

ZIRKONIUMDIOXID – EINE KERAMIK AUF DEM WEG ZUM GOLDSTANDARD?

Dr. Philipp Kohorst, Prof. Dr. Meike Stiesch-Scholz

Zirkoniumdioxid gewinnt in der restaurativen Zahnmedizin zunehmend an Bedeutung. Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Einsatz der Hochleistungskeramik ist jedoch das Verständnis der speziellen Eigenschaften dieses Materials. Neben werkstoffkundlichen Aspekten sind dabei insbesondere eine korrekte Indikationsstellung und eine gewissenhafte klinische Vorgehensweise von Bedeutung.

>>> Keramiken zeichnen sich durch ihre sehr guten ästhetischen Eigenschaften, ausgezeichnete Biokompatibilität und eine geringe Plaqueanlagerung aus. Bereits seit längerer Zeit sind vollkeramische Restaurationsmaterialien auf dem Markt, die die Herstellung von Einzelkronen und kleineren Brücken im Front- und Seitenzahnbereich erlauben. Die Festigkeiten dieser Keramiken lassen den Einsatz in Indikationsbereichen mit erhöhten mechanischen Anforderungen jedoch nicht zu. In den letzten Jahren wurden daher dentale Hochleistungskeramiken auf der Basis von Zirkoniumdioxid (ZrO_2) entwickelt, um weitere Indikationsbereiche für vollkeramische Versorgungen zu öffnen. Diese weisen eine außergewöhnlich hohe Belastbarkeit auf und treten somit in Konkurrenz zu den etablierten metallkeramischen Versorgungen, die bislang den sogenannten „Goldstandard“ darstellen.

Zirkoniumdioxid – Werkstoffkundliche Aspekte

Zirkonium (Zr) ist ein relativ weiches, biegsames, silbrig glänzendes Metall und steht an 17. Stelle der häufigsten Elemente der Erde. Das in technischen und medizinischen Bereichen eingesetzte Oxid dieses Metalls, Zirkoniumdioxid, wird in der Regel in einem aufwendigen Prozess aus Zirkonsand gewonnen. Schließlich liegt es als weißes, hochschmelzendes, kristallines Pulver vor. Der Schmelzpunkt von Zirkoniumdioxid

liegt bei $2.680\text{ }^\circ\text{C}$, der Siedepunkt bei $5.500\text{ }^\circ\text{C}$. Die besonderen Materialeigenschaften von Zirkoniumdioxid liegen in seiner Polymorphie begründet. Kristallografisch betrachtet tritt Zirkoniumdioxid in monokliner, tetragonaler und kubischer Modifikation auf (Abb. 1). Beim Abkühlvorgang einer reinen ZrO_2 -Schmelze kristallisiert ab $2.680\text{ }^\circ\text{C}$ zuerst die kubische Phase (k) aus, diese wandelt sich bei $2.370\text{ }^\circ\text{C}$ in die tetragonale Phase (t) um. Bei einer Temperatur von $1.170\text{ }^\circ\text{C}$ findet schließlich die Umwandlung in die monokline Phase (m) statt, in der das Zirkoniumdioxid dann bei Raumtemperatur vorliegt. Diese letzte martensitische Um-

wandlung (t-m) geht mit einer Volumenzunahme von ca. 3 % einher, die bei vollständiger Abkühlung bis auf Raumtemperatur auf 4,9 % anwächst.

Die sprunghafte Volumenzunahme in der Abkühlphase macht die Herstellung von Sinterkeramiken aus reinem Zirkoniumdioxid unmöglich. Die Volumenvergrößerung führt stets zu hohen Spannungen und unerwünschten Rissbildungen im Kera-

mikgefüge. Die t-m-Umwandlung in der Abkühlphase kann durch die Zugabe von Stabilisierungs-oxiden vermieden werden, die in das Kristallgitter des Zirkoniumdioxides eingebaut werden. Das wichtigste Stabilisierungsoxid, das in zahnmedizinischen Zirkoniumdioxidkeramiken eingesetzt wird, ist Yttriumoxid (Y_2O_3). Als besonders geeignet hat sich ein Zusatz von 3 Mol-% Yttriumoxid er-

