

Bruchfestigkeit von Procera® AllCeram in Abhängigkeit des Gerüstdesigns

Eine In-vitro-Untersuchung

Zusammenfassung

Procera® AllCeram zählt zu den Vollkeramiksystemen, bei denen der Hartkern aus dicht gesintertem Aluminiumoxid in einem CAD/CAM-Verfahren hergestellt wird. Ziel dieser Arbeit war es, die Bruchfestigkeit von Procera®-AllCeram-Vollkeramikronen mit konventionellem und reduziertem Kappendesign zu vergleichen. Dabei sollte der Einfluss der Pfeilerpräparation (Molarenform A, Prämolarenform B) und der Zementart (Glasionomerezement, Kompositzement) auf die Bruchfestigkeit untersucht werden. Für beide Formen (A und B) wurden je 30 Procerakronen mit (Test) und ohne Gerüstreduktion (Kontrolle) standardisiert hergestellt (gesamt 120 Kronen). Bei den Testkronen wurde eine zirkuläre Keramikschulter mit Procera-AllCeram®-Schultermassen aufgebrannt. Je 40 Procerakronen wurden mit zwei verschiedenen Zementarten (Ketac-Cem Aplicap, Panavia F) auf Edelstahlprüfkörpern, weitere 40 Kronen auf Polyurethanstümpfen ohne Zementierung axial bis zur Fraktur belastet. Bei der Molarenform wurde im Gegensatz zur Prämolarenform weder für die unterschiedlichen Gerüstdesigns noch für die beiden Zementarten ein Unterschied in der Frakturreisistenz festgestellt. Bei Prämolarenkronen ging das Aufbrennen einer Keramikstufe mit einer Abnahme und die Verwendung von Kompositzement (im Vergleich zu GIZ) mit einer Zunahme der Bruchfestigkeit einher. Aufgrund der vorliegenden In-vitro-Resultate kann für die Klinik gefolgert werden, dass für Procera®-AllCeram-Kronen bei grossem Niveauunterschied im Verlauf der Präparationsgrenze insbesondere im Seitenzahnggebiet wegen der höheren Kaukräfte ein konventionelles Kappendesign in Verbindung mit einem Kompositzement zu bevorzugen ist; diese Annahme ist noch in vivo zu überprüfen.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 116: 25–32 (2006)

Schlüsselwörter: Aluminiumoxidkeramik, Stufenbrand, Gerüstdesign, Festigkeit

Zur Veröffentlichung angenommen: 8. Oktober 2005

Korrespondenzadresse:

PD Dr. Nicola U. Zitzmann

Universitätskliniken für Zahnmedizin, Universität Basel,
Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin und Myoarthropathien,
Hebelstr. 3, CH-4056 Basel

Tel. 0041-61-267 2636, Fax 0041-61-267 2660

E-Mail: n.zitzmann@unibas.ch

EDGAR HAGMANN¹, CARLO P. MARINELLO²
und NICOLA U. ZITZMANN²

¹ Privatpraxis

² Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin und Myoarthropathien,
Universitätskliniken für Zahnmedizin, Universität Basel

Einleitung

Bei dem Vollkeramiksystem Procera® AllCeram wird die labor-technisch aufwändige Herstellung eines keramischen Gerüsts durch eine computerunterstützte, industrielle Fertigung eines keramischen Hartkerns (Procerakappe) ersetzt (ANDERSSON & ODÉN 1993, ZITZMANN & MARINELLO 1999). Nebst den ausgezeichneten Materialeigenschaften weisen die Keramikappen aus reinem Aluminiumoxid eine Passgenauigkeit auf, die den

klinischen Anforderungen gerecht wird (SULAIMAN et al. 1997, MAY et al. 1998, BOENING et al. 2000, SUÁREZ et al. 2003, QUINTAS et al. 2004). SUÁREZ et al. (2003) zeigten, dass die Präparationsform (1 mm Stufe versus 1 mm Hohlkehle) keinen Einfluss auf den marginalen Randspalt ($40 \pm 53 \mu\text{m}$ versus $26 \pm 12 \mu\text{m}$) hat. Im Bereich des gerundeten Innenwinkels wurde hingegen mit der Stufenpräparation eine grössere Spaltbreite ermittelt ($279 \pm 49 \mu\text{m}$ versus $79 \pm 21 \mu\text{m}$). Um eine Überkonturierung, wie sie bei der Hohlkehlpäparation auftreten kann, zu vermeiden, wurde trotz der grösseren Diskrepanz am Innenwinkel eine Stufenpräparation empfohlen (SUÁREZ et al. 2003).

Zur individuellen Randgestaltung kann neben dem Standardverfahren, bei dem die Procerakappe bis zum Präparationsrand reicht, das Kappendesign auch gekürzt und die Stufe mit Verblendkeramik aufgebrannt werden. Während die Aluminiumoxidkappe nicht ätzbar ist, kann diese silikatische Keramik im Stufenbereich zur Konditionierung angeätzt und somit ein verbesserter mechanischer Verbund zum Befestigungskomposit ermöglicht werden. Für das modifizierte Kappendesign werden die präparierten Stümpfe vor dem Scannen an der horizontalen Stufe bis zur axialen Wand gekürzt. Das Ziel dieses Vorgehens ist es, eine optimale Adaptation des Kappenrandes auch am abgerundeten Innenwinkel zu ermöglichen und gleichzeitig die Passgenauigkeit an der Präparationsgrenze mit der aufgebrannten Keramikstufe individuell zu optimieren. Darüber hinaus ist eine bessere ästhetische Wirkung im Randbereich mit der silikatischen Verblendkeramik zu erwarten.

Das Ziel der vorliegenden In-vitro-Untersuchung war es, zu überprüfen, ob ein reduziertes Kappendesign mit zirkulär aufgebrannter Keramikstufe zu einer Beeinträchtigung der Bruchfestigkeit im Vergleich zu konventionellen Procerakronen führt. Des Weiteren sollte in dieser Studie der Einfluss der Pfeilerpräparation (Molaren-, Prämolarenform) und der Zementart (Glasionomer-, Kompositzement) auf die Bruchfestigkeit untersucht werden.

