

## Haftverbund von Zirkonoxid untersucht

### Forschungspreisträger nahmen Oxidkeramik unter die Lupe.

Die Verbreitung vollkeramischer Restaurationen in Klinik und Praxis erreicht wieder einen neuen Höchststand. So wird die Anzahl der eingegliederten Inlays, Onlays, Teilkronen, Kronen und Brücken aus Silikat- und Oxidkeramiken in diesem Jahr nach Recherchen der AG Keramik die Grenze von 7 Millionen Einheiten in Deutschland überschreiten. Das Vertrauen der Zahnärzteschaft und der Patienten in diese zahnfarbenen, biokompatiblen Werkstoffe wird dadurch gestützt, dass Keramikhersteller, Universitäten und wissenschaftliche Fachgesellschaften mit beträchtlichem Aufwand die klinische Bewährung der Vollkeramik kontrollieren, Werkstoffeigenschaften überprüfen und die Anwendungsbereiche erweitern. Hierbei nimmt industrieseitig Forschung & Entwicklung sowie die Qualitätssicherung in der niedergelassenen Praxis und im ZT-Labor eine bedeutende Rolle ein. Seit über eine Dekade berichtet die AG Keramik alljährlich über den Stand der vollkeramischen Restauration und ermuntert junge Wissenschaftler, Technologen, Zahnärzte und Zahntechniker, im Rahmen des „Forschungspreises Vollkeramik“ über die Fortschritte und ihre Erfahrungen zu berichten. Die prämierten Arbeiten und deren Autoren werden alljährlich auf dem Keramiksymposium der AG Keramik vorgestellt.

Die eingereichten Arbeiten der 12. Ausschreibung hatte die Jury geprüft und die Gewinner des Forschungspreises Vollkeramik ermittelt. Im Rahmen des 12. Keramiksymposiums der AG Keramik auf dem Deutschen Zahnärztetag 2012 in Frankfurt/Main erhielten den ersten Preis *Priv.-Doz. Dr.-Ing. Ulrich Lohbauer (Abb. 1)* mit dem Forscherteam *Alexandra Grigore, Stefanie Spallek, Prof. Anselm Petschelt, Dr. Benjamin Butz, Prof. Erdmann Spiecker*, Institut für Biomaterialien & Center for Nanoanalysis and Electron Microscopy der Universität Erlangen-Nürnberg sowie Zahnklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Werkstoffwissenschaftliches Labor, Universität Erlangen, für die Arbeit "Mikrostrukturelle Untersuchungen an der Grenzfläche zwischen Zirkonoxid und Verblendkeramik."

Der zweite Preis ging an die Zahnärzte *Philipp Winterhalder (Abb. 2)* und *Christof Holberg*, Labor für virtuelle Biomechanik an der Zahnklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München, für die Arbeit "Besteht für grazile Keramik-Inlays ein erhöhtes Frakturrisiko?"

Der dritte Preis wird für gleichwertige Arbeiten geteilt und geht an Frau *Dr. Ulrike Beier (Abb. 3)*, Universität Innsbruck, für die Arbeit "Klinische Bewährung vollkeramischer Inlay- und Onlay-Restaurationen im Seitenzahnbereich" sowie an *Dr. Gerd Göstemeyer (Abb. 4)*, Charité-Centrum der Humboldt-Universität Berlin, für die Arbeit

„Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit auf den Haftverbund zwischen Zirkonoxid und Verblendkeramik“. Nachstehend die Abstracts der prämierten Arbeiten.

