



Langzeitbeständigkeit von Infix-Kronen mit CAD/CAM gefertigten Keramikverblendungen

# Festigkeitsverhalten von Sinterverbundsystemen

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, das Festigkeitsverhalten von CAD/CAM-gefertigten und aufgesinterten Verblendungen auf Zirkonoxid-Kronengerüsten (Infix-Kronen) unter Anwendung von statischen und dynamischen Festigkeitsprüfungen zu charakterisieren. Zum Vergleich wurden in die Untersuchung auch manuell verblendete Kronengerüste aus verschiedenen Gerüstmaterialien und monolithische Vollkeramikronen aus IPS e.max CAD einbezogen. Erste Ergebnisse zu dieser Untersuchung wurden bereits im Jahr 2010 in das dental labor vorgestellt.

#### Autoren:

Joachim Tinschert,  
Gerd Natt,  
Dieter Braumüller,  
Rouven Cfer,  
Stefan Wolfart,  
Aachen

#### Indizes:

CAD/CAM  
Chipping  
Festigkeit  
Verblendung  
Zirkoniumdioxid

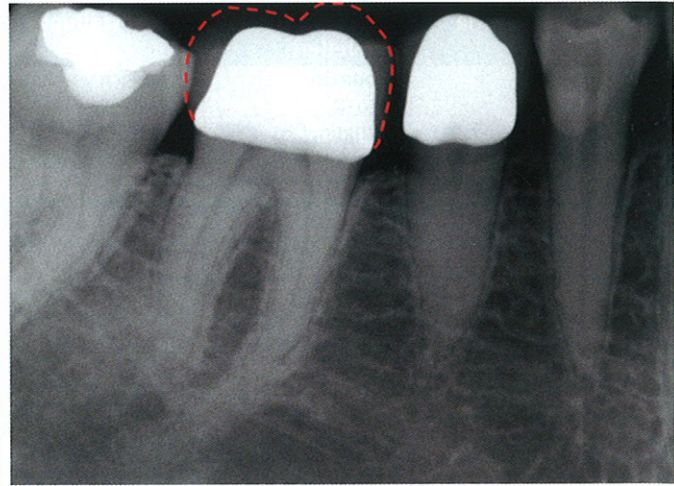
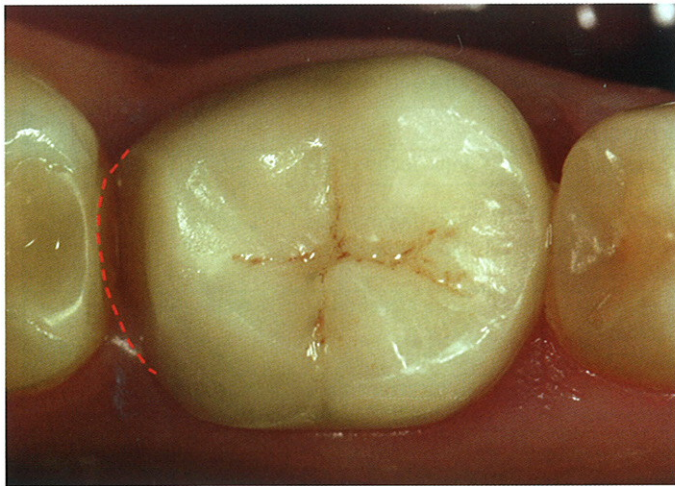
#### Keywords:

All-ceramic  
Strength  
Veneer  
Zirconia

Bisherige klinische Untersuchungen an zirkonoxidbasierten Kronen und Brücken haben sowohl im Front- als auch im Seitenzahnbereich vielversprechende Ergebnisse gezeigt. Während in den publizierten Studien kaum Frakturen der Zirkonoxidgerüste festgestellt wurden, war die Rate an Verblendungsabplatzungen gegenüber metallkeramischen Restaurationen deutlich höher (Abb. 1 und 2) [6]. Daher wurden von vielen Autoren weitere Untersuchungen zur Verbesserung der Langzeitstabilität des Verbundsystems aus Zirkonoxidgerüst und Verblendkeramik empfohlen [9].