Material und Methoden

Für die Festigkeitsprüfung wurden zwei verschiedene Teststümpfe, welche eine idealisierte Molaren- und Prämolarenpräparation repräsentieren, konzipiert und aus Edelstahlkörpern gefräst (Widmann AG, Rudolfstetten, Schweiz, Abb. 1 und Tab. I). Die Molarenform (Design A) zeichnete sich durch eine Präparationsgrenze auf gleicher Ebene (ohne Niveauunterschied) aus. Sie hatte okklusal eine Kerbe, um eine exakte Positionierung der Kappen während der Verblendung zu gewährleisten (Abb. 2). Die Prämolarenform (Design B) wies einen anatomischen Präparationsverlauf (skallopierender Verlauf) auf, wie dieser zum Schutz der interdentalen Strukturen bei Frontzähnen und Prämolaren zu etablieren ist (Abb. 2).

Die Edelstahlstümpfe wurden mit einem A-Silikon (Dublisil-SP, Dreve-Dentamid GmbH, Unna, Deutschland) dubliert und die entsprechenden Formen mit Polyurethan-Modellstumpfmateriale (Modralit 3-K, Dreve-Dentamid GmbH) ausgegossen. Für die Kappenherstellung ohne Randkürzung (Kontrolle) wurde beim Scannen die Präparationsgrenze als Demarkation verwendet. Für die Herstellung der Procerakronen mit aufgebrannter Stufe (Test) wurde je ein Polyurethanstumpf des Designs A und B (Molaren-, Prämolarenform) im Bereich der horizontalen Stufe bis zur axialen Wand hin gekürzt. Diese reduzierten Stümpfe wurden eingescannt und die Demarkationsgrenze im Bereich des Innenwinkels auf dem Bildschirm festgelegt. Nach dem Scanvorgang wurden je 30 Procerakappen auf den Stümpfen des Designs A

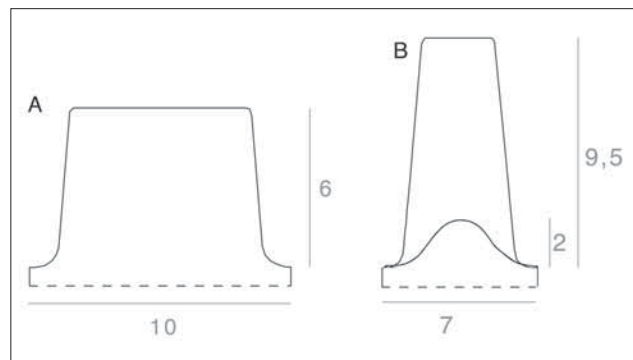


Abb. 1 Dimensionen (A) der Molarenform und (B) der Prämolarenform in mm

Tab. I Dimensionen der Probekörper

Präparationsform	Molar (A)	Prämolar (B)
Höhe:	6 mm	9,5 mm
Durchmesser:	10 mm	7 mm
Konuswinkel:	6°	6°
Stufe:	zirkuläre 90° Stufe mit abgerundeter Innenkante	
Radius:	0,8 mm (Innenwinkel)	
Stufenbreite:	1 mm	1 mm
Niveau:	auf gleicher Ebene	2 mm Niveauunterschied



Abb. 2 Teststümpfe aus Edelstahl (Prämolaren- und Molarenform)

und B sowohl mit (Test) als auch ohne Stufenreduktion (Kontrolle) in einer Stärke von 0,6 mm hergestellt (total 120 Kappen, Abb. 3 und 4). Alle Kronen wurden mit den Proceracera-AllCeram®-Verblendmassen (Ducera-Dental, Rosbach, Deutschland) nach Herstellerangaben verblendet. Um eine kontrollierte Schichtung der Verblendmassen zu ermöglichen und gleiche Schichtstärken der Dentin- und Schmelzmassen bei allen Kronen zu gewährleisten, erfolgte die Keramikschichtung mithilfe spezieller Silikon Schlüssel (Platinum, Zetalabor Zhermack S.p.A., Badia Polesine, Italien; Abb. 5). Die Schrumpfung der Keramik wurde durch wiederholtes Auftragen von Schmelzmasse ausgeglichen. Nach diesem zweiten Brennvorgang erfolgte ein Glanzbrand mit Glasurmasse. Die Brennvorschriften wurden strikt eingehalten und alle Kronen unter dem Mikroskop auf eventuell vorhandene Fehler hin kontrolliert. Bei den Kronen mit reduziertem Gerüst (Test) wurde die Keramikschulter mit den speziellen Proceracera-AllCeram®-Schultermassen (Ducera-Dental) gemäss den Angaben des Herstellers aufgebrannt. Wie bei der Verblendkeramik handelt es sich auch bei dieser Schultermasse um eine silikatische, ätzbare Keramik.

Für die Versuchsreihen wurde entweder kein Zement verwendet (Befestigungsart 1) oder die Zemente Ketac-Cem Aplicap (Espe, Seefeld, Deutschland; Befestigungsart 2) bzw. Panavia F (Kuraray, Tokyo, Japan; Befestigungsart 3) kamen zur Anwendung (Tab. II).



Abb. 3 Procera-Kronen: Molaren und Prämolarenform jeweils mit und ohne Stufenbrand



Abb. 4 Edelstahlstümpfe mit Kronen



Abb. 5 Verblendung der Procera-Kappe

Tab. II Versuchsreihen

Design	A: Test	A: Kontrolle	B: Test	B: Kontrolle
Anzahl	30 Kronen	30 Kronen	30 Kronen	30 Kronen
Befestigungsart 1	10 Kronen	10 Kronen	10 Kronen	10 Kronen
Befestigungsart 2	10 Kronen	10 Kronen	10 Kronen	10 Kronen
Befestigungsart 3	10 Kronen	10 Kronen	10 Kronen	10 Kronen
Total	120 Kronen			

A: Molarenform, B: Prämolarenform, Test: aufgebrannte Stufe, Kontrolle: konventionelle Kappe; Befestigungsart 1: kein Zement, 2: Glasionomerezement, 3: Kompositzement

Achtzig der 120 Procera-Kronen wurden vor der Bruchfestigkeitsprüfung auf die Teststümpfe aus Edelstahl zementiert. Vor dem Zementieren erfolgte das Sandstrahlen der Innenfläche aller Werkstücke mit Aluminiumoxid (50 µm Korngrösse) zur Oberflächenvergrößerung (AWLIYA et al. 1998). Die beiden Zemente Ketac-Cem und Panavia F wurden gemäss den Angaben des Herstellers verarbeitet. Bei der Verwendung von Panavia F wurde ein Haftsilan (Ultradent, Utah, USA) auf die Innenfläche der sandgestrahlten Kronen ohne Keramikstufe aufgetragen (Einwirkzeit 60 Sekunden), um die Oberflächenbenetzung zu verbessern. Bei den Kronen mit gekürztem Kappenrand wurde die Keramikstufe mit Porcelain Etch (Ultradent) 60 Sekunden geätzt; die Applikation des Silans erfolgte hier sowohl auf der Kroneninnenfläche als auch auf der Stufe. Vor dem Zementieren mit

Panavia F wurden alle Stümpfe mit ED Primer (Kuraray) benetzt. Die Innenfläche der Krone wurde jeweils dünn mit Zement bestrichen, das Werkstück auf dem Metallstumpf positioniert und der überschüssige Zement entfernt. Um eine Sauerstoffinhibition im Randbereich zu vermeiden, wurde Oxyguard II (Kuraray) aufgetragen. Während der Aushärtung beider Zemente wurden die Kronen für sieben Minuten mit 12,5 N belastet (WILSON 1996). Die übrigen 40 der 120 Kronen wurden ohne Zement der Druckbelastung unterzogen. Zu diesem Zweck wurde für jede einzelne Krone ein individueller Stumpf aus Polyurethan-Stumpfmateriale (Modralit-3 K) hergestellt (Abb. 6). Das Ziel dieses Vorgehens war es, eventuelle Belastungsspitzen im Randbereich, wie sie unter Umständen beim unzementierten Aufliegen der Krone auf dem Metallstumpf hätten auftreten können, zu eliminieren.

Zur Prüfung der Belastungsgrenze wurden alle Procera-Kronen mit einer speziellen Vorrichtung in einer Universalprüfmaschine (Zwick ZO10, Universität Freiburg, Deutschland) bis zum Bruch axial belastet. Hierzu wurde der Teststumpf mit der Krone auf einen Metalltisch gestellt. Zur idealen Kraftverteilung wurde eine Bleifolie unter den Stumpf sowie eine doppelte Folie zwischen Krone und Druckstempel gelegt (Abb. 7). Die obere Lastgrenze der Druckvorrichtung betrug 8000 N; als Vorschubgeschwindigkeit wurde 1,5 mm/min gewählt.

Statistische Auswertung: Die statistische Auswertung wurde mit der Software RS/1, Version 6.1 (RS/1 Research System 1, BBN Software Products, Brooks Automation Inc.) durchgeführt. Für die zwölf Beobachtungsreihen des Drucktestes wurden jeweils der Medianwert mit Interquartilabstand (IQR) sowie die Mittelwerte mit Standardabweichung ermittelt. Als Nullhypothese wurde angenommen, dass zwischen den einzelnen Beobachtungen (mit oder ohne Keramikstufe, Molaren- oder Prämolarenform, bzw. zwischen den beiden Zementarten) kein Unterschied in der Bruchfestigkeit besteht (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Zur Überprüfung der Gesamtheit der 12×10 Beobachtungen wurde zunächst der Kruskal-Wallis-Test angewandt. Der Vergleich der Lage ausgewählter Paare wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, der Vergleich ihrer Streubreiten mit dem Ansari-Bradley-Test. Auf einen Vergleich der nicht zementierten Kronen mit den Versuchsreihen der Befestigungsarten 2 und 3 wurde verzichtet, da eine Beeinflussung der Bruchwerte durch die un-



Abb. 6 Individuelle Polyurethan-Stümpfe



Abb. 7 Druckzylinder

terschiedlichen E-Module der beiden Stumpfmaterialien Stahl und Polyurethan anzunehmen ist (SCHERRER & DE RIJK 1993). Da bei den Versuchsreihen der zementierten Molarenkronen die Mehrzahl der Werte um 8000 N lagen und durch das Abschalten der Maschine, aber nicht primär durch einen Bruch zustande kamen, ist davon auszugehen, dass die wahren Mediane und Mittelwerte höher liegen. Für die Versuchsreihen der Prämolarenform und die unzementierten Molarenkronen wurden die einzelnen Beobachtungen mit einer Weibull-Verteilung dargestellt und der Weibull-Modul (m-Wert) für alle Zementarten nach Linearisierung als Steigung der linearen Regression berechnet. Die Angabe des Weibull-Moduls hat sich als Mass für die Zuverlässigkeit eines vollkeramischen Systems etabliert; dabei entspricht ein hoher m-Wert einer geringen Streubreite und somit einer hohen Zuverlässigkeit (MARX et al. 2001). Für die grafische Darstellung der Resultate sind auf der x-Achse die Bruchlasten, auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeiten aufgetragen. Herkömmlicherweise wird eine Horizontale bei $p=63,21\%$ angelegt, da dort der Weibull-y-Achsen-Logarithmus gleich Null wird, i. e. $\ln[\ln[100\%/(100\%-63,21)]] = 0$. Dieser Wert S_0 («characteristic strength») besagt, dass bis zu der ermittelten Bruchlast 63% aller Kronen der jeweiligen Versuchsreihe brechen. In den vorliegenden Weibull-Grafiken wurde der entsprechende Wert durch eine horizontale Linie gekennzeichnet.

Resultate

Bei beiden Zementarten (Ketac-Cem und Panavia F) wurden unter der axialen Belastung beim Überschreiten der Bruchlast der Kronen diverse Rissbilder beobachtet, welche okklusal ringförmig und axial längs des Kraftvektors verliefen. Ein schlagartiges, totales Abplatzen der Kronen vom Metallstumpf trat hingegen nicht auf (Abb. 8).



Abb. 8 Frakturbilder der Procera-kronen

Design A: Bei den zementierten Kronen des Designs A (Molarenform) kam die Kraftabschaltsschwelle, welche mit 0,2% sehr sensibel eingestellt wurde, selten zum Tragen. Der Grenzbereich der Maschineneinstellung zwischen 7800 und 8000 N wurde von sechs (Test, mit aufgebrannter Stufe) bzw. sieben (Kontrolle, ohne Stufenbrand) der mit Glasionomerzement befestigten Kronen erreicht. Die Einzelwerte der übrigen Prüfobjekte lagen zwischen 3180 und 6500 N (Test), bzw. zwischen 5200 und 5850 N (Kontrolle). Bei den mit Panavia F zementierten Kronen erreichten acht aus der Testreihe und alle Prüfobjekte der Kontrollreihe die maximale Belastung von 8000 N, bei der die Universalprüfmaschine abstellte. Die Einzelwerte der beiden übrigen Testkronen lagen bei 5170 bzw. 5670 N. Ohne Zement betrug die Mittelwerte 2529 bzw. 2765 N für Test und Kontrolle (Abb. 9, Tab. III). *Design B:* Bei allen Kronen des Designs B (Prämolarenform) wurden axiale Bruchlinien beobachtet, die von den beiden höchsten Stellen des Kronenrandes ausgingen bzw. dort mündeten. Die Werte für die zementierten Kronen variierten zwischen 2794 und 3143 N in der Testgruppe (mit aufgebrannter Stufe) und zwischen 3871 und 4961 N in der Kontrollgruppe (ohne aufgebrannte Stufe). Ohne Zement wurde ein durchschnittlicher Wert von 1383 N in der Testgruppe und 1675 N in der Kontrollgruppe ermittelt (Abb. 9, Tab. III). Für alle drei Befestigungsmodi war der Unterschied zwischen Test und Kontrolle statistisch signifikant (Mann-Whitney-U-Test). Beim Vergleich der beiden Zementarten (Ketac-Cem und Panavia F) des Designs B zeigte sich sowohl innerhalb der Testgruppe als auch in der Kontrollgruppe, dass nach dem Zementieren mit Panavia F statistisch signifikant höhere Werte erzielt wurden als mit Ketac-Cem. Beim Vergleich der maximalen Bruchbelastungen der verschiedenen Versuchsreihen des Designs A mit den entsprechenden Resultaten für Design B zeigten sich jeweils statistisch signifikant höhere Werte für die Molarenform (Mann-Whitney-U-Test). Für

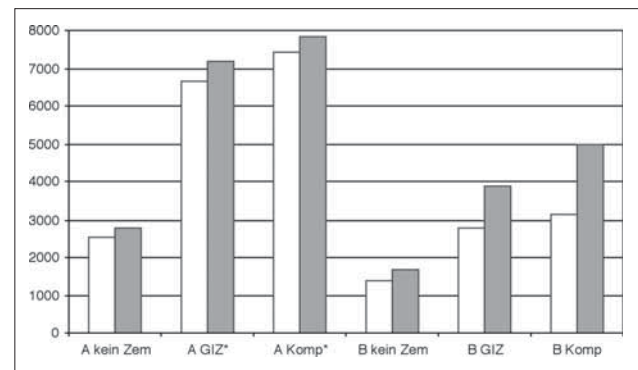


Abb. 9 Bruchlast (Mittelwerte in N) im Procera-Drucktest. A: Molarenform, B: Prämolarenform; weiss: Test, dunkelgrau: Kontrolle. Polyurethanstumpf bei A und B kein Zem, Stahlstumpf bei A GIZ, A Komp, B GIZ und B Komp. * wahrer Mittelwert der Versuchsreihe liegt höher

Tab. III Beschreibende Statistik der Bruchlast (in Newton)

Design A (Molar)*		Median	IQR	[von, bis]	Mittelwert	SD	m-Wert	Bruchlast bei 63% (So)
BA 1	Kontrolle	2691,4	1078,0	[2221,4, 3299,4]	2764,6	641,01	4,99	3029
BA 1	Test	2545,3	397,6	[2359,1, 2756,7]	2528,6	407,06	6,48	2742
BA 2	Kontrolle	> 7845,7			> 7183,6			
BA 2	Test	> 7846,0			> 6642,7			
BA 3	Kontrolle	> 7843,0			> 7821,9			
BA 3	Test	> 7845,2			> 7423,1			

Design B (Prämolar)		Median	IQR	[von, bis]	Mittelwert	SD	m-Wert	Bruchlast bei 63% (So)
BA 1	Kontrolle	1709,9	271,9	[1574,7, 1846,6]	1675,2	272,68	6,74	1795
BA 1	Test	1375,7	161,4	[1297,4, 1458,8]	1383,0	112,9	14,6	1423
BA 2	Kontrolle	3671,8	1470,1	[3253,7, 4723,8]	3870,5	1048,9	4,31	4241
BA 2	Test	2700,0	467,5	[2505,6, 2973,1]	2793,9	514,7	6,54	2839
BA 3	Kontrolle	5028,5	355,1	[4958,5, 5313,6]	4961,3	677,99	7,98	5278
BA 3	Test	3268,3	324,0	[3049,1, 3373,1]	3142,7	382,05	8,74	3335

Befestigungsarten BA 1: kein Zement (Polyurethanstumpf), BA 2: Ketac-Cem (Stahlstumpf), BA 3: Panavia F (Stahlstumpf)

* Bei den zementierten Molarenkronen können IQR und SD nicht berechnet werden. Da der Grenzbereich der Maschineneinstellung von einigen Molarenkronen erreicht wurde, ist davon auszugehen, dass die wahren Mediane und Mittelwerte höher liegen (indiziert durch >)

das Design A (Molarenform) liegen die Daten der unzementierten Test- und Kontrollobjekte auf einer relativ flachen Weibull-Geraden (Abb. 10a). Diese flachen Geraden zeigen, dass die Grenzwerte der Bruchbelastung für die 5% und die 95% Versagenswahrscheinlichkeit mit Werten unter 2000 N und über 3000 N relativ weit auseinander liegen.

Aus den Weibull-Verteilungen für Design B (Prämolarenform) wird ersichtlich, dass die Grenzwerte der Bruchbelastung (5% und 95% Versagenswahrscheinlichkeit) der mit Glasionomerzement (Befestigungsart 2) befestigten Kronen die flachsten Geraden bilden und somit am weitesten auseinander liegen (Abb. 10b). Die entsprechenden Weibull-Module sind mit $m=4,31$ (Kontrolle) und $m=6,54$ (Test) vergleichsweise gering (Tab. III). Die steilsten Weibull-Geraden und somit eng beieinander liegende Werte, wurden hingegen bei den Versuchsreihen Test ohne Zement, Test mit Kompositzement ($m=8,74$) und Kontrolle mit Kompositzement ($m=7,98$) beobachtet. Der steile Geradenverlauf deutet darauf hin, dass innerhalb der 5% und 95% Versagenswahrscheinlichkeit die Bruchlast relativ konstant bleibt. Die Lage der Weibull-Geraden für Kronen des Designs B, ohne aufgebraute Stufe (Kontrolle) und zementiert mit Glasionomerzement (Befestigungsart 2) zeigt, dass knapp 5% dieser Kronen bei einer Bruchlast von 2000 N frakturieren, während etwa 95% einer Bruchlast zwischen 2000 N und 5600 N standhalten. Die beiden Geraden «Kontrolle» und «Test» für den unzementierten Zustand (Befestigungsart 1) schneiden 1000 N etwa bei 5%, sodass dieser Anteil (5% der Kronen) Belastungen oberhalb von 1000 N nicht überstehen würde.

Diskussion

Die Resultate der In-vitro-Untersuchung haben gezeigt, dass bei den vorliegenden Versuchsbedingungen die Bruchfestigkeit der Procera®-AllCeram-Kronen mit und ohne aufgebraute Keramikstufe unabhängig von der Kronenform oder der Zementart Werte erreicht, die die klinischen Kaukräfte um ein hohes Mass übersteigen. Während für die normalen Kaukräfte im Seitenzahngebiet Werte zwischen 50 N und 250 N angenommen werden, können bei Patienten mit Parafunktion (Bruxismus) Belastungen zwischen 500 N und 800 N auftreten (KELLY 1995). Für

die maximale Kaukraft wurden durchschnittliche Werte von 440 N bei Prämolaren und 530 N bei Molaren beobachtet (KÖRBER & LUDWIG 1983). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die in vitro auf Stahl- bzw. Polyurethanstümpfen ermittelten Bruchwerte schon aufgrund der unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften der natürlichen Zahnhartsubstanz nicht direkt mit der In-vivo-Situation vergleichbar sind.

In der vorliegenden Untersuchung haben die geringeren Werte für die Prämolarenform (Form B) im Vergleich zur Molarenform (Form A) gezeigt, dass die Form B mit einem Niveauunterschied im Verlauf der Präparationsgrenze empfindlicher auf axiale Belastungen reagiert. Intraoral ist dieser Niveauunterschied vor allem in der Front- und Prämolarenregion anzutreffen, wo grundsätzlich die geringeren Kaukräfte zu erwarten sind. Da mit der Form A (Molar) von fast allen zementierten Kronen die Maximallast von 8000 N erreicht wurde, kann angenommen werden, dass die grosse Druckfestigkeit der Keramik im okklusalen Bereich zum Tragen kam, während die effektive Belastung im Randbereich möglicherweise geringer war. Auch könnte der Verzicht auf ein okklusales Relief (unterschiedliche Schichtdicken, Kraftansatzpunkt) in der Präparationsform und der Kronengestaltung zu den allgemein hohen Werten beigetragen haben.

Bei der Festigkeitsprüfung von Procera®-AllCeram-Kronen mit anderen Versuchsarrangements wurden in der Literatur deutlich geringere Bruchlasten beschrieben (NEIVA et al. 1998, CHAI et al. 2000, KAPPERT & KRAH 2001, HARRINGTON et al. 2003, WEBBER et al. 2003, PALLIS et al. 2004). So wies die Belastung von Eckzähnen in einem Winkel von 45° zur Zahnachse (Voss'sche Versuchsarrangements, VOSS 1969) eine durchschnittliche Bruchlast von 929 ± 291 N auf (KAPPERT & KRAH 2001). CHAI et al. (2000) haben die Bruchfestigkeit von In-Ceram, Empress und Procera-Kronen untersucht, welche auf einem Epoxystumpf (zentraler Frontzahn) mit Panavia F zementiert wurden. Unter der im 45°-Winkel einwirkenden Bruchlast wurde kein Unterschied in der Frakturwahrscheinlichkeit der verschiedenen Keramiken festgestellt. NEIVA et al. (1998) überprüften die Frakturresistenz vollkeramischer Kronen, die mit IPS Empress, In-Ceram und Procera® AllCeram hergestellt wurden. Die Kronen wiesen eine Wanddicke von insgesamt 1 mm und eine okklusale Stärke von 2,5 mm