### **Mikrostrukturelle Untersuchungen an der Grenzfläche zwischen Zirkonoxid und Verblendkeramik**

Die Forschergruppe *Lohbauer et al* befasste sich mit Zirkonoxid ( $ZrO_2$ ) als Gerüstkeramik für die aufbrennkeramische Verblendung. Der Werkstoff erhält durch die Sinterung nach subtraktiver Formgebung eine hohe Festigkeit und Bruchzähigkeit. Das Prinzip der Zähigkeitssteigerung beruht auf einer martensitischen Umwandlung von tetragonalen in monokline Einzelkristallite. Klinische Studien zeigen, dass Frakturen innerhalb der Verblendkeramik (Chippings) auftreten können und somit ein Problem für vollkeramischem Zahnersatz aus  $ZrO_2$  darstellen. Die Ursachen für das Auftreten von Chippings ist noch nicht völlig geklärt.  $ZrO_2$ -Gerüste werden in der Zahntechnik noch vor der Verblendung oftmals verschiedenen Oberflächenbehandlungen unterzogen, die Auswirkungen auf den Verbund zur Verblendkeramik haben können. In dieser Studie wurden Oberflächenkonditionierungsverfahren wie Sandstrahlen mit unterschiedlichen Korngrößen (35/105  $\mu m$ ), rotierende Bearbeitung mit Diamantschleifern (150  $\mu m$  Korn), thermischer Entspannungsbrand auf  $ZrO_2$ -Substraten (Y-TZP) angewandt und diese anschließend aufbrennkeramisch verblendet. Ziel war, die Mikrostruktur an der Grenzfläche zwischen  $ZrO_2$  und Verblendung zu analysieren und die morphologischen Veränderungen in der  $ZrO_2$ -Oberfläche nach der Verblendung zu beschreiben.

Es wurde festgestellt, dass das Sandstrahlen mit einer ansteigenden Aluminiumoxid-Korngröße (35  $\mu m$  vs 105  $\mu m$ ) sowie die rotierende Bearbeitung mit Diamantinstrumenten (150  $\mu m$  Korn) einen zunehmenden Einfluss auf die Oberflächenrauigkeit der Oxidkeramik und auf die strukturelle Integrität des oberflächennahen  $ZrO_2$ -Gefüges haben (**Abb. 5**). Der relative monokline Gehalt vor und nach thermischer Behandlung wurde mittels Röntgenbeugung (XRD) untersucht. Es wurde festgestellt, dass durch den thermischen Verblendprozess eine Umkehrung der martensitischen Transformation von monoklin nach tetragonal stattfindet. Die Mikrostruktur an der Grenzfläche zur Verblendkeramik wurde im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) an Dünnschliff-Proben untersucht. Die mechanisch vorbehandelten Proben zeigten dabei einen stark deformierten Bereich von 1-3  $\mu m$  in der  $ZrO_2$ -Oberfläche. Der Verbund zur Verblendkeramik wurde davon nicht beeinflusst. Die Methode der Selected Area Electron Diffraction (SAED) wurde angewandt, um die Tiefe der Phasenumwandlung im  $ZrO_2$  zu beurteilen. Die Anwesenheit monokliner Phasenanteile im  $ZrO_2$  wurden bis zu einer Tiefe von 4  $\mu m$  unterhalb der Oberfläche gefunden. Nach Sandstrahlung waren die Phasenanteile in 11-35  $\mu m$  Tiefe nachweisbar, nach Diamantschleiferbearbeitung bis 9  $\mu m$ .

Die Studie zeigte zum ersten Mal mikrostrukturelle Aufnahmen der Grenzfläche zwischen Verblendung und  $ZrO_2$ . Der thermische Prozess der Verblendung führt zu einer Regeneration des Kristallgefüges im  $ZrO_2$ -Gerüst und damit zur Wiederherstellung der zähen Materialeigenschaften (**Abb. 6**). Mit korrekt verarbeiteter  $ZrO_2$ -Keramik können deshalb auch geringere Wandstärken (bis 0,5 mm) und filigrane Verbinderquerschnitte realisiert werden.

## Haben grazile Keramik-Inlays ein erhöhtes Frakturrisiko?

Die Zahnärzte *Philipp Winterhalder* und *Christof Holberg* vom Labor für virtuelle Biomechanik der Zahnklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München hatten untersucht, wie sich die Kavitätengestaltung auf die Frakturgefahr von 2-flächigen Keramikinlays auswirkt.

Anhand einer Computertomographie wurde ein digitales Modell eines 1. unteren Molaren erstellt. Nach den Präparationsrichtlinien in der Literatur wurden durch unterschiedliche Tiefe, Breite und Öffnungswinkel der Kavität 27 virtuelle Modelle für adhäsiv befestigte Keramikinlays konstruiert (**Abb. 8**). Alle Simulationsmodelle wurden okklusal mit 200 Newton (N) belastet. Die in den Restaurationen gemessenen Spannungen wurden anschließend statistisch ausgewertet. Das Volumen der Restaurationen variierte zwischen 35,7 mm<sup>3</sup> und 82,5 mm<sup>3</sup>. Die gemessenen Maximalwerte der Zugspannungen betragen die zwischen 114,3 MegaPascal (MPa) und 105,50 MPa. Die maximalen Druckspannungen lagen zwischen 22,69 MPa und 18,01 MPa. Bei der Auswertung aller Messpunkte mit erhöhter Belastung (>55 MPa) konnte weder für Tiefe, Breite oder Öffnungswinkel der Kavität noch für das Restaurationsvolumen eine signifikante Korrelation mit den Spannungen im Inlay ermittelt werden. Fazit: Innerhalb der Präparationsrichtlinien wurden kleine und große Keramikinlays durch Kaukräfte ähnlich stark belastet. Daher scheint aus biomechanischer Sicht für Klasse II-Kavitäten eine Restauration mit grazil gestalteten Keramik-Inlays vertretbar.

## Klinische Bewährung vollkeramischer Inlay- und Onlay- Restaurationen im Seitenzahnbereich

Frau Dr. Ulrike Beier mit der Arbeitsgruppe Kapferer, Burtscher, Giesinger, Dumfahrt an der Universität Innsbruck beurteilte die klinische Bewährung und die Überlebensraten silikatkeramischer Inlay- und Onlay-Restaurationen im Seitenzahnbereich im Rahmen einer retrospektiven Studie.

120 Patienten (46 männlich, 74 weiblich) wurden mit n= 547 Keramikrestaurationen unterschiedlicher Silikatkeramiken während der regulären zahnärztlichen Routinekontrolle nachuntersucht. Insgesamt wurden n=213 Onlays und n=334 Inlays (n= 38 einflächige, n= 141 zweiflächige und n= 155 dreiflächige Inlays), die zwischen 1987 und 2009 an der Medizinischen Universität Innsbruck inseriert wurden, evaluiert. Neun (1,6 %) der 547 untersuchten Zähne waren endodontisch versorgt und n=40 Patienten (33 %) zeigten Folgen von Bruxismus. Die Restaurationen wurden nach Ästhetik, Oberfläche, Randqualität und Verfärbungen anhand der Ryge-Kriterien beurteilt. Misserfolge und ihre Ursachen wurden dokumentiert. Die Überlebenswahrscheinlichkeit wurde mit der Kaplan-Meier Analyse berechnet.

Die durchschnittliche Beobachtungsdauer für die Onlay-Restaurationen betrug 80 ± 34 Monate, für die Inlay-Restaurationen 111 ± 63 Monate. 27 Misserfolge wurden diagnostiziert. Die ermittelte Überlebenswahrscheinlichkeit für Onlays (Inlays insgesamt) nach 5 Jahren betrug 98,9 % (98,9 %), nach 10 Jahren 92,4 % (96,8 %) und nach 12 Jahren 92,4 % (89,6 %). Devitale Zähne wiesen ein signifikant höheres Misserfolgsrisiko auf (p<0,001). Das Risiko eines Misserfolges bei Patienten mit Parafunktion (Knirschen) war nicht signifikant erhöht (p=0,4008). Restaurationen in der Prämolarenregion zeigten die Tendenz einer erhöhten Überlebenswahrscheinlichkeit,

aber der Unterschied war nicht signifikant ( $p=0,913$ ). Fazit: Vollkeramische Onlay- und Inlay-Restaurationen im Seitenzahnbereich haben eine hohe Erfolgsrate, sind zum jetzigen Zeitpunkt aber in der Überlebenswahrscheinlichkeit noch Goldrestaurationen unterlegen.

### **Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit auf den Haftverbund zwischen Zirkoniumdioxid und Verblendkeramik**

Um Chippingfrakturen bei Restaurationen auf Basis von Zirkoniumdioxid ( $ZrO_2$ ) zu vermeiden, wird derzeit von einigen Herstellern empfohlen, Brennprogramme mit langsamer Abkühlgeschwindigkeit zum Sintern der Verblendung anzuwenden. *Dr. Gerd Göstemeyer*, Charité-Centrum der Humboldt-Universität Berlin, untersuchte, inwieweit die Abkühlgeschwindigkeit nach dem Sintern den Haftverbund zwischen Zirkoniumdioxid und Verblendkeramik beeinflusst.

Vier verschiedene Verblendkeramiken (Lava Ceram, Triceram, VM9, Zirox) wurden auf rechteckige  $ZrO_2$ -Plättchen (Lava Frame) gebrannt und entweder langsam oder schnell abgekühlt. Zur Untersuchung des Haftverbundes wurde die Energiefreisetzungsrate ( $G$ ,  $J/m^2$ ) eines kontrolliert verlaufenden Risses an der Verbundfläche zwischen Zirkoniumdioxid und Verblendkeramik ermittelt. Dilatometrische Untersuchungen der Verblendkeramiken wurden durchgeführt, um die thermischen Ausdehnungskoeffizienten ( $\alpha$ ,  $ppm\ K^{-1}$ ) im Temperaturintervall zwischen 50-450 °C ( $\alpha_1$ ) und bei Temperaturen oberhalb der Glasübergangstemperatur ( $T_g$ ) zu bestimmen. Die Differenzen zwischen  $\alpha_2$  und  $\alpha_1$  ( $\Delta\alpha$ ) wurden für jede Verblendkeramik berechnet. Innerhalb jeder Materialgruppe waren die Energiefreisetzungsraten der langsam abgekühlten Proben geringer als die der schnell abgekühlten Proben (**Abb. 9**). Bei den Proben aus der Triceram- und VM9-Gruppe war die Reduktion der Energiefreisetzungsrate durch langsame Abkühlung statistisch signifikant ( $p<0.05$ ). Die Reduktion der Energiefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Abkühlgeschwindigkeit korrelierte mit der Differenz der Ausdehnungskoeffizienten  $\Delta\alpha$ . Fazit: Eine Langzeitabkühlung scheint mit einer Reduktion des Haftverbundes zwischen Zirkoniumdioxidgerüst und Verblendung einherzugehen.

Der „Forschungspreis Vollkeramik“ der AG Keramik wird alljährlich ausgeschrieben. Einsendungen für die Ausschreibung 2013 sind bis zum 28. Februar 2013 an die Geschäftsstelle der AG Keramik erbeten. Näheres unter [www.ag-keramik.de](http://www.ag-keramik.de) – Menü Forschungspreis.

*Manfred Kern – Schriftführung Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde*  
[info@ag-keramik.de](mailto:info@ag-keramik.de) [www.ag-keramik.eu](http://www.ag-keramik.eu)

*Den Autoren der mit dem Forschungspreis ausgezeichneten Arbeiten sei für die Überlassung der Abstracts gedankt. Die ausführlichen Studienberichte befinden sich noch im Review-Verfahren.*

## Abbildungen:



Abb. 1: Priv.-Doz. Dr.-Ing. Ulrich Lohbauer, Universität Erlangen, erhielt für sein Forschungsteam den "Forschungspreis Vollkeramik" aus der Hand von Dr. Bernd Reiss. Foto: AG Keramik/Kern



Abb. 2: Zahnarzt Philipp Winterhalder, München



Abb. 3: Frau Dr. Ulrike Beier, Innsbruck



Abb. 4: Dr. Gerd Göstemeyer, Berlin

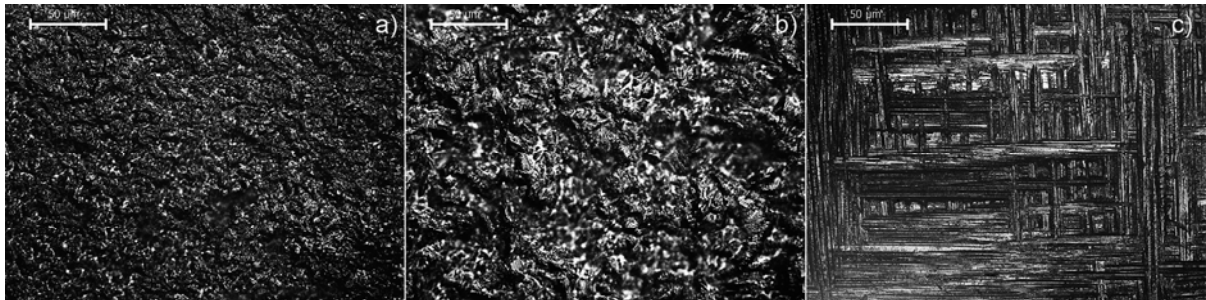


Abb. 5: Abbildung 1: Oberflächenzustand von  $ZrO_2$  nach a) Sandstrahlen mit  $35\ \mu m$  Aluminiumoxidpulver ( $Al_2O_3$ ); b) Sandstrahlen mit  $105\ \mu m$   $Al_2O_3$ ; c) rotierender Bearbeitung mit Diamantschleifer ( $150\ \mu m$ -Korn). Quelle: Lohbauer et al.

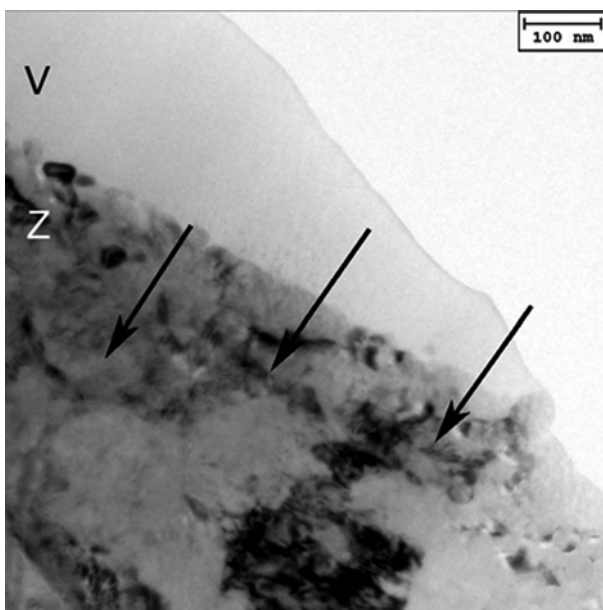


Abb. 6: Verbundzone zwischen sandgestrahltem ( $105\ \mu m$ )  $ZrO_2$  (Z) und Verblendkeramik (V) im Durchlicht (TEM). Zu sehen ist eine deformierte, teilweise monoklin umgewandelte Mikrostruktur und eine hohe Defektkonzentration (Pfeile) in der  $ZrO_2$ -

Oberfläche. Die Benetzung der Verblendkeramik ist weiterhin perfekt. Quelle: Lohbauer et al.