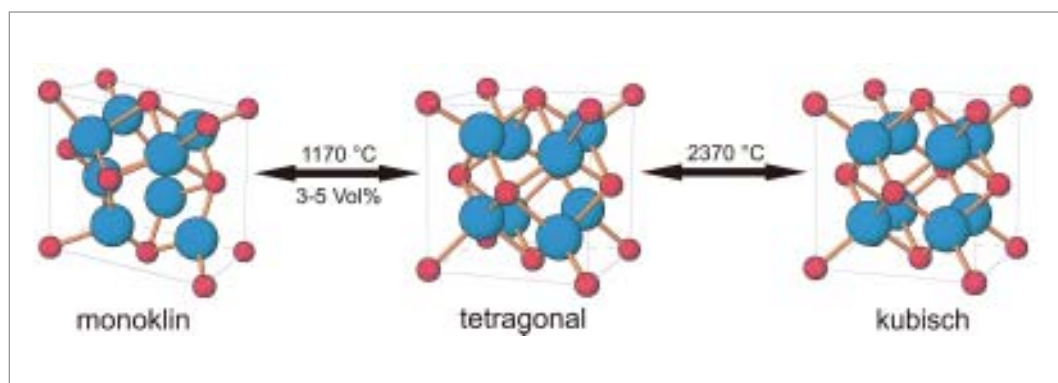


Abb. 1: Die drei Kristallphasen des Zirkoniumdioxides.

wiesen, bei dieser Konzentration liegen die Zirkoniumdioxidkeramiken vollständig in Form der tetragonalen Modifikation vor. Durch die vollständige Stabilisierung der tetragonalen Phase erhält man die sogenannten Y-TZP (yttrium stabilized tetragonal zirconia polycrystals)-Keramiken. Diese weisen aufgrund des charakteristischen Mechanismus der

Umwandlungsverstärkung ($t \rightarrow m$) eine sehr hohe mechanische Belastbarkeit auf und sind weniger anfällig für die Entstehung von festigkeitsmindernden Rissen und deren Wachstum.

Die Umwandlungsverstärkung lässt sich grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Mechanismen zurück-

führen. Zum einen kann eine lokale, spontane $t \rightarrow m$ -Umwandlung von Zirkoniumdioxid die Bildung feiner Mikrorisse hervorrufen, die durch das größere Volumen der monoklinen Kristallform bedingt ist. Ein sich ausbreitender Riss läuft sich entweder in diesen Mikrorissen fort oder wird an den Zirkonium-

dioxidteilchen abgelenkt. Zum anderen kann die $t \rightarrow m$ -Umwandlung auch durch die hohen Zugspannungen induziert werden, die an der Spitze eines sich ausdehnenden Risses immer vorhanden sind. Die vorliegenden Zugspannungen vermindern den Matrixdruck auf die umgebenden Zirkoniumdioxidteil-

chen und es kommt zur $t \rightarrow m$ -Umwandlung. Das größere Volumen der entstehenden monoklinen Kristallform führt wiederum zu einer lokalen Druckspannung im Bereich der Risspitzen. Das weitere Risswachstum wird so durch das Zusammendrängen der Rissflanken erschwert.

Die physikalischen Eigenschaften von Zirkoniumdioxid lassen die Anwendung von herkömmlichen Sinter-, Guss- und Presstechnologien im Dentallabor aufgrund hoher Schmelz- und Zersetzungstemperaturen nicht zu. Für die Bearbeitung von Y-TZP-Keramiken kommen daher CAD (Computer Aided Design)/CAM (Computer Aided Manufacturing)-Verfahren zum Einsatz, die den Gebrauch von industriell hergestellten Zirkoniumdioxidrohlingen (Abb. 2) ermöglichen. Die Formgebung des Zahnersatzes erfolgt dabei nach computergestützter Gestaltung in automatisierten Fräseinheiten und kann sowohl vor als auch nach dem endgültigen Sinterprozess der Rohlinge vorgenommen werden. Die Rohlinge, die bei der Bearbeitung bereits ihre Enddicke aufweisen, werden als dichtgesintert bezeichnet. Unter industriellen Bedingungen werden sie in einem heißisostatischen Pressverfahren (HIP) zumeist noch weiter verdichtet. Das Material zeigt sehr hohe Festigkeitswerte, die Bearbeitung mit Schleifinstrumenten ist jedoch aufwendig. Eine weitere Möglichkeit stellt die Verwendung von vorgesinterten Zirkoniumdioxidrohlingen, sogenannten