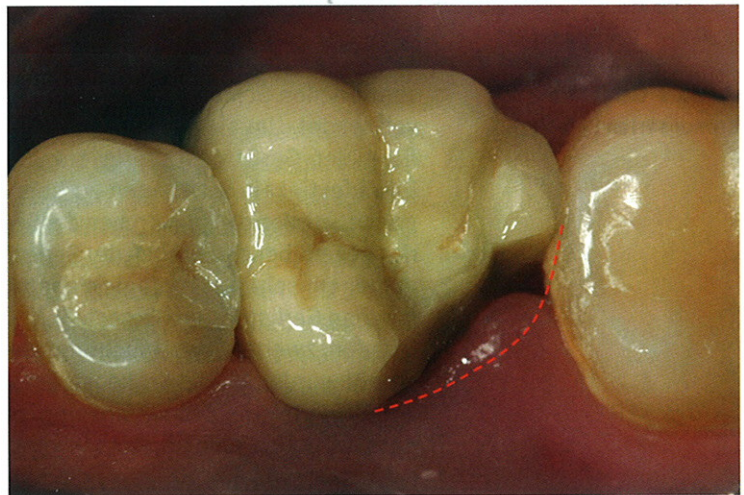
Neue Verblendungstechniken, wie zum Beispiel die Infix-Technologie (biodentis, Leipzig), könnten dazu beitragen, die Gefahr der Verblendungsabplatzung zu verringern [8]. Dabei stellt die

Infix-Technologie ein Verfahren dar, um CAD/CAM-gefertigte Kronen und Brücken bestehend aus einer Gerüststruktur (z. B. Zirkonoxid, Titan oder NEM) und einer Verblendung dauerhaft mithilfe eines Glaslots im Sinterverbund zu verbinden. Bei dieser Methode wird nicht nur das Gerüst, sondern auch die Verblendung vollständig mit der CAD/CAM-Technik hergestellt. Diese Technik wurde erstmals im Jahre 2007 beschrieben, um beschliffene IPS e.max- (Ivoclar Vivadent, Schaan, FL) Verblendungen auf gefräste Zirkonoxidkappchen zu befestigen [7]. Die im Sinterverbund hergestellten Einzelkronen zeigten bei der nachfolgenden Belastungsprüfung im Vergleich zu manuell verblendeten und überpressten Kronen deutlich höhere Bruchfestigkeiten.



▲ Abb. 1a Zirkonoxidkrone mit Verblendungsfraktur im distalen Approximalbereich (rote Linie)

▲ Abb. 1b Im Röntgenbild weist das Zirkonoxidgerüst (weiß) eine unzureichende Unterstützung der approximalen Verblendungsanteile (grau) auf. Die Ausdehnung der approximalen und okklusalen Verblendungsanteile ist rot gestrichelt mit Schichtdicken über 2 mm.



## Untersuchung

### Prüfmodell

Die Untersuchungen wurden an einem Prüfmodell zur Aufnahme einer Einzelkrone an Zahn 16 durchgeführt. Die Stumpfpräparation erfolgte an einem KaVo-EWL-Modellzahn (KaVo, Biberach) mit einer zirkulären Hohlkehlschleifung und einer Präparationstiefe von 0,6 mm. Okklusal wurde eine Schichtdicke von 1,5 bis 2,0 mm abgetragen. Dabei wurde das anatomische Höckerrelief erhalten. Der beschliffene KaVo-EWL-Modellzahn 16 wurde nachfolgend in einen Metallstumpf (Masterstumpf) aus einer Ni-Cr-Legierung überführt (Abb. 3). Im Prüfmodell wurde die Aussparung zur Aufnahme des Metallstumpfes so eingestellt, dass die zu testenden Kronen bei der Festigkeitsprüfung in einem Belastungswinkel von 135 Grad belastet wurden (Abb. 4).

### Prüfkronen

In einem ersten Untersuchungsabschnitt wurde in einer statischen Belastungsprüfung die Bruchfestigkeit von sechs verschiedenen Kronenserien mit jeweils 15 Kronen untersucht (Tab. 1). Neben vier Kronenserien mit einem Zirkonoxidgerüst (Kronenserien I bis IV) wurden zum Vergleich auch eine Serie mit einem NEM-Gerüst (Kronenserie V) und eine Serie mit monolithischen Kronen aus IPS e.max CAD (Kronenserie VI) in die Untersuchung einbezogen. Die Infix-Kronen der Serie I bis III wurden unter Verwendung der Infix-Technologie mit gefrästen und nachfolgend mit absolute Ceramics Glaslot (biodentis, Leipzig) aufgesinterten IPS e.max CAD- und Vita Mark II-Keramikverblendungen (Sonderanfertigung) getestet. Zum Vergleich wurden die Zirkonoxid- bzw. Wirobond LF-Gerüste der Serie IV und V mit einer kon-

▲ Abb. 2 Zirkonoxidkrone mit Verblendungsfraktur des distolingualen Höckers (rote Linie). Auch bei dieser Krone ist die Frakturursache eine fehlerhafte Gerüstgestaltung beziehungsweise eine unzureichende Höckerunterstützung.

Serie	Gerüst (Hersteller)	Gerüstgestaltung	Verblendung	Verblendtechnik (Hersteller)	Festigkeitsprüfung (Kronenzahl)
I	Zirkonoxid (Metoxit, Thayngen, CH)	anatomisch	IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, FL)	Infix-Technologie	statisch (15)
II	Zirkonoxid (Metoxit)	weniger anatomisch	IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent)	Infix-Technologie	statisch + dynamisch (15 + 45)
III	Zirkonoxid (Metoxit)	weniger anatomisch	Vita Mark II (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen)	Infix-Technologie (Sondertest)	statisch (15)
IV	Zirkonoxid (Metoxit)	weniger anatomisch	Triceram (Dentaurum, Ispringen)	Schichttechnik manuell	statisch (15)
V	Wirobond LF (Bego, Bremen)	weniger anatomisch	Dentceram LF (Dentaurum)	Schichttechnik manuell	statisch (15)
VI	IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent)	weniger anatomisch	-	(Monolithische Krone)	statisch + dynamisch (15 + 45)

▲ Tab. 1 Getestete Kronenserien I bis VI

ventionellen Schichttechnik manuell verblendet. Um einen möglichen Einfluss der Gerüstgestaltung auf die Bruchfestigkeit der Kronen zu überprüfen, wurden die Infix-Kronen der Serie I gegenüber den Kronen der Serie II mit einem sehr ausgeprägten anatomischen Gerüstdesign hergestellt. Für den zweiten Untersuchungsabschnitt wurden für die Kronenserien II und VI weitere 45 Kronen angefertigt und zusätzlich einer Dauerschwingprüfung ausgesetzt, um Aussagen zum Langzeitverhalten der Restaurationen treffen zu können.

**Statische Belastungsprüfung**

Vor der statischen Belastungsprüfung wurden alle Kronen mit Harvard Cement (Richter & Hoffmann, Berlin) auf den Metallstümpfen zementiert. Nachfolgend wurde die Bruchfestigkeit der Kronen mithilfe einer Zug-/Druck-Universal-Prüfmaschine (Prüfmaschine Z-1445, Zwick, Ulm) bei einer Vorschub-

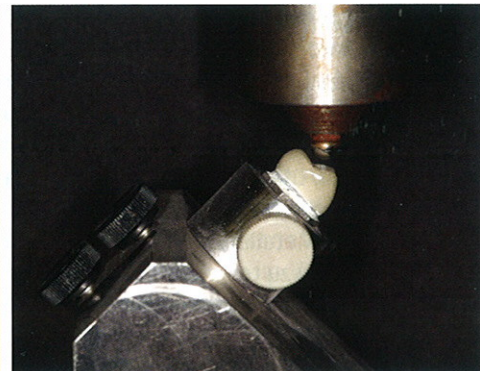
geschwindigkeit von 1 mm/min bis zum Eintreten eines ersten Frakturereignisses ermittelt. Die Lasteinleitung erfolgt dabei über einen abgerundeten Druckstempel mit einem Durchmesser des Stempelkopfes von 5 mm. Der Druckstempel setzte mittig in der zentralen Fossa der Okklusionsfläche in einem Belastungswinkel von 135 Grad auf.

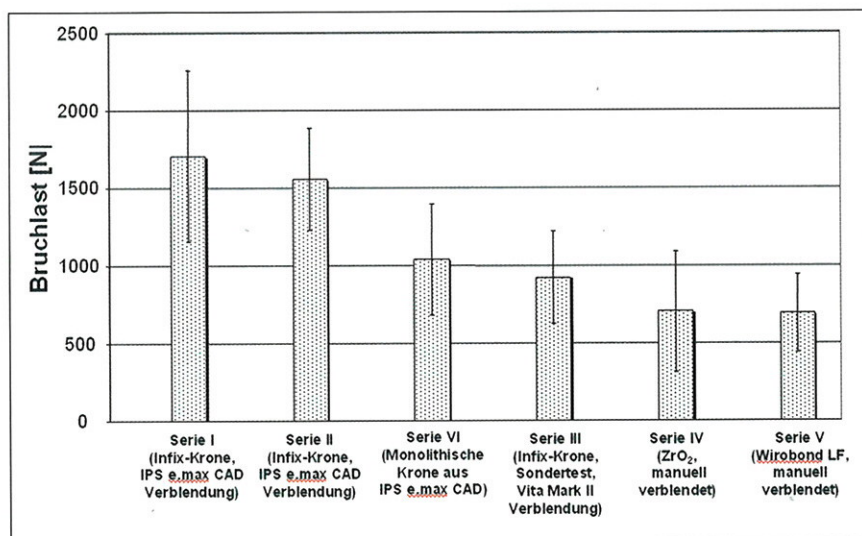
**Dauerschwingprüfung nach DIN Norm 50100**

Die Durchführung der Dauerschwingprüfungen erfolgte in einem mundähnlichen Milieu, das heißt im destillierten Wasserbad bei 37 °C. Für die Prüfung wurden die auf den Metallstümpfen zementierten Kronen der Serien II und VI in einer servo-pneumatischen Universal-Prüfmaschine (Prüfmaschine TP 5kN, Dyna Mess Prüfsysteme GmbH, Aachen/Stolberg) positioniert. Vergleichbar zur statischen Belastungsprüfung erfolgte die Lasteinleitung wiederum in der zentralen

▼ Abb. 3 Metallstumpf mit anatomischem Höckerrelief

▼ Abb. 4 Prüfanordnung für die Belastungsprüfung





◀ Abb. 5 Mittlere maximale Bruchlasten der Kronenserien I bis VI

Fossa der Okklusionsfläche mit einem Belastungswinkel von 135 Grad.

Jede Kronenserie wurde im Verlauf der Dauerschwingprüfung einer abgestuften (Dauerschwing-) Belastung unterzogen. Dazu wurden die Kronen einer Serie zunächst in drei Gruppen zu je 15 Kronen aufgeteilt und nachfolgend jeweils eine Kronengruppe mit einer abgestuften Belastungsrate (Oberspannung) in Höhe von 85 Prozent, 70 Prozent und 55 Prozent der mittleren maximalen Bruchlast belastet. Die mittlere maximale Belastung wurde aus den Ergebnissen der zuvor durchgeführten statischen Belastungsprüfung übernommen. Die sinusförmigen Belastungszyklen wurden bis zum Eintritt eines ersten Frakturereignisses fortgesetzt. Ausgehend von der oberen Belastungsrate erreichte die untere Belastungsrate (Unterspannung) nicht den Nullwert, sondern betrug immer 5 Prozent der mittleren maximalen Belastung. Aus Gründen der Untersuchungsdauer wurde die maximale Zahl der Belastungszyklen auf  $10^6$  Lastwechsel (Grenzlastspielzahl) begrenzt. Wenn Kronen diese Zyklenzahl erreichten, wurde die dynamische Belastungsprüfung abgebrochen und die jeweilige Krone als Durchläufer gewertet.

### Auswertung

Nach Abschluss der statischen Belastungsprüfung wurden aus den Bruchlastwerten für jede Kronenserie die mittlere maximale Bruchlast und die

Standardabweichung berechnet. Nachfolgend wurden die Bruchlastwerte auf statistisch signifikante Unterschiede überprüft (F-Test und Scheffe-Test, Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ ).

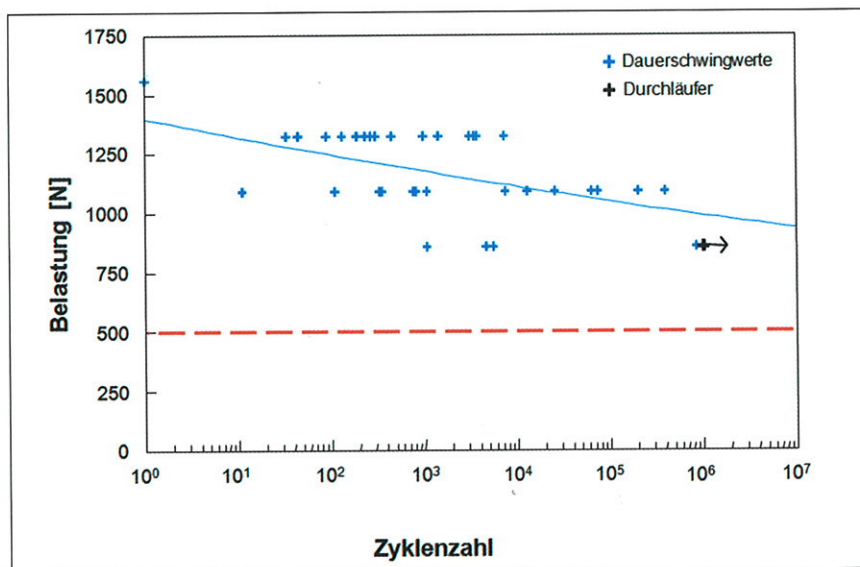
Für die Kronen der Serien II und VI wurden die gemessenen Dauerschwingwerte in einem Wöhler-Diagramm aufgetragen und mithilfe eines polynomen Kurvenfits eine Ausgleichskurve (Wöhler-Kurve) ermittelt. Für die Interpretation der Ergebnisse wurde eine Kauzyklenzahl von 250 000 Zyklen pro Jahr angenommen [1]. Darüber hinaus wurde für beide Kronenserien in einer fraktografischen Analyse der Frakturmodus dokumentiert. Dabei wurde zwischen Verblendungsfrakturen und Frakturen des Gerüsts bzw. der kompletten Krone unterschieden.

### Werkstoffeigenschaften

Mithilfe der statischen Belastungsprüfungen konnten für die untersuchten Kronenserien statistisch signifikant unterschiedliche Bruchfestigkeiten ( $p \leq 0,001$ ) nachgewiesen werden (Abb. 5). Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle Kronen während der Prüfung einem sehr ungünstigen Belastungswinkel von 135 Grad, das heißt einer für die Keramik sehr schädlich wirkenden Scherbelastung, ausgesetzt waren.

Die höchsten mittleren Bruchlasten wurden für die Infix-Kronen der Serien I und II, das heißt für Zirkonoxidkronen

► Abb. 6  
Dauerschwingfestigkeit der Kronenserie II: Infix-Kronen mit aufgesinterteter IPS e.max CAD-Verblendung; rote Linie: mittlere maximale Kaubelastung im Seitenzahnbereich



mit einer aufgesinterten IPS e.max CAD-Verblendung ermittelt. Die Bruchlasten mit Werten um 1500 N waren bei diesen Restaurationen signifikant höher als bei allen anderen Kronen ( $p \leq 0,05$ ). Damit hielten die Infix-Kronen im Vergleich zu den manuell geschichteten Kronen der Serien IV und V etwa doppelt so hohen Bruchlasten stand, bevor Verblendungs- oder Gerüstfrakturen auftraten.