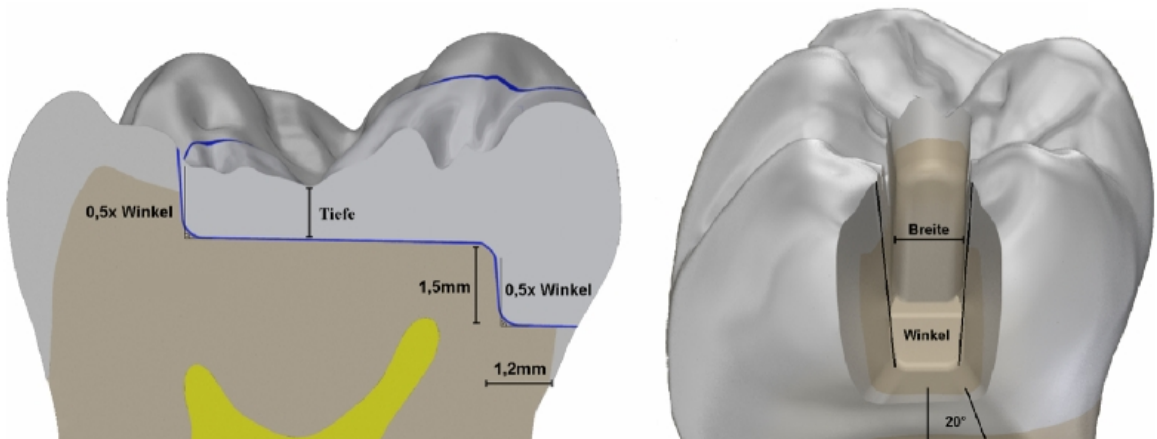


Abb. 7: Simulationsmodelle Klasse II-Kavitäten für grazil gestaltete Keramik-Inlays. Quelle: Winterhalder

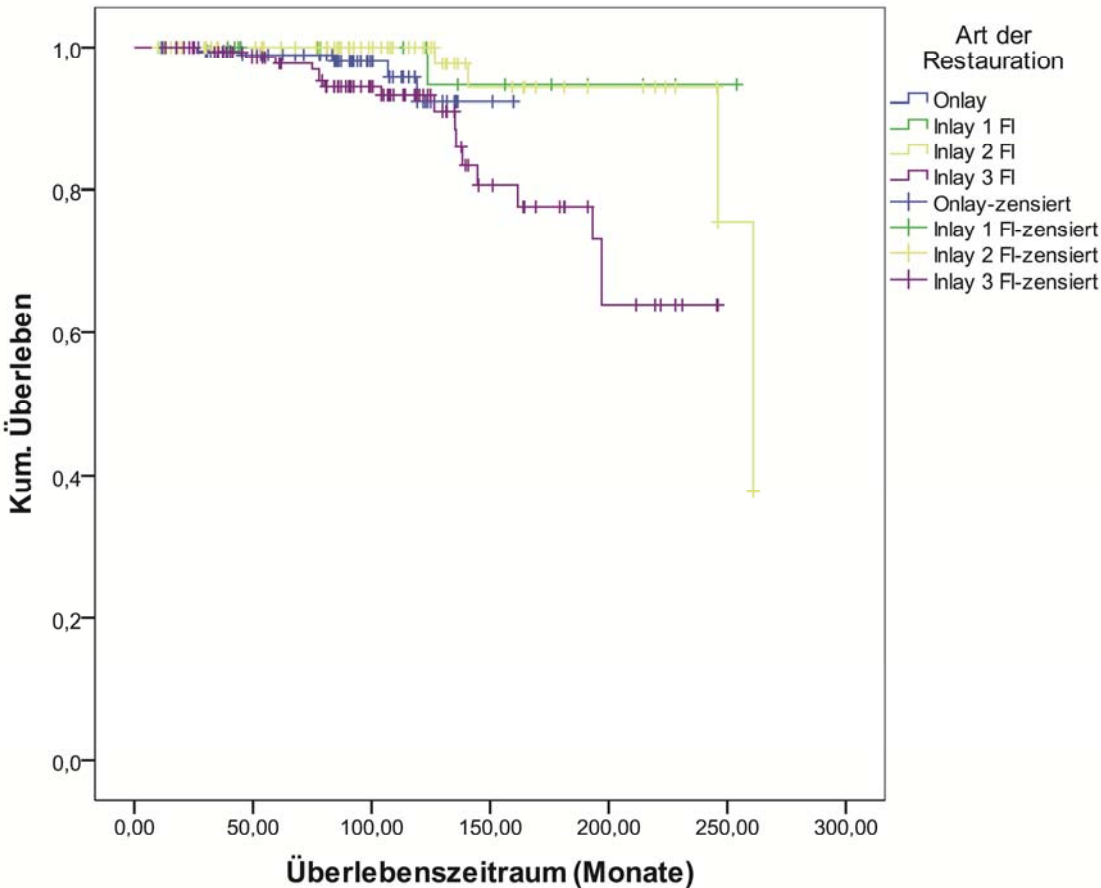


Abb. 8: Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit: Für Keramik-Onlays 98,9 Prozent nach 5 Jahren, 92,4 Prozent nach 10 Jahren. Quelle: Beier

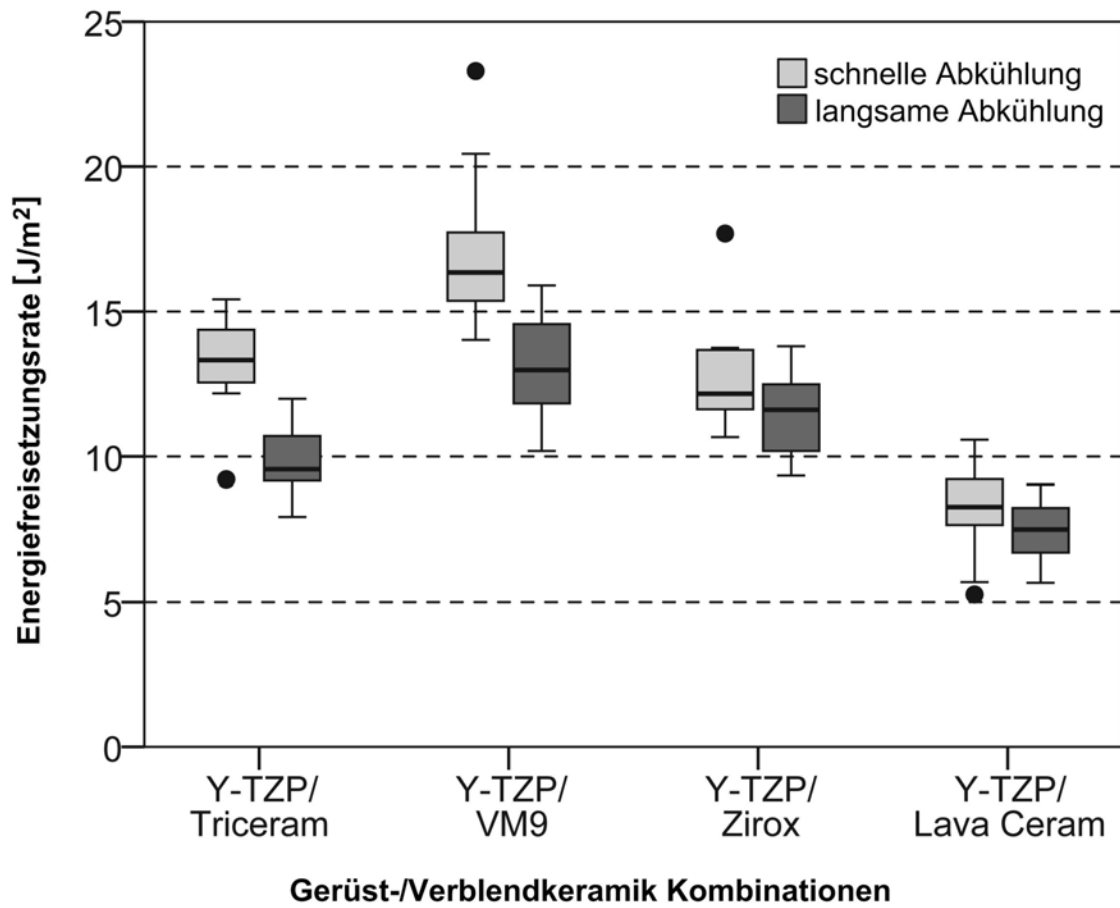


Abb. 9: Die zeitverzögerte Abkühlphase nach dem Sintern der Verblendkeramik auf dem  $ZrO_2$ -Gerüst löst eine geringere Energiefreisetzung aus. Quelle: Göstemeyer