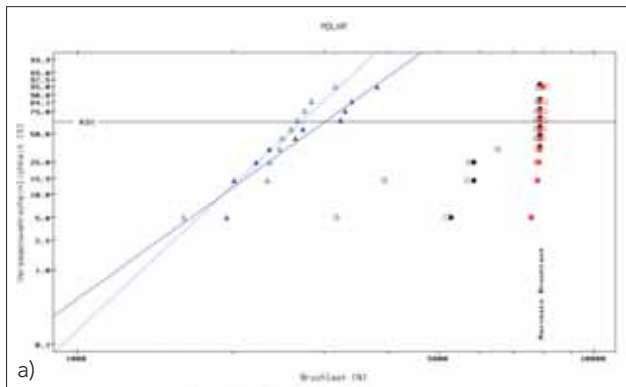
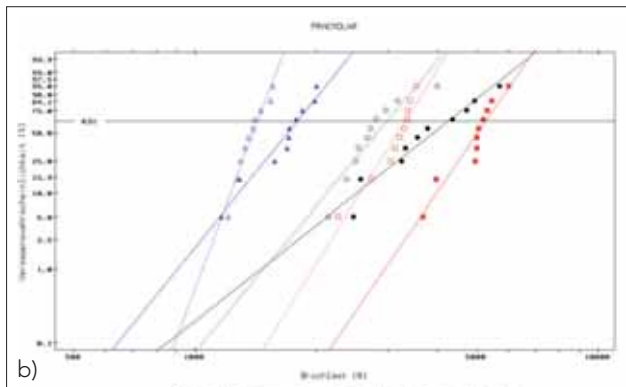


Abb. 10 Weibull-Statistik

a) Molar

- Kontrolle Glasionomerzement
- Test Glasionomerzement
- Kontrolle Kompositzement
- Test Kompositzement
- ▲ Kontrolle ohne Zement
(Weibull Gerade = $-40 + 4,99 \cdot \text{LOG} [N]$)
- △ Test ohne Zement
(Weibull Gerade = $-51,3 + 6,48 \cdot \text{LOG} [N]$)



b) Prämolaren

- Kontrolle Glasionomerzement
(Weibull Gerade = $-36 + 4,31 \cdot \text{LOG} [N]$)
- Test Glasionomerzement
(Weibull Gerade = $-52,4 + 6,54 \cdot \text{LOG} [N]$)
- Kontrolle Kompositzement
(Weibull Gerade = $-68,4 + 7,98 \cdot \text{LOG} [N]$)
- Test Kompositzement
(Weibull Gerade = $-70,9 + 8,74 \cdot \text{LOG} [N]$)
- ▲ Kontrolle ohne Zement
(Weibull Gerade = $-50,5 + 6,74 \cdot \text{LOG} [N]$)
- △ Test ohne Zement
(Weibull Gerade = $-106 + 14,6 \cdot \text{LOG} [N]$)

auf; die Probekörper aus Epoxy entsprachen einem Oberkiefer-Prämolaren ohne Niveauunterschied im Verlauf der Präparationsgrenze. Für die mit Panavia EX 21 zementierten Procerakronen wurde eine durchschnittliche axiale Bruchlast von 1942 ± 370 N ermittelt. HARRINGTON et al. (2003) untersuchten den Einfluss der Schichtstärke der okklusalen Verblendkeramik auf die Bruchlast bei Procerakronen, die mit Panavia 21 TC auf Kunstharzstümpfen (Prämolarenform ohne Niveauunterschied) zementiert wurden. Vor der Belastung befanden sich die zementierten Kronen 24 Stunden in destilliertem Wasser in einem Inkubator bei 37°C .

Die Widerstandsfähigkeit auf axiale Belastung mit einer stählernen Kugel (4 mm Durchmesser) stieg kontinuierlich mit zunehmender Dicke der okklusalen Verblendkeramik (0; 0,4; 0,9; 1,4 mm). So betrug die Bruchkraft bei einer okklusalen Keramikschichtstärke von 1,5 mm (0,6 mm Kappe und 0,9 mm Verblendung) durchschnittlich 1142 ± 57 N und stieg bei 2,0 mm auf 1297 ± 210 N an. In einer ähnlichen Versuchsanordnung wurde der Einfluss der axialen Schichtstärke der Verblendkeramik von Procerakronen untersucht (WEBBER et al. 2003). Die Zunahme der Schichtstärke von 0,4 auf 0,6 mm führte zu einem nicht signifikanten Anstieg der Bruchkraft von 2198 ± 776 auf 2401 ± 699 N. PALLIS et al. (2004) fanden keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Bruchresistenz bei den mit Rely X (Kompositzement) zementierten IPS-Empress-2-, Procera®-AllCeram- und In-Ceram-Zirkonia-Vollkeramikronen. Die Festigkeitsprüfung wurde auf Kunstharzstümpfen (Molarenform ohne Niveauunterschied, 1 mm zirkuläre Stufe, okklusale Reduktion 1,5–2 mm) unter axialer Last (Stahlkugel mit 6,35 mm Durchmesser) vorgenommen. Für Procera® AllCeram wurde eine charakteristische Bruchkraft von 859 bis 1086 N ermittelt und als Ort des Versagens die Verbindung zwischen Procerakappe und Verblendung angegeben (PALLIS et al. 2004). Auch der Vergleich der Frakturresistenz verschiedener Kronen, die auf natürlichen Oberkieferfrontzähnen mit Panavia 21 zementiert und in einem Winkel von 30° zur Zahnängsachse belastet wurden, zeigte keine signifikanten Unterschiede. Dabei wurden für VMK-Kronen 405 ± 130 N, für Procera® AllCeram mit 0,4 mm Kappe 447 ± 123 N, mit 0,6 mm Kappe 476 ± 174 N und für Procera® AllZirkon mit 0,6 mm Kappe 381 ± 166 N Bruchfestigkeit ermittelt (POTIKET et al. 2004).

Ein direkter Vergleich dieser Arbeiten untereinander oder mit den Resultaten der eigenen Untersuchung ist schwer durchführbar, da die einzelnen Testparameter der Versuchsanordnungen stark differieren (z. B. Design und Material der Probekörper, Befestigungsart, Lagerung vor der Belastung, Druckbelastung). Für die eigene Versuchsreihe ist kritisch anzumerken, dass eine Standardisierung des Verblendverfahrens mit Hilfe spezieller Silikon-schlüssel angestrebt wurde, jedoch keine Dickenmessung der Probekörper vorgenommen wurde; ebenso erfolgte das Zementieren zwar unter standardisiertem Druck (12,5 N über sieben Minuten), jedoch wurden keine Messungen der Zementspaltbreiten durchgeführt, was das Thema einer separaten Untersuchung darstellen würde.