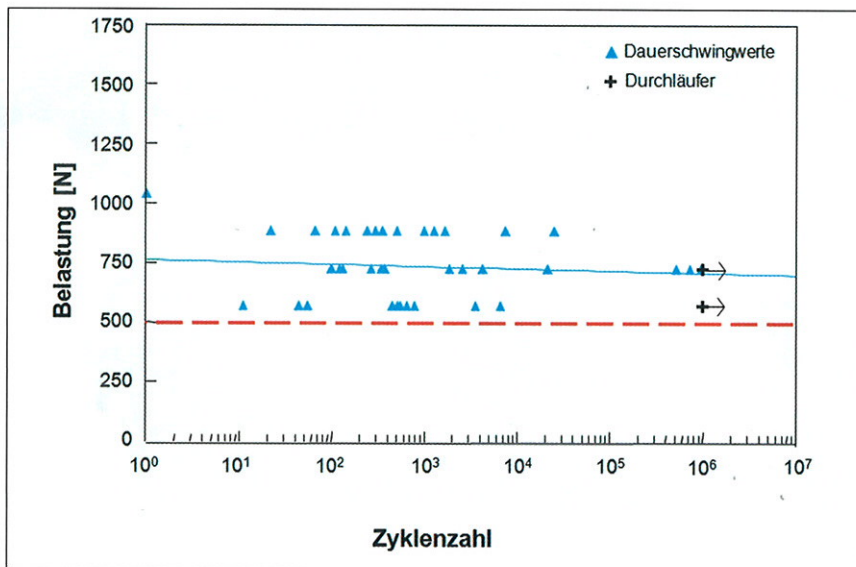
Die hohe Bruchfestigkeit der Infix-Kronen konnten auch die monolithischen Vollkeramikronen aus IPS e.max CAD (Kronenserie VI) und Infix-Kronen mit einer aufgesinterten Vita Mark II-Verblendung (Kronenserie III) nicht erreichen. Mit mittleren Bruchlasten um 1000 N zeigten diese Kronen bei der statistischen Analyse keine signifikanten Unterschiede ( $p \geq 0,05$ ) zu den Kronenserien IV und V.

Darüber hinaus deuten die Untersuchungsergebnisse darauf hin, dass im Gegensatz zur Verblendtechnik und Verblendkeramik die mehr oder weniger anatomische Gerüstgestaltung und das Gerüstmaterial einen eher untergeordneten Einfluss auf die gemessenen Bruchlasten hatten. Dies ergibt sich beim Vergleich der Kronenserien I und II beziehungsweise IV und V.

Mit der Prüfung der Dauerschwingfestigkeit der Kronenserien II und VI im feuchten Milieu sollte das Langzeitverhalten der Kronen unter praxisnahen

Bedingungen getestet werden. Als Ergebnis dieser Untersuchung zeigte sich erwartungsgemäß in den Wöhler-Diagrammen eine Abnahme der Bruchlasten mit zunehmender Zyklenzahl (Abb. 6 und 7). Dies spiegelt das typische Ermüdungsverhalten keramischer Restaurationen wider [2, 10]. Dabei lag jedoch der Kurvenverlauf für die Infix-Kronen in einem erkennbar höheren Festigkeitsbereich als für die monolithischen IPS e.max CAD-Vollkeramikronen. Sowohl in der Kronenserie II als auch in der Kronenserie VI wurden insgesamt elf beziehungsweise sechs Durchläufer registriert, Kronen also, die unbeschadet einer Dauerbelastung von  $10^6$  Zyklen standhielten. Aufgrund der hohen Datendichte war es für beide Kronenserien zulässig, die Dauerschwingkurve um eine Zehnerpotenz zu extrapolieren, sodass die getroffenen Aussagen auch auf eine Wöhlerkurve mit bis zu  $10^7$  Zyklen übertragen werden können.

Für beide Kronenserien wurde zu keinem Zeitpunkt ein Abfall der Belastungskurven unterhalb einer maximalen Kaubelastung von 500 N beobachtet. Verschiedene klinische Studien, die das Langzeitverhalten von konventionellen metallkeramischen Restaurationen nachuntersucht haben, kommen zu dem Ergebnis, dass in der Regel mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von nur etwa 1 Prozent pro Jahr gerechnet werden muss [4, 11]. Dieser so genannte



◀ Abb. 7  
Dauerschwingfestigkeit  
der Kronenserie VI: Mono-  
lithische Vollkeramikronen  
aus IPS e.max CAD; rote  
Linie: mittlere maximale  
Kaubelastung im  
Seitenzahnbereich

„Goldene Standard“ muss auch von vollkeramischen Restaurationen eingehalten werden, wenn diese in der Praxis mit Erfolg eingesetzt werden sollen. Geht man von der klinischen Annahme einer mittleren maximalen Kaubelastung von 300 N aus und berücksichtigt zusätzlich einen Sicherheitszuschlag von 200 N, so darf bei einer jährlichen Kauzyklenzahl von etwa 250000 Zyklen über einen Belastungszeitraum von  $10^7$  Zyklen angenommen werden, dass die Restaurationen bei einem nur geringen Frakturrisiko theoretisch über eine Zeitspanne von mehreren Jahrzehnten in Funktion bleiben sollten [1, 3, 5].

Bei der fraktografischen Analyse ergaben sich für die Infix-Kronen sowohl Frakturen im Bereich der Verblendung (53 Prozent) als auch Frakturen des Gerüsts (47 Prozent) (Abb. 8). Bei den monolithischen IPS e.max-Kronen trat als Versagensereignis immer eine Fraktur der gesamten Krone auf (Abb. 9).

## Fazit

Auch wenn in der vorliegenden Untersuchung nicht alle klinischen Faktoren berücksichtigt wurden, so geben die ermittelten Festigkeitswerte doch einen guten Anhaltspunkt für die Sicherheit, mit der die getesteten Kronen in der Praxis eingesetzt werden können. Dabei zeigten insbesondere die in einer

zusätzlichen Dauerschwingprüfung untersuchten Infix-Kronen mit einer aufgesinterten IPS e.max CAD-Verblendung und monolithische IPS e.max CAD- Vollkronen ein günstiges Langzeitverhalten.

Aufgrund der hohen Dauerschwingwerte, die für die Infix-Kronen ermittelt werden konnten, besteht die berechnete Hoffnung, dass sich zukünftig auch Verbundsysteme, die aus einem Zirkonoxidgerüst und einer Verblendkeramik bestehen, in der Praxis bewähren sollten, ohne dass eine erhöhte Gefahr hinsichtlich dem Auftreten von Verblendungsfrakturen in Kauf genommen werden muss. Zudem scheint sich bei Verbundsystemen mit einer aufgesinterten IPS e.max CAD-Verblendung eine weniger anatomische Gerüstgestaltung aufgrund der hohen Eigenfestigkeit der Verblendkeramik nicht nachteilig auszuwirken. Eine Überprüfung dieser Aussagen in weiteren klinischen Studien wäre nachfolgend wünschenswert.

## Zusammenfassung

Vollkeramische Kronen und Brücken mit einem Zirkonoxidgerüst haben sich unter klinischen Bedingungen weitgehend bewährt. Jedoch wurde in den Studienergebnissen immer wieder auf eine Anfälligkeit des Verbundsystems gegenüber Abplatzungen der Verblendkeramik (Chipping) hingewiesen.

► Abb. 8 Gerüst- und Verblendungsfrakturen der Kronenserie II: Infix-Kronen nach der Belastungsprüfung



Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Charakterisierung des Festigkeitsverhaltens von Infix-Kronen, die aus einem gefrästen Zirkonoxidgerüst mit einer CAD/CAM-gefertigten und aufgesinterten IPS e.max-Verblendung hergestellt wurden (Infix-Technologie). Die nachfolgend durchgeführten statischen Belastungs- und Dauerschwingprüfungen zeigten für die Infix-Kronen im Vergleich zu manuell geschichteten Kronengerüsten aus verschiedenen Gerüstmaterialien und monolithischen Vollkeramikronen aus IPS e.max CAD eine erkennbar höhere Bruchfestigkeit und ein günstiges Langzeitverhalten bei zyklischer Belastung. Insgesamt befürworten die Untersuchungsergebnisse den klinischen Einsatz von Infix-Kronen und geben zu der Hoffnung Anlass, dass die Infix-Technologie das Risiko für Verblendungsabplatzungen deutlich minimieren könnte. ■

### Summary

*All-ceramic bridges and bridges with zirconia frameworks have generally proven their suitability under clinical conditions. However, the relevant study results have repeatedly highlighted the fact that the metal/ceramic union is susceptible to veneer chipping. The objective of the present study was to characterize the strength of Infix crowns made of a milled zirconia framework and a CAD/CAM-designed and sintered*

*IPS e.max veneer (Infix technology). The static loading and fatigue tests performed showed a discernibly higher fracture strength and long-term resistance to cyclical loads for Infix crowns compared to manually built-up crown frameworks made of various materials and to monolithic IPS e.max CAD all-ceramic crowns. Overall, the study results favour the clinical use of Infix crowns, giving rise to the hope that the Infix technology might significant reduce the risk of veneer chipping.*

#### Korrespondenzadresse:



Prof. Dr. med. dent. Joachim Tinschert,  
Ztm. Gerd Natt,  
Zt. Dieter Braumüller,  
Ztm. Rouven Cfer,  
Prof. Dr. med. dent. Stefan Wolfart

Klinik für Zahnärztliche Prothetik  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen  
Telefon (02 41) 8 08 95 38  
Fax (02 41) 8 08 24 10  
E-Mail jtinschert@online.de



◀ Abb. 9 Frakturen der Kronenserie VI: IPS e.max CAD-Vollkeramikkronen nach der Belastungsprüfung

#### Literatur

- [1] DeLong R, Sakaguchi RL, Douglas WH, Pintado MR. The wear of dental amalgam in an artificial mouth: a clinical correlation. *Dent Mater* 1, 238-242 (1985)
- [2] Evans AG. Slow crack growth in brittle materials under dynamic loading conditions. *Int J Frac* 10, 251-259 (1974)
- [3] Helkimo E, Carlsson GE, Helkimo M. Bite force and state of dentition. *Acta Odontol Scand* 35, 297-303 (1977)
- [4] Kerschbaum Th. Langzeit-Erfolgsaussichten von festsitzendem Zahnersatz. *Zahnärztl Mitt* 88, 2698-2703 (1998)
- [5] Körber KH, Ludwig K. Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. *dental labor* 31, 55-60 (1983)
- [6] Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hämmerle CHF. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: fixed dental protheses. *Clin Oral Impl Res* 18, 86-96 (2007)
- [7] Schweiger J, Beuer F, Eichberger M. Sinterverbundkronen und -brücken: Neue Wege zur Herstellung von computergefertigtem Zahnersatz. *Digital Dental News* 1, 4-21 (2007)
- [8] Theiss, A. Die Infix-Technologie für Praxen und Labore – Das Baukastensystem. *dental labor* 58, 56-58 (2010)
- [9] Tinschert, J., Schulze K, Natt G, Latzke P, Heussen N, Spiekermann H: Long-term behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirconia: 3-years results. *Int J Prosthodont* 21, 217-222 (2008)
- [10] Tinschert J, Natt G, Mohrbotter N, Spiekermann H, Schulze KA. Lifetime of alumina- and zirconia ceramics used for crown and bridge restorations. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater* 80B, 317-321 (2007)
- [11] Walton TR. An up to 15-year longitudinal study of 515 metal-ceramic FPDS. *Int J Prosthodont* 15, 439-445 (2002)