

# QZ

Quintessenz Zahntechnik



- Möglichkeiten der Vollkeramik
- Voll- und Metallkeramik-Kombination bei Abrasion
- Grünkernkeramik werkstoffkundlich betrachtet
- Konuskronen: Haftflächengröße und Haftkraft
- Gerüstgestaltung metallkeramischer Restaurationen
- Die totale implantatgetragene ZrO<sub>2</sub>-Keramikbrücke
- Controlling: Der Jahresplan

32. Jahrgang / Februar 2006

# 2/2006

Quintessenz Verlag, Ilenplad 2-4, D-12107 Berlin  
PVSt, Deutsche Post AG, „Entgelt bezahlt“, 2254  
Ausland: Presse und Buch International



#### Zusammenfassung

Legierungen werden in der Zahnheilkunde zunehmend durch keramische Werkstoffe mit exzellenten mechanischen Eigenschaften und bester biologischer Verträglichkeit ersetzt. Hochfeste Gerüstkeramiken, wie bspw. HIP TZP  $ZrO_2$ , benötigen im Vergleich zu Titan jedoch etwa fünfmal längere Bearbeitungszeiten. Auf der Suche nach Möglichkeiten, diese Bearbeitungszeiten zu kürzen und trotzdem positive Aspekte, wie Festigkeit und Ästhetik, zu erhalten, wurden so genannte „Grünkernkeramiken“ entwickelt. Der Artikel geht anhand der Produkte DC-Zirkon und DC-Shrink (DCS Dental AG, Allschwil) der Frage nach, ob die Eigenschaften dieser Techniken vergleichbare Ergebnisse bringen, bzw. wo die Hauptunterschiede zu Tage treten.

#### Indizes

CAD/CAM, HIP-Zirkoniumdioxid, Grünkern Zirkoniumdioxid, Zirkoniumdioxid, Biegefestigkeit, Weibull-Modul, Verbund Keramik-Keramik

## Eine werkstoffkundliche Betrachtung Grünkernkeramik DC-Shrink

**Wolf-Dieter Müller, Thomas Paul, Leonard Meyer,  
Juliane König, Christian Abert**

Exzellente mechanische Eigenschaften, wie extreme Biegefestigkeit und ausgezeichnete Bruchzähigkeit, verbunden mit einer guten biologischen Verträglichkeit sind die Gründe für den Einsatz von keramischen Werkstoffen als Substitut für Legierungen gerade auch in der Zahnheilkunde. So werden seit über 10 Jahren wie in der Medizin auch im Dentalbereich hochfeste Keramiken eingesetzt.

Die ausgezeichneten Festigkeitswerte sind allerdings mit einer hohen Härte verknüpft, was letztlich zu Schwierigkeiten bei der Ver- und Bearbeitung führen kann.

Hinzu kommt, dass im zahntechnischen Labor derartige Materialien aufgrund ihrer hohen Schmelztemperaturen nicht wie bisher mit der Lost-Wax Technik zur Herstellung individueller Konstruktionen verarbeitet werden können, sondern nur mit Hilfe der CAD/CAM-Technik.

Allein die Bearbeitungszeiten von hochfesten Keramiken sind im Vergleich z. B. zu Titan erheblich höher. Für ein Kronengerüst aus Titan werden ca. 25 min Fräszeit benötigt, die gleiche Krone aus HIP TZP  $ZrO_2$  (Hot Isostatic Pressed Tetragonal Zirconia Polycrystals Zirkoniumdioxid) ist erst nach ca. 2,5 Stunden fertig.

#### Einleitung



Auf der Suche nach Möglichkeiten, die Verarbeitungszeit zu verkürzen, die Bearbeitung zu erleichtern und dennoch Vorzüge der Oxidkeramik, wie Festigkeit und Ästhetik, zu erhalten, wurde die so genannte „Grünkernkeramik“ (Bearbeitung als Grünling) entwickelt.

#### Das DC-Shrink Material

Hinter der Grünkernkeramik DC-Shrink (DCS Dental AG, Allschwil, Schweiz) verbirgt sich ein Gemisch aus 3–6 Gew-% (2-3 mol %) Yttriumoxid ( $Y_2O_3$ ) mit Zirkoniumdioxid ( $ZrO_2$ ).<sup>1</sup> DC-Shrink entspricht also den marktgängigen Grünkernkeramiken. Die chemische Zusammensetzung ist die gleiche wie für HIP TZP  $ZrO_2$ , DC-Zirkon (DCS Dental AG). Zirkoniumdioxid selbst ist eine polymorphe Keramik, d. h. sie kann sich je nach Temperatur in verschiedene Phasen umwandeln. Der Yttriumoxid-Zusatz dient der Stabilisierung der tetragonalen Phase bei Raumtemperatur, die sich durch thermische Behandlung bei Temperaturen oberhalb von 1170 °C aus der unter Normalbedingungen stabilen, monoklinen Phase bildet. Man spricht dann auch von einer metastabilen tetragonalen Phase. Damit verbunden ist eine deutliche Verbesserung der Rissfestigkeit, die auf Volumendifferenzen zwischen der tetragonalen und monoklinen Phase, letztere ist voluminöser, zurückzuführen ist. Tritt ein Riss auf, so kommt es an der Risspitze infolge der dort erhöhten Energiezufuhr zu einer Phasenumwandlung von tetragonal nach monoklin, verbunden mit einer Volumenexpansion, und somit faktisch zum Verschluss der Risspitze.

Der Nutzen dieser Eigenschaft besteht darin, dass Mikrorisse nur sehr schwer entstehen und wachsen können, womit ein Einsatz dieses Materials als Gerüstwerkstoff möglich und sinnvoll wird.

Prinzipiell wird bei Zirkonoxidmaterialien auch zwischen TZP und PSZ, was soviel wie tetragonal zirconia polycrystals bzw. phase stabilized zirconia bedeutet, unterschieden. Kann man beim TZP, wie bei DC-Shrink und DC-Zirkon davon ausgehen, dass mehrheitlich die tetragonale Phase vorliegt, handelt es sich im Falle des PSZ um ein Phasengemisch aus monoklinen, tetragonalen und möglicherweise sogar der kubischen Phase<sup>6</sup>.

#### Die Verarbeitung

Der Rohling wird mit dem DCS PRECIDENT® CAD/CAM-System (DCS Dental AG) gemäß Herstellerangaben verarbeitet. Ein wesentlicher Unterschied besteht in der Verarbeitung bzw. Gerüstherstellung zwischen DC-Zirkon und DC-Shrink. Im Falle der HIP Keramik DC-Zirkon wird das Gerüst in seinen entgültigen Dimensionen auf dem System hergestellt, wohin gegen im Falle der Grünkernkeramik DC-Shrink ein Formkörper gefertigt wird, der um ca. 20% lin. zu groß gegenüber dem eigentlich benötigten Teil sein muss. Seine endgültige Form und Festigkeit bekommt dieser Körper erst nach dem Sinterbrand bei ca. 1550 °C. Der Sinterbrand erfolgt gemäß dem empfohlenen Brennprogramm: 90 min aufheizen von Raumtemperatur auf Endtemperatur, zwei Stunden Haltezeit bei Endtemperatur gefolgt von einer ca. sechsstündigen Abkühlphase. Zum Sintern von DC-Shrink wird in dieser Untersuchung als Brennofen der ZYrcomat (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) eingesetzt (Abb. 1). Als maximale Sintertemperatur des Ofens werden 1580 °C angegeben. Der Brennraum hat ein Volumen von ca. 200 ml und besteht aus Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ). Die Brennstücke werden auf  $ZrO_2$ -Kugeln (Sinterbett) gelagert.

#### Sintern

Das Sintern bzw. eine Sinterung ist definiert als: „Verdichtung und Verfestigung des aus Pulver geformten Rohlings beim Brand durch Ausbildung von Stoffbrücken.“<sup>2</sup>, schematisch in Abbildung 2 dargestellt.





Abb. 1 ZYrcomat (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen).



Abb. 2 Schematische Darstellung des Sinterprozesses.

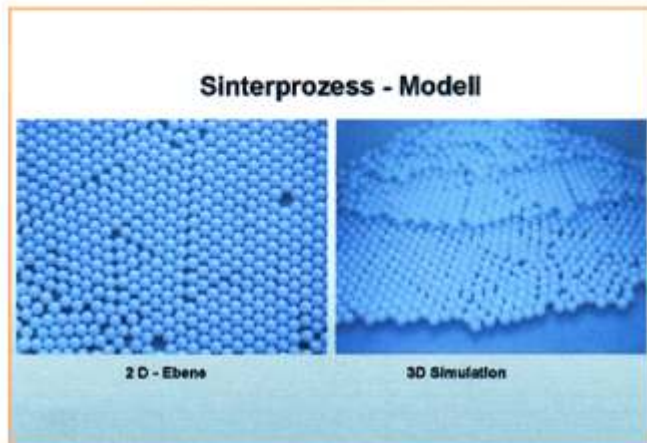


Abb. 3 Veranschaulichung der Packung von Partikeln gleicher Größe, hier Zirkonoxid-Kugeln.



Abb. 4 Darstellung der Dimensionsänderungen durch den Sinterprozess am Beispiel einer 3-gliedrigen Brücke, oben vor und unten nach dem Sinterprozess.

Wie spiegelt sich dies in den werkstoffkundlichen Eigenschaften der aus Grünkernkeramik hergestellten Proben wider?

Den Ausgangszustand kann man sich veranschaulichen, indem man die zum Sinterofen gehörenden  $ZrO_2$ -Kugeln einfach zusammenrüttelt, wie in Abbildung 3 zu sehen. So bekommt man eine Vorstellung von der Packungsdichte der Teilchen, die möglichst homogen bezüglich ihres Kugeldurchmessers verteilt vorliegen sollten. Beim Zirkoniumdioxid beträgt der mittlere Kugeldurchmesser ca.  $50 \mu m$ . Die Qualität der Verteilung des Teilchendurchmessers bestimmt sehr wesentlich die Qualität des Endproduktes.

Während des Sinterbrandes bei  $1550 \text{ }^\circ C$  kommt es auch bei der Grünkernkeramik DC-Shrink zu einer dramatischen Volumenveränderung, deutlich am Vergleich der Brücke vor und nach dem Brand in Abbildung 4 zu erkennen. Damit verbunden sind zwei Effekte, zum einen werden Randdefekte verkleinert, aber zum anderen neue Defekte in Form von Poren gebildet. Letztere können gravierende Schwachstellen im Gerüst sein.

### Werkstoffkundliche Eigenschaften

Wie stellen sich die werkstoffkundlichen Eigenschaften der Grünkernkeramik DC-Shrink dar?

Die Anforderungen sind sehr einfach zu beschreiben:

- ausreichende Stabilität,
- gute Ver- und Bearbeitbarkeit,
- Ästhetik

und sind bezüglich der Minimalanforderungen in den Normen ISO 6872, ISO 4824 und ISO 9693 beschrieben.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Biegefestigkeit  $\sigma_b$ , der kritischen Risszähigkeit  $K_{IC}$  und der Passgenauigkeit vorgestellt.

### Ergebnisse

Zunächst wurden aus der Grünkernkeramik DC-Shrink Plättchen mit einer Größe von 15 x 50 x 2 mm herausgesägt und bei drei unterschiedlichen Temperaturen gesintert. Ziel war es, sowohl Brennfehler als auch Wärmeübergangseinflüsse zu untersuchen. Alle Proben

wurden mit dem gleichen Zeitregime behandelt. Es wurden 10 Prüfkörper je Serie angefertigt. Die Biegefestigkeit wurde im 3-Punkt-Biegetest mit Hilfe der Universalprüfmaschine Zwick 005 (Zwick, Ulm) ermittelt.

Abbildung 5 zeigt die Abhängigkeit der Biegefestigkeiten (Mittelwerte und Standardabweichungen) von der Sintertemperatur. Man stellt fest, dass die Biegefestigkeit in dem untersuchten Temperaturbereich nahezu linear ansteigt. Ähnliche Untersuchungen von Zhang et al.<sup>7</sup> zeigten ebenfalls, dass durch Sintern bei 1580 °C ein Biegefestigkeitsmaximum auftritt. Danach scheint der optimale Sintertemperaturbereich zwischen 1530 °C und 1580 °C zu liegen. Bei zeitkonstanten Sinterprogrammen, wie es im ZYcomat genutzt wird, sollte bei einer Brennraumfüllung von mehr als 50% 1580 °C als Sintertemperatur verwendet werden, um zu gewährleisten, dass alle Proben mindestens die Sintertemperatur von 1530 °C erreichen. Auf die einzelnen Einflussgrößen, wie Temperaturgradienten und Abschattungen, soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da sie für alle Öfen dieser Art typisch sind.

Das Auftreten von Volumendefekten während des Sinterns ist nicht zu vermeiden. So ist es wichtig, deren Verteilung und somit deren Einfluss auf die Festigkeit zu kennen. Bezüglich ihrer Verteilung gehorchen sie der Weibull Verteilung und werden mit Hilfe der Weibull Statistik analysiert.<sup>5</sup>

Der zufolge treten kleine Defekte häufiger auf als große. Durch Auftragen der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Defekten, doppelt logarithmisch, gegen den Logarithmus der Biegefestigkeit, können aus dem Anstieg der Geraden Informationen über die Defektverteilung erhalten werden (Abb. 6). Je größer der Anstieg  $m$ , der Weibull Modul, desto kleinere und weniger Defekte liegen in der Keramik vor. Die Weibullfestigkeit ist eine Interpolationsgröße auf den Zustand einer einheitlichen, mittleren Defektgröße im Prüfkörper. Sie muss aber immer im Zusammenhang mit  $m$  betrachtet werden.

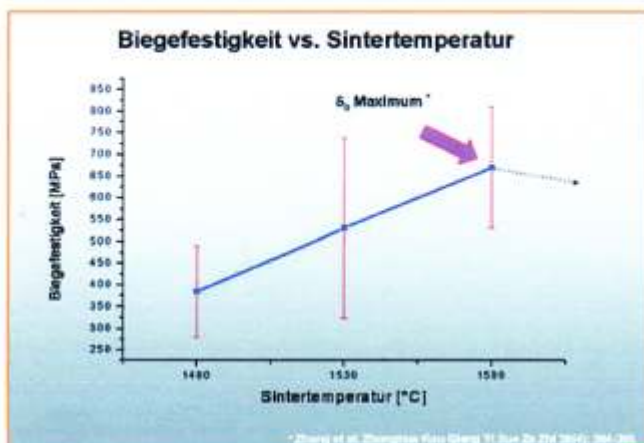


Abb. 5 Darstellung der 3-Punkt-Biegefestigkeit gegenüber der Sintertemperatur, Mittelwert und Standardabweichung.



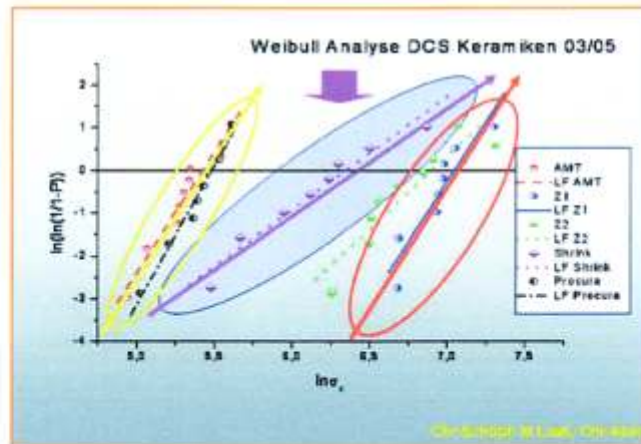


Abb. 6 Darstellung der Weibull-Analyse für die Grünkernkeramik DC-Shrink im Vergleich zu den Keramiken DC-Procura und einer experimentellen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Keramik (AMT), der Pfeil weist auf die Gerade für DC-Shrink hin.

Defekte, insbesondere Oberflächendefekte, die durch die Bearbeitung der keramischen Proben zwangsläufig entstehen, sind die Achillesfersen. Es ist gemeinhin bekannt, dass Keramiken zu den spröden Werkstoffen gehören und der Rissausbreitung keinen wirklichen Widerstand entgegensetzen können.

Die Bruchzähigkeit oder auch kritische Risszähigkeit  $K_{IC}$  gibt Auskunft über die Bedingungen, unter welchen ein Riss gefährlich für die Stabilität einer Keramikkonstruktion werden kann. Berücksichtigt werden dabei die Risstiefe, die Rissgeometrie und die Spannung, die zur Rissöffnung führt.

$$\sigma = \frac{K}{\sqrt{Ma}} \quad (1)$$

$\sigma$  = Spannung an der Risspitze

$K$  = Risszähigkeit [ $\text{MPam}^{1/2}$ ]

$M$  = Geometrie des Risses bzw. Defektes

$a$  = Riss- bzw. Defekttiefe

Für die Bewertung der Einsatzmöglichkeiten eines keramischen Werkstoffes, ist es hilfreich, diese Grenzbedingungen, d. h. die tolerierte Defekttiefe in Bezug zur Biegebeanspruchung, zu kennen. Dies kann auf zwei sehr unterschiedlichen Wegen erfolgen. Einmal, indem man die Bruchfläche analysiert, wie es die Fraktographie macht, wozu sehr viel Erfahrung gehört.<sup>4</sup> Diese Untersuchungsmethode ist für Routinemessungen ungeeignet. Eine andere Möglichkeit besteht im Setzen von definierten Defekten entsprechend der Indenter-Technik. In diesem Fall werden mit Hilfe von Vickers- bzw. Knoop-Diamanten Härteeindrücke erzeugt und die sich an der Spitze ausbreitenden Risse zur Oberfläche in ihrer Ausdehnung bewertet. In Anlehnung an Anstis in *Munz und Fett*,<sup>5</sup> kann der  $K_{IC}$  Wert entsprechend Gleichung (2) bestimmt werden:

$$K_{IC} = 0,032a^{1/2} H \left( \frac{E}{H} \right)^2 \left( \frac{c}{a} \right)^{-3/2} [\text{MPam}^{1/2}] \quad (2)$$

mit

$$H = \frac{1,854F}{d^2} [\text{MPa}] \quad d = 2a \quad (3)$$

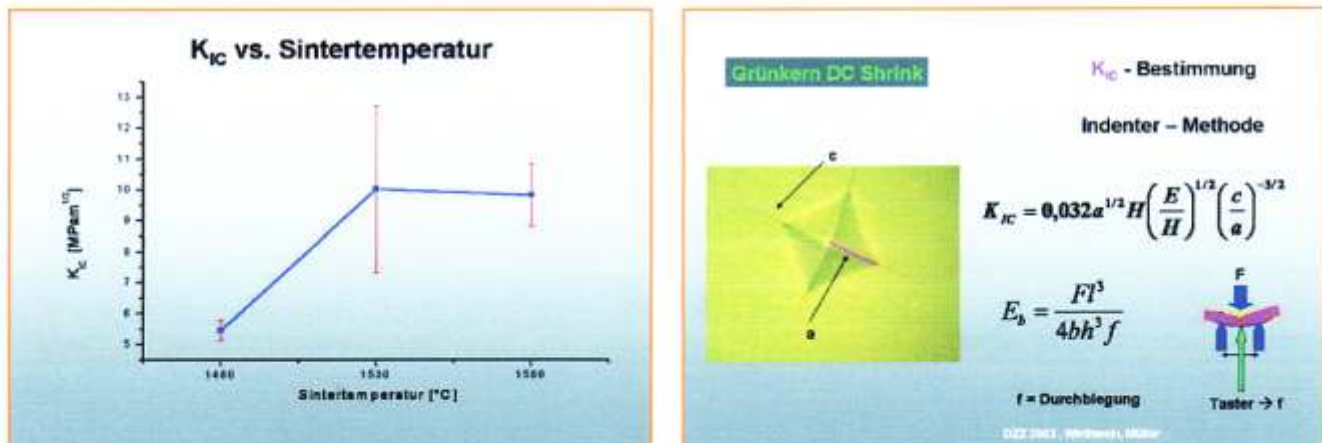


Abb. 7a und b Darstellung des  $K_{IC}$ -Wertes als Funktion der Sintertemperatur, Mittelwert und Standardabweichung, oben Bestimmung des  $K_{IC}$ -Wertes.

und

$$E_b = \frac{Fl^3}{4bh^3f} \text{ [MPa] mit } f = \text{Durchbiegung (4)}$$

Der für die Berechnung notwendige E-Modul wird hier nicht aus Tabellenbüchern entnommen, sondern als Biege-E-Modul eingesetzt. Er wird mit Hilfe der Durchbiegung  $f$ , die während des Biegeversuches mit Hilfe eines Tasters, Auflösung 1  $\mu\text{m}$ , gemessen wird, berechnet. Damit kann die Verlässlichkeit der ermittelten  $K_{IC}$  Werte deutlich verbessert und diese auch für die Bewertung des sicheren Designs herangezogen werden.

Die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Sintertemperatur sind in den Abbildungen 7a und b zusammengefasst dargestellt. Es wird deutlich, dass eine Brenntemperatur von 1550 °C nicht unterschritten werden darf, da sonst eine signifikante Reduktion der Risszähigkeit eintritt. Eine höhere Sintertemperatur, 1580 °C, würde hingegen die Streubreite der  $K_{IC}$ -Werte deutlich verringern.

Durch das Auftragen von  $K_{IC}$  vs. Biegefestigkeit können Werkstoffe untereinander verglichen und die sich abzeichnenden Indikationsbereiche eingegrenzt werden, wie Abbildung 8 zeigt.

Bleibt noch die Frage nach der Verbundfestigkeit zur Verblendkeramik. Der Vergleich der Festigkeit des Aufbrennkeramik-Keramik-Verbundes unter Druck-Scher-Belastung mit einem Metall-Keramik-Verbund zeigt, dass vergleichbare Verbundfestigkeiten erreicht werden, sodass einem Einsatz nichts im Wege steht. Für diese Versuche wurde Triceram (Dentaurum, Pforzheim) als Verblendmaterial eingesetzt (Abb. 9).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die werkstoffkundlichen Eigenschaften die Eignung der Grünkernkeramik DC-Shrink als Gerüstkeramik für Einzelkronen und kleinere Brücken belegen.

**Die Passgenauigkeit** Auf zwei Problembereiche bei der Anwendung von Grünkernkeramik, wie z. B. DC-Shrink, soll in diesem Zusammenhang hingewiesen werden. Da ist zunächst die Sprödigkeit des ungesinterten Grünlings, die sich in einem sehr leichten Abplatzen von Teilen, insbeson-



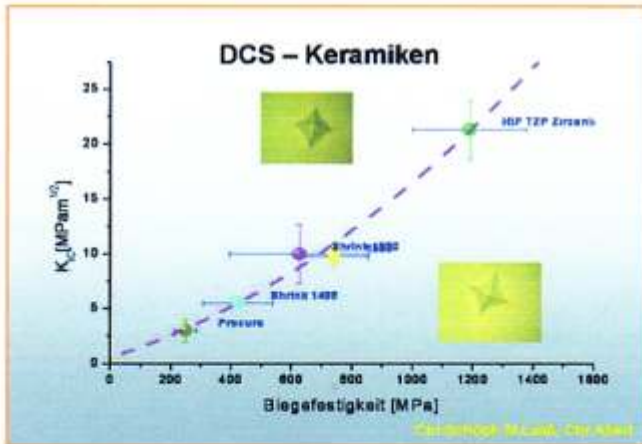


Abb. 8 Vergleichende Darstellung des  $K_{1C}$ -Wertes in Bezug zur 3-Punkt-Biegefestigkeit in Anlehnung an <sup>8</sup>.

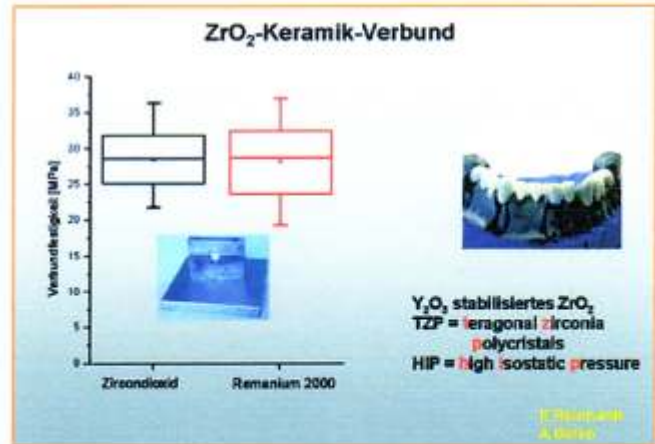


Abb. 9 Vergleich der Verbundfestigkeit im Druck-Scher-Versuch zwischen Verblendkeramik (Triceram) und  $ZrO_2$ -Keramik bzw. Co-Basis Legierung (Remanium 2000).

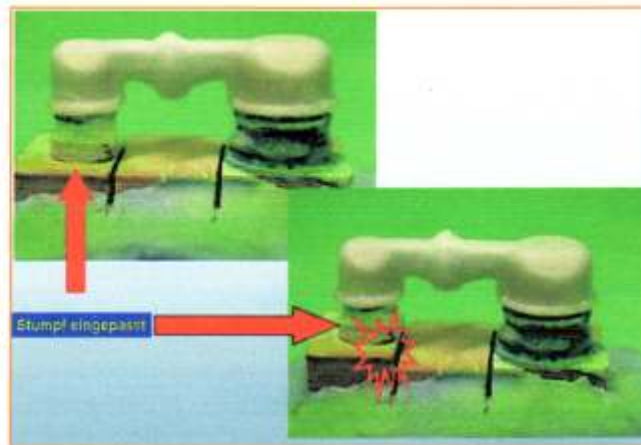


Abb. 10 Darstellung des Einflusses des Verzuges auf die Passgenauigkeit einer 3-gliedrigen Modellbrücke.

dere an Rändern, während des Heraustrennens aus dem Block zeigt. Anhand der in Abbildung 10 gezeigten Proben soll auf ein weiteres Problem aufmerksam gemacht werden, der Verzugsgefahr, die sich in Passungenauigkeiten widerspiegeln kann. Wie hier schon an einer 3-gliedrigen Brücke zu erkennen ist, können sich derartige Fehler bei größeren Konstruktionen gravierend auswirken. Hier wird eine deutlich schlechtere Qualität im Vergleich mit Titan bzw. HIP  $ZrO_2$ , DC-Zirkon erreicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Grünkernkeramik DC-Shrink für den vorgesehenen Indikationsbereich Einzelkronen und kleine 3-gliedrige Brücken den Anforderungen genügt. Sintertemperaturen unter 1530 °C sind zu vermeiden. Beim Sintern mehrerer Konstruktionen in einem Ofen ist eine Sintertemperatur von 1580 °C zu empfehlen, wenn das Sinterprogramm zeitgesteuert ist. Ob die praktische Umsetzung von Grünkernkeramiken tatsächlich ein Gewinn gegenüber HIP TzP  $ZrO_2$  ist, muss kritisch hinterfragt werden.

## Schlussbetrachtung



## GERÜSTKERAMIK

## Danksagung

Für die Unterstützung der Arbeit möchten wir Frau Schöpf, Herrn Reinhardt, Herrn Boiko, Frau Laaß und Herrn Zöller danken.

## Literatur

1. DCS – Datenblatt; [www.dcs-dental.com](http://www.dcs-dental.com).
2. Heuschkel, H., Muche, K.: ABC Keramik, Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975.
3. Laaß, M., Paul, T., Müller, W.-D., Meyer, L., Lange, K.-P.: Kic-Wert Bestimmung an hochfesten Keramiken mit Hilfe der Indenter Methode. Abstracts 53. DGZPW Kiel (2004), 74 P#47.
4. Müller, W.-D., Wirthwein, C., Lange, K.-P., Meyer, L.: Kic-Wert-Bestimmung mit Hilfe der Indenter-Methode – Möglichkeiten und Grenzen. Dtsch Zahnärztl Z 57, 608-612 (2002).
5. Munz, D., Fett, F.: Mechanisches Verhalten keramischer Werkstoffe. Springer, Berlin, Heidelberg 1989.
6. Piconi, C., Maccauro, G.: „Zirconia as a ceramic biomaterial“. Biomaterials 20, 1-25 (1999).
7. Zhonghua, Z.: Kou Quang Yi Xue Za Zhi 38, 4, 304-305 (1999).

## Adresse der Verfasser

Prof.(UH) Dr. Wolf-Dieter Müller  
Zahnärztliche Werkstoffkunde und Biomaterialforschung  
Zentrum für Zahnmedizin  
„Charité“ – Universitätsmedizin Berlin  
Aßmannshuserstraße 4-6  
14197 Berlin

ZTM Thomas Paul  
Dillenburger Straße 53  
14199 Berlin

Dr.Leonhard Meyer  
DCS Dental AG  
Gewerbestrasse 24  
4123 Allschwill  
Schweiz

ZÄ Juliane König  
Cand Med Dent Christian Abert  
Zahnärztliche Werkstoffkunde und Biomaterialforschung  
Zentrum für Zahnmedizin  
„Charité“ – Universitätsmedizin Berlin  
Aßmannshuserstraße 4-6  
14197 Berlin