Die Herstellung von VMK-Kronen mit reduziertem Metallgerüst und zirkulär aufgebrannter Keramikstufe ist klinisch etabliert. LEHNER et al. (1995) haben die Bruchfestigkeit von speziell geformten Probekörpern, bei denen das Metallgerüst um 1 und 2 mm reduziert war, in drei verschiedenen Belastungsrichtungen zur Stufe überprüft und mit einem nicht reduzierten Gerüst verglichen. Bei einer Belastungsrichtung von 90° zur Stufe erreichten alle drei Probekörper die höchste Bruchresistenz. Die Probekörper mit 1 mm Reduktion wiesen dabei geringere Werte auf als die nicht reduzierten, während zwischen den um 2 mm reduzierten und der nicht reduzierten Kontrolle kein statistisch signifikanter Unterschied bestand. Diese Resultate liessen darauf schliessen, dass VMK-Kronen mit einer 90° -Schulterpräparation und 2 mm axial reduziertem Gerüst gleichen Druckkräften standhalten wie diejenigen mit voller Metallunterstützung (LEHNER et al. 1995).

Die Daten der vorliegenden Untersuchung haben gezeigt, dass das technische Vorgehen mit aufgebrannter Keramikstufe nur bei der Prämolarenform (mit Niveauunterschied) einen signifikanten Einfluss auf die Kronenstabilität hat. Die Molarenform mit

flachem Präparationsverlauf wies hingegen keine signifikanten Unterschiede in der Frakturresistenz für Procerakronen mit und ohne Keramikstufe auf; allerdings ist dieses modifizierte Vorgehen im Seitenzahnbereich auch weniger häufig indiziert. Während die Zementart bei der Molarenform keinen Einfluss aufwies, konnte die Kronenstabilität bei der Prämolarenform durch die Verwendung von Komposit- gegenüber Glasionomerzement verbessert werden. Dabei wurden für die Kronen mit Keramikstufe jedoch nicht die Werte erreicht, die bei konventionellen Procerakronen (Kontrolle) mit Glasionomerzement beobachtet wurden. Innerhalb der Grenzen der vorliegenden In-vitro-Untersuchung kann für Procerakronen gefolgert werden, dass die horizontale Reduktion der Gerüstkappe und das Aufbrennen einer keramischen Stufe grundsätzlich nicht zu einer klinisch relevanten Verminderung der Bruchfestigkeit der verblendeten Krone führen sollte. Eine zusätzliche axiale Reduktion, wie sie aus ästhetischen Gründen für VMK-Kronen empfohlen wird und die einen aufwändigen, technisch sensitiven Herstellungsprozess auf zahntechnischer Seite voraussetzt, ist für das zahnfarbene Procera®-AllCeram-System grundsätzlich nicht erforderlich. Zusammenfassend kann anhand der vorliegenden In-vitro-Resultate für die klinische Anwendung gefolgert werden, dass bei Frontzähnen und Prämolaren, bei denen ein skalloprierender Präparationsverlauf häufig anatomisch vorgegeben ist und aus ästhetischen Gründen eine aufgebrannte Stufe indiziert sein kann, die Verwendung von Kompositzement gegenüber Glasionomerzement zur Optimierung der Bruchfestigkeit bevorzugt werden sollte. Bei Molaren hingegen weist die Präparation in der Regel eine geringere Niveaudifferenz auf und die ästhetischen Anforderungen treten in den Hintergrund. Obwohl hier hohe Kaubelastungen zu erwarten sind, kann sowohl Komposit- als auch Glasionomerzement Anwendung finden.

Verdankung

Die Autoren danken Herrn Prof. Dr. H. F. Kappert und Herrn Dr. M. Krahl (Universität Freiburg) für die Betreuung und Hilfestellung während der Durchführung der Untersuchung der Bruchfestigkeit und Herrn J. Maurer für die zahntechnische Herstellung der Procerakronen. Herrn Dr. M. Buser sei für die statistische Analyse und das Erstellen der Weibull-Grafiken gedankt.

Summary

HAGMANN E, MARINELLO C P, ZITZMANN N U: **Fracture resistance of Procera® AllCeram depending on the framework design – an in vitro study** (in German). Schweiz Monatsschr Zahnmed 116: 25–32 (2006)

Procera® AllCeram is one of the all-ceramic systems with an aluminium-oxide core employing CAD/CAM technology. The aim of the current study was to investigate the fracture resistance of Procera® AllCeram full-ceramic crowns with a reduced core design compared to the conventional method. In addition, a possible influence of the preparation form (molars or premolars) and the cementation material (glas-ionomer or composite) was analyzed. For both preparation forms, 30 ceramic cores with reduced margins (collarless cores, test) and 30 cores with extended cores (control) were veneered with porcelain in a standardized procedure (total 120 crowns). For the test group, Procera-AllCeram®-margin ceramic material was used for the porcelain collar. 40 crowns each were cemented on stainless steel dies with either Ketac-Cem Aplicap or Panavia F. The additional 40 crowns were set on polyurethane dies without cementation and occlu-

sally loaded until fracture occurred. Among the molar crowns, no differences were observed in fracture resistance neither for the different core designs (test or control) nor for the cementation materials. For the premolar form, fusing of a porcelain margin was associated with a reduction in fracture resistance, while the use of composite cement was accompanied with an increase. The present in vitro results indicate that for Procera® AllCeram crowns with a highly undulating preparation margin, a conventional core design combined with adhesive cementation is preferable, especially in the posterior region due to higher chewing forces; this assumption needs to be proven in clinical studies.

Résumé

Le système Procera® AllCeram est un des systèmes céramo-céramiques composés d'un core en oxyde d'aluminium et employant la technologie CAO/FAO. Le but de l'étude était d'investiguer la résistance à la fracture des couronnes Procera® AllCeram céramo-céramiques ayant un core réduit en comparaison avec la méthode conventionnelle. En plus, l'influence possible de la forme de préparation (molaires ou prémolaires) et du matériau de scellement (verre-ionomère ou composite) a été analysée. Pour les deux formes de préparation, 30 chapes avec marges réduites (chapes «collarless», test) et 30 chapes étendues (contrôle) ont été complétées avec de la porcelaine cosmétique selon un procédé conventionnel (total de 120 couronnes). Pour le groupe test, Procera® AllCeram matériau d'épaulement a été utilisé pour la confection des marges. 40 couronnes ont été scellées sur des moignons en acier soit avec Ketac-Cem Aplicap, soit avec Panavia F. Les 40 couronnes restantes ont été posées sur des moignons en polyuréthane sans ciment, puis chargées occlusalement jusqu'à la fracture. Parmi les couronnes molaires, pas de différences de résistance à la fracture relatives aux différentes configurations marginales (test et contrôle) et aux matériaux de scellement n'ont été observées. Quant à la forme de prémolaire, l'addition d'une marge en porcelaine a été associée à une réduction de la résistance à la fracture, tandis que l'utilisation d'un composite de scellement a été accompagnée d'une augmentation. Les résultats de cette étude indiquent que pour des couronnes Procera® AllCeram avec une marge ondulée, une configuration conventionnelle de marge combinée avec un scellement adhésif est préférable, en particulier dans la région postérieure ayant des forces de mastication plus élevées. Cette assumption nécessite d'être prouvée par des études cliniques.

Literaturverzeichnis

- ANDERSSON M, ODÉN A: A new all-ceramic crown. A dense-sintered, high-purity alumina coping with porcelain. Acta Odontol Scand 51: 59–64 (1993)
- AWLIYA W, ODÉN A, YAMAN P, DENNISON J, RAZZOOG M: Shear bond strength of a resin cement to densely sintered high-purity alumina with various surface conditions. Acta Odontol Scand 56: 9–13 (1998)
- BOENING K, WOLF B, SCHMIDT A: Clinical fit of Procera AllCeram crowns. J Prosthet Dent 84: 419–424 (2000)
- CHAI J, TAKAHASHI Y, SULAIMAN F, CHONG K-H, LAUTENSCHLAGER E U: Probability of fracture of all-ceramic crowns. Int J Prosthodont 13: 420–424 (2000)
- HARRINGTON Z, McDONALD A, KNOWLES J: An in vitro study to investigate the load at fracture of Procera AllCeram crowns with various thickness of occlusal veneer porcelain. Int J Prosthodont 16: 54–58 (2003)

- KAPPERT H F, KRAH M: Keramiken – eine Übersicht. Dentalkeramiken und zahntechnische Verfahren zur Herstellung von keramischem Zahnersatz. *Quintessenz Zahntech* 6: 668–704 (2001)
- KELLY J R: Clinical failure of dental ceramic structures: insights from combined fractography, in vitro testing and finite element analysis. *Ceram Trans* 48: 125–137 (1995)
- KÖRBER K H, LUDWIG K: Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. *Dent Lab* 31: 55–60 (1983)
- LEHNER C H, MÄNNCHEN R, SCHÄRER P: Variable reduced metal support for collarless metal ceramic crowns. *J Prosthodont* 4: 337–345 (1995)
- MARX R, FISCHER H, WEBER M, JUNGWIRTH F: Rissparameter und Weibullmodule: unterkritisches Risswachstum und Langzeitfestigkeit vollkeramischer Materialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 56: 90–98 (2001)
- MAY K B, RUSSELL M M, RAZZOOG M E, LANG B R: Precision of fit: the Procera AllCeram crown. *J Prosthet Dent* 80: 394–404 (1998)
- NEIVA G, YAMAN P, DENNISON J, RAZZOOG M, LANG B: Resistance to fracture of three all-ceramic systems. *J Esthet Dent* 10: 60–66 (1998)
- PALLIS K, GRIGGS J A, WOODY R D, GUILLEN G E, MILLER A W: Fracture resistance of three all-ceramic restorative systems for posterior applications. *J Prosthet Dent* 91: 561–569 (2004)
- POTIKET N, CHICHE G, FINGER I: In vitro strength of teeth restored with different all-ceramic crown systems. *J Prosthet Dent* 92: 491–495 (2004)
- QUINTAS A F, OLIVEIRA F, BOTTINO M A: Vertical marginal discrepancy of ceramic copings with different ceramic materials, finish lines and luting agents: a in vitro evaluation. *J Prosthet Dent* 92: 250–257 (2004)
- SCHERRER S S, DE RIJK W G: The fracture resistance of all-ceramic crowns on supporting structures with different elastic moduli. *Int J Prosthodont* 6: 462–467 (1993)
- SUÁREZ M, D E VILLAUMBROSIA P, PRADIES G, LOZANO J: Comparison of the marginal fit of Procera AllCeram crowns with two finish lines. *Int J Prosthodont* 16: 229–232 (2003)
- SULAIMAN F, CHAI J, JAMESON L, WOZNIAC W: A Comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress and Procera crowns. *Int J Prosthodont* 10: 478–484 (1997)
- VOSS R: Die Festigkeit metallkeramischer Kronen. *Dtsch Zahnärztl Z* 24: 726–731 (1969)
- WEBBER B, MC DONALD A, KNOWLES J: An in vitro study of the compressive load at fracture of Procera AllCeram crowns with varying thickness of veneer porcelain. *J Prosthet Dent* 89: 154–160 (2003)
- WILSON P R: Low force cementation. *J Dent* 24: 269–273 (1996)
- ZITZMANN N U, MARINELLO C P: Das Vollkeramiksystem Procera AllCeram. *Acta Med Dent Helv* 8: 821–834 (1999)