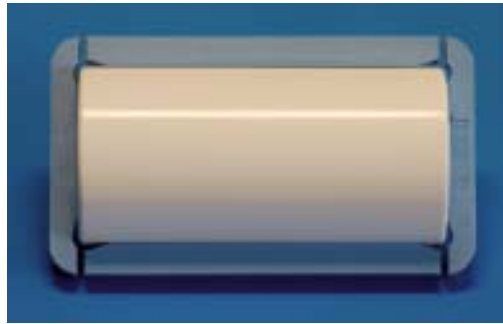


Abb. 2: Vorgesintertes Zirkoniumdioxidrohling (Weißling).



Abb. 3: Brückengerüst nach dem Fräsprozess im Weißzustand und Reste des Zirkoniumdioxidrohlings.

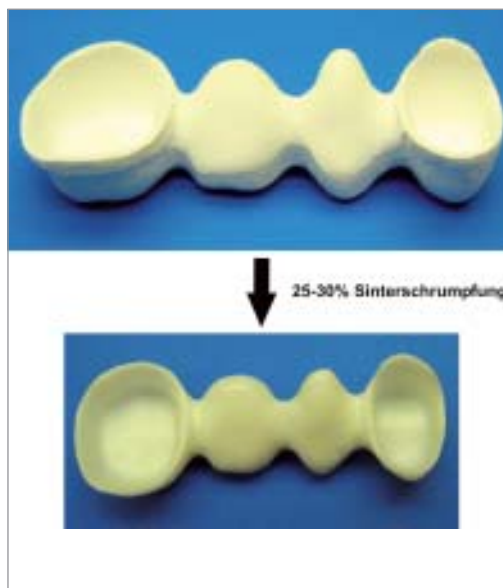


Abb. 4: Darstellung der Sinterschrumpfung. Brückengerüst im Weißzustand (oben) und nach dem endgültigen Sinterprozess (unten).

Weißlingen, dar. Die zu fertigenden Restaurationen können leicht spanabhebend aus den kreideweichen Rohlingen herausgearbeitet werden (Abb. 3). Bei der Konstruktion des Werkstückes muss dabei eine Schwindung von ca. 25–30 % berücksichtigt werden, die im abschließenden Sinterprozess auftritt (Abb. 4).

Indikationen und klinische Anwendung



Abb. 5: Viergliedrige Zirkoniumdioxidbrücke zum Ersatz von Prämolaren und Molaren.

Die hervorragenden mechanischen Eigenschaften erlauben den Einsatz vollkeramischer Restaurationen auf Zirkoniumdioxidbasis in einem sehr weiten Indikationsspektrum. Zudem erweitern sich die Anwendungsbereiche durch Materialoptimierungen und wachsende klinische Erfahrungen stetig. Im Bereich des festsitzenden Zahnersatzes ist Zirkoniumdioxid neben der Herstellung von Einzelkronen und kleingliedrigen Brücken auch für die Anfertigung größerer Brückenspannen geeignet (Abb. 5). Eigene Untersuchungen konnten hier zeigen, dass Brücken bis zu einer Spannweite möglich sind, die den Ersatz von Prämolaren und Molaren erlauben. Klinische Untersuchungen mit noch größeren Brückenspannen liefern erste vielversprechende Resultate, für eine abschließende Bewertung fehlen jedoch bisher ausreichende Langzeitergebnisse. Neben der Belastbarkeit ist bei der Beurteilung der Restaurationen insbesondere die Randschlussqualität ein entscheidender Faktor. Gerade die komplexen Geometrien ausgedehnter Versorgungen können zu Ungenauigkeiten im Rahmen des Herstellungsprozesses führen, sodass die Passung im Rahmen der klinischen Anwendung besonderes Augenmerk verlangt. Die im Vergleich zu glaskeramischen Massen geringere Transluzenz bedingt in der Kronen- und Brückenprothetik den ausschließlichen Einsatz von Zirkoniumdioxid als Gerüstmaterial. Die Individualisierung der Restaurationen erfolgt mit klassischen Verblendkeramiken in der Schlickertechnik oder durch neuere Aufpresstechniken.

Obwohl Zirkoniumdioxid sehr gute mechanische Eigenschaften aufweist, ist es für den erfolgreichen Einsatz von festsitzenden Versorgungen notwendig, sich stets die Besonderheiten dieser Keramik vor Augen zu führen und sich von etablierten metallkeramischen Denkweisen zu lösen. Dies beginnt bereits in der Planungsphase. Bei Brückengerüsten aus Zirkoniumdioxid sollte eine Mindesthöhe der Konnektoren von 3 mm eingehalten werden. Gerade die Höhe der Konnektoren ist entscheidend, da sie in der dritten Potenz zur Belastbarkeit beiträgt. So



Abb. 6a+b: Implantataufbauten (Abutments) aus Zirkoniumdioxid (oben). Auf Abutments befestigte Vollkeramikronen mit Zirkoniumdioxidgerüst (unten).

sind Verbinderquerschnitte von mindestens 9 mm² anzustreben, die bei mehrgliedrigen Restaurationen und in Bereichen mit hoher mechanischer Beanspruchung bis auf 16 mm² ausgedehnt werden sollten. Bei der Stumpfpräparation für Kronen und Brücken aus ZrO₂ wird eine ausgeprägte Hohlkehlpäparation bei einem zirkulären Mindestabtrag von 1 mm und einem Konuswinkel von 6° bevorzugt. Im Frontzahnbereich wird ein inzisaler Abtrag von 2 mm, im Seitenzahnbereich ein okklusaler Abtrag von 1,5 mm bei einem Öffnungswinkel von 120–140° empfohlen. Von besonderer Wichtigkeit ist die sorgfältige Abrundung aller Ecken und Kanten am Ende der Präparation, um die korrekte Erfassung der Stumpfgeometrie durch die verwendeten CAD/CAM-Systeme zu ermöglichen und Spannungsüberhöhungen an scharfkantigen und spitzwinkligen Übergängen zu



Abb. 7: Primärteleskope aus Zirkoniumdioxid.

verhindern. Bei der Herstellung der Zirkoniumdioxidgerüste sollte auf eine anatoforme Gestaltung geachtet werden, so dass ausreichend Raum für eine gleichmäßig starke Verblendschicht zur Verfügung steht, da es ansonsten leichter zu Abplatzungen der Verblendkeramik unter Kaudruck kommen kann. Die Zementierung von Zirkoniumdioxidrestorationen erfolgt in der Regel mit konventionellen Zinkoxidphosphat- oder Glasionomzementen. Alternativ können auch selbstadhäsive Befestigungszemente, wie z.B. Panavia® oder RelyX Unicem®, eingesetzt werden. Eine Konditionierung der Hochleistungskeramik durch Flusssäureapplikation und damit eine adhäsive Verbundmöglichkeit wie bei den Glaskeramiken ist aufgrund des hohen Kristallgehalts jedoch nicht möglich. Alternativ stehen tribochemische Verfahren (z.B. Rocotec®) zur Verfügung, über die eine Haftvermittlung zwischen Zirkoniumdioxidgerüst und Kompositzement ermöglicht wird.

In Form von vollkeramischen Abutments findet Zirkoniumdioxid auch Anwendung in der Implantatprothetik (Abb. 6a+b). Die zahnähnliche Farbe der Keramik ermöglicht es, auch bei schwierigen Weichgewebssituationen, wie z.B. dem Vorliegen einer fragilen Gingiva, ästhetisch hochwertige Restaurationen zu verwirklichen. Das beim Einsatz von Titanabutments oftmals zu beobachtende Durchschimmern von dunklen, metallfarbenen Abutmentanteilen durch die angrenzende Schleimhaut kann somit sicher verhindert werden. Neben der Versorgung mit festsitzenden Restaurationen wird Zirkoniumdioxid auch zunehmend im Bereich der herausnehmbaren Prothetik, z. B. für Teleskop-Primärkronen (Abb. 7) und Geschiebe, eingesetzt.

Zusammenfassung

Mit Zirkoniumdioxid steht heute ein Werkstoff zur Verfügung, der den sicheren Einsatz vollkeramischen Zahnersatzes in vielen Indikationsbereichen erlaubt. Die Anfertigung festsitzender, zahnfarbener Restaurationen in Bereichen mