDPs, the marginal fit is favorable when passive fitting is performed on the original implant abutments. Nevertheless, no statistical differences in survival rate and mechanical stability after artificial aging can be detected between passive fitting and conventional fitting of 3-unit all-ceramic screw retained FDPs. A limiting factor that might be responsible for the lower accuracy of fit of the conventional fitting FDPs, is the transfer of the oral situation to the dental laboratory. Inaccuracies in the impression and the model production can lead to a worse fitting in the oral situation. Nevertheless, the bonding of the passive fitting FDPs intraorally is more difficult than in the dental laboratory. New approaches in the digital workflow can serve as a remedy to these problems, especially the use of intraoral-scanners for the digital impression (54, 55). The digital impression could minimize the misfit and would still provide the full range of ceramics within the Computer-aided design/Computer-aided manufacturing workflow for each indication.

As a conclusion, it can be said that the development of the Computer-aided design/Computer-aided manufacturing technology, the diversity of materials as well as the accuracy of dental scanners and milling machines are in a state of rapid development. Zirconia as a restoration material will stay in demand in dentistry as well as in dental technology, because of its high flexural strength, its wide field of application, its good esthetics and its perfect biocompatibility.

## **8. Veröffentlichung I: Erstautorschaf**

Groesser J, Sachs C, Heiss P, Stadelmann M, Erdelt K, Beuer F.

### **Retention forces of 14-unit zirconia telescopic prostheses with six double crowns made from zirconia – an in vitro study**

Clin Oral Investig. 2014 May;18(4):1173-1179. doi: 10.1007/s00784-013-1093-1. Epub 2013 Aug 21. (IF: 2.352, 21/86)

<http://link.springer.com/10.1007/s00784-013-1093-1>

## **9. Veröffentlichung II: Zweitautorschaft**

Stimmelmayr M, Groesser J, Beuer F, Erdelt K, Krennmair G, Sachs C, Edelhoff D, Gueth J-F.

**Accuracy and mechanical performance of passivated and conventional fabricated 3-unit fixed dental prosthesis on multi-unit abutments**

J Prosthodont Res. 2017 Feb 7. pii: S1883-1958(17)30002-6. doi: 10.1016/j.jpor.2016.12.011. Epub 2017 Feb 7. (IF: 1.693, 29/89)

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S18831958173000>

26

## 10. Literaturverzeichnis

1. Beuer F, Steff B, Naumann M, Sorensen JA. Load-bearing capacity of all-ceramic three-unit fixed partial dentures with different computer-aided design (CAD)/computer-aided manufacturing (CAM) fabricated framework materials. *European journal of oral sciences* 2008;116:381-386.
2. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British dental journal* 2008;204:505-511.
3. Beuer F, Aggstaller H, Edelhoff D, Gernet W, Sorensen J. Marginal and internal fits of fixed dental prostheses zirconia retainers. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2009;25:94-102.
4. Abduo J, Lyons K, Swain M. Fit of zirconia fixed partial denture: a systematic review. *Journal of oral rehabilitation* 2010;37:866-876.
5. Bindl A, Mormann WH. Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. *Journal of oral rehabilitation* 2005;32:441-447.
6. Schmitter M, Mussotter K, Rammelsberg P, Gabbert O, Ohlmann B. Clinical performance of long-span zirconia frameworks for fixed dental prostheses: 5-year results. *Journal of oral rehabilitation* 2012;39:552-557.
7. Choi YS, Kim SH, Lee JB, Han JS, Yeo IS. In vitro evaluation of fracture strength of zirconia restoration veneered with various ceramic materials. *The journal of advanced prosthodontics* 2012;4:162-169.
8. Chaar MS, Witkowski S, Strub JR, Att W. Effect of veneering technique on the fracture resistance of zirconia fixed dental prostheses. *Journal of oral rehabilitation* 2013;40:51-59.
9. Quinn GD, Studart AR, Hebert C, VerHoef JR, Arola D. Fatigue of zirconia and dental bridge geometry: Design implications. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2010;26:1133-1136.
10. Salazar Marocho SM, Studart AR, Bottino MA, Bona AD. Mechanical strength and subcritical crack growth under wet cyclic loading of glass-infiltrated dental ceramics. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2010;26:483-490.
11. Studart AR, Filser F, Kocher P, Gauckler LJ. Fatigue of zirconia under cyclic loading in water and its implications for the design of dental bridges. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2007;23:106-114.
12. Studart AR, Filser F, Kocher P, Luthy H, Gauckler LJ. Cyclic fatigue in water of veneer-framework composites for all-ceramic dental bridges. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2007;23:177-185.
13. Stawarczyk B, Ozcan M, Roos M, Trottmann A, Hammerle CH. Fracture load and failure analysis of zirconia single crowns veneered with pressed and layered ceramics after chewing simulation. *Dental materials journal* 2011;30:554-562.
14. Stawarczyk B, Ozcan M, Schmutz F, Trottmann A, Roos M, Hammerle CH. Two-body wear of monolithic, veneered and glazed zirconia and their corresponding enamel antagonists. *Acta odontologica Scandinavica* 2013;71:102-112.
15. Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Naumann M. Parameters affecting retentive force of electroformed double-crown systems. *Clinical oral investigations* 2010;14:129-135.
16. Bragger U, Aeschlimann S, Burgin W, Hammerle CH, Lang NP. Biological and technical complications and failures with fixed partial dentures (FPD) on implants and teeth after four to five years of function. *Clinical oral implants research* 2001;12:26-34.
17. Bayer S, Stark H, Mues S, Keilig L, Schrader A, Enkling N. Retention force measurement of telescopic crowns. *Clinical oral investigations* 2010;14:607-611.
18. Bayer S, Kraus D, Keilig L, Golz L, Stark H, Enkling N. Wear of double crown systems: electroplated vs. casted female part. *Journal of applied oral science : revista FOB* 2012;20:384-391.
19. Engels J, Schubert O, Guth JF, Hoffmann M, Jauernig C, Erdelt K, et al. Wear behavior of different double-crown systems. *Clinical oral investigations* 2012.
20. Weigl P, Hahn L, Lauer HC. Advanced biomaterials used for a new telescopic retainer for removable dentures. *Journal of biomedical materials research* 2000;53:320-336.
21. Weigl P, Lauer HC. Advanced biomaterials used for a new telescopic retainer for removable dentures. *Journal of biomedical materials research* 2000;53:337-347.
22. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C. The accuracy of implant impressions: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2008;100:285-291.
23. Selvaraj S, Dorairaj J, Mohan J, Simon P. Comparison of implant cast accuracy of multiple implant impression technique with different splinting materials: An in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc* 2016;16:167-175.
24. Nakhaei M, Madani AS, Moraditalab A, Haghi HR. Three-dimensional accuracy of different impression techniques for dental implants. *Dent Res J (Isfahan)* 2015;12:431-437.
25. Vojdani M, Torabi K, Ansarifard E. Accuracy of different impression materials in parallel and nonparallel implants. *Dent Res J (Isfahan)* 2015;12:315-322.
26. Boening KW, Wolf BH, Schmidt AE, Kastner K, Walter MH. Clinical fit of Procera AllCeram crowns. *The Journal of prosthetic dentistry* 2000;84:419-424.
27. Molin M, Karlsson S. The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems. A clinical and in vitro study. *Acta odontologica Scandinavica* 1993;51:201-206.
28. Beuer F, Neumeier P, Naumann M. Marginal fit of 14-unit zirconia fixed dental prosthesis retainers. *J Oral Rehabil* 2009;36:142-149.

29. Sachs C, Groesser J, Stadelmann M, Schweiger J, Erdelt K, Beuer F. Full-arch prostheses from translucent zirconia: accuracy of fit. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2014;30:817-823.
30. Stimmelmayer M, Guth JF, Erdelt K, Happe A, Schlee M, Beuer F. Clinical study evaluating the discrepancy of two different impression techniques of four implants in an edentulous jaw. *Clinical oral investigations* 2013;17:1929-1935.
31. Stimmelmayer M, Erdelt K, Guth JF, Happe A, Beuer F. Evaluation of impression accuracy for a four-implant mandibular model--a digital approach. *Clinical oral investigations* 2012;16:1137-1142.
32. Tiozzi R, Gomes EA, Lapria Faria AC, Silveira Rodrigues RC, Ribeiro RF. Effect of cyclic loading on the vertical microgap of long-span zirconia frameworks supported by 4 or 6 implants. *The Journal of prosthetic dentistry* 2014;112:828-833.
33. Berejuk HM, Shimizu RH, de Mattias Sartori IA, Valgas L, Tiozzi R. Vertical microgap and passivity of fit of three-unit implant-supported frameworks fabricated using different techniques. *The International journal of oral & maxillofacial implants* 2014;29:1064-1070.
34. Rho JY, Ashman RB, Turner CH. Young's modulus of trabecular and cortical bone material: ultrasonic and microtensile measurements. *J Biomech* 1993;26:111-119.
35. Jemt T, Lekholm U, Johansson CB. Bone response to implant-supported frameworks with differing degrees of misfit preload: in vivo study in rabbits. *Clinical implant dentistry and related research* 2000;2:129-137.
36. Flanagan D, Phillips J, Connor M, Dyer T, Kazerounian K. Hoop stress and the conical connection. *The Journal of oral implantology* 2015;41:37-44.
37. Blum K, Wiest W, Fella C, Balles A, Dittmann J, Rack A, et al. Fatigue induced changes in conical implant-abutment connections. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 2015.
38. Hogg WS, Zulauf K, Mehrhof J, Nelson K. The Influence of Torque Tightening on the Position Stability of the Abutment in Conical Implant-Abutment Connections. *The International journal of prosthodontics* 2015;28:538-541.
39. Semper W, Kraft S, Kruger T, Nelson K. Theoretical optimum of implant positional index design. *J Dent Res* 2009;88:731-735.
40. Semper W, Kraft S, Mehrhof J, Nelson K. Impact of abutment rotation and angulation on marginal fit: theoretical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:752-758.
41. Wiest W, Zabler S, Rack A, Fella C, Balles A, Nelson K, et al. In situ microradioscopy and microtomography of fatigue-loaded dental two-piece implants. *J Synchrotron Radiat* 2015;22:1492-1497.
42. Stimmelmayer M, Edelhoff D, Guth JF, Erdelt K, Happe A, Beuer F. Wear at the titanium-titanium and the titanium-zirconia implant-abutment interface: a comparative in vitro study. *Dent Mater* 2012;28:1215-1220.
43. Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:667-676.
44. Huang HM, Tsai CM, Chang CC, Lin CT, Lee SY. Evaluation of loading conditions on fatigue-failed implants by fracture surface analysis. *The International journal of oral & maxillofacial implants* 2005;20:854-859.
45. Steinebrunner L, Wolfart S, Ludwig K, Kern M. Implant-abutment interface design affects fatigue and fracture strength of implants. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:1276-1284.
46. Degidi M, Caligiana G, Francia D, Liverani A, Olmi G, Tornabene F. Strain gauge analysis of implant-supported, screw-retained metal frameworks: Comparison between different manufacturing technologies. *Proc Inst Mech Eng H* 2016.
47. Karl M, Taylor TD. Bone Adaptation Induced by Non-Passively Fitting Implant Superstructures: A Randomized Clinical Trial. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016;31:369-375.
48. Nothdurft FP, Merker S, Pospiech PR. Fracture behaviour of implant-implant- and implant-tooth-supported all-ceramic fixed dental prostheses utilising zirconium dioxide implant abutments. *Clinical oral investigations* 2011;15:89-97.
49. Ambre MJ, Aschan F, Vult von Steyern P. Fracture strength of yttria-stabilized zirconium-dioxide (Y-TZP) fixed dental prostheses (FDPs) with different abutment core thicknesses and connector dimensions. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists* 2013;22:377-382.
50. Kolbeck C, Behr M, Rosentritt M, Handel G. Fracture force of tooth-tooth- and implant-tooth-supported all-ceramic fixed partial dentures using titanium vs. customised zirconia implant abutments. *Clinical oral implants research* 2008;19:1049-1053.
51. Wimmer T, Erdelt KJ, Eichberger M, Roos M, Edelhoff D, Stawarczyk B. Influence of abutment model materials on the fracture loads of three-unit fixed dental prostheses. *Dental materials journal* 2014;33:717-724.
52. Rosentritt M, Kolbeck C, Handel G, Schneider-Feyrer S, Behr M. Influence of the fabrication process on the in vitro performance of fixed dental prostheses with zirconia substructures. *Clinical oral investigations* 2011;15:1007-1012.
53. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H. Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *The International journal of prosthodontics* 2001;14:231-238.
54. Guth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clinical oral investigations* 2016.
55. Beuer F, Groesser J, Schweiger J, Hey J, Guth JF, Stimmelmayer M. The Digital One-Abutment/One-Time Concept. A Clinical Report. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists* 2015.

## 11. Danksagung

Mit großer Freude und Stolz sehe ich der Verleihung meines Doktorgrades 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 seinem enormen Fachwissen zur Seite stand, viele seiner freien Abende für mich opferte und mir nicht zuletzt auch durch private Gespräche zu einem wertvollen und freundschaftlichen Ratgeber und Wegbegleiter auch für meine zahnärztliche Zukunft wurde.

*Lieber Flo,*

*ich kann mich noch sehr gut an den Tag erinnern, als ich dir mein Dissertationsthema vorgeschlagen habe. Gerade bei den Zirkonoxid-Doppelkronensystemen konnte ich dir durchaus ansehen, dass du dir nicht ganz sicher warst, ob auf Adhäsion basierende Zirkonoxid-Doppelkronen überhaupt herstellbar sind. Dennoch hast du mir das zugetraut und warst umso begeisterter als du das erste funktionierende 14-gliedrige Sekundärgerüst in den Händen hieltst. Des Weiteren möchte ich dir für die Patientenarbeit im Studentenkurs danken mit der du mir die Möglichkeit gegeben hast, das monolithische Zirkonoxid-Doppelkronensystem am Patienten zur Anwendung zu bringen. Die Patientin ist seit mittlerweile 3 Jahren im regelmäßigen Recall bei mir und sehr zufrieden mit der Arbeit! Für dieses entgegengebrachte Vertrauen möchte ich dir hier ganz besonders danken! Dein unermüdlicher Einsatz in Bezug auf meine Doktorarbeit und meine weitere zahnmedizinische Karriere ist wirklich sehr schwer in Worte zu fassen. Du warst derjenige der mich in mühevoller Kleinarbeit in die wissenschaftliche Publikationstätigkeit eingeführt und mir die Freude und den Innovationsgeist des wissenschaftlichen Arbeitens bewusst gemacht hat.*

*Dafür möchte ich dir heute im Besonderen danken! Ich hoffe auf eine weiterhin so fruchtbare wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen München und Berlin mit allen Facetten, die sich daraus eventuell noch ergeben werden.*

Ich möchte ZTM Josef Schweiger und vor allem ZTM Markus Stadelmann für ihre großartige Unterstützung bei der Versuchsdurchführung und der Erarbeitung der besten Fräsparameter danken. Außerdem gilt ein großer Dank Dr. rer. hum. biol. Kurt Erdelt für seine hervorragende Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse. Mein besonderer Dank gebührt Prof. Dr. Michael Stimmelmayer für seinen unermüdlichen Einsatz bei der Verteidigung des letzten Papers sowie den vielen regen und zielführenden Diskussionen.

Meiner Freundin Dr. Caroline Sachs danke ich von ganzem Herzen für ihre unermüdliche Unterstützung, ihre Liebe und Motivation. Auch die wissenschaftliche Zusammenarbeit bezüglich unserer themenverwandten Doktorarbeiten hat sehr viel Spaß bereitet und gegenseitig Früchte getragen.

Und nicht zuletzt danke ich meinen Eltern und vor allem meinem Bruder Dr. med. habil. Leopold Größer die in jeglicher Hinsicht die Grundsteine für meinen Weg und das wissenschaftliche Arbeiten gelegt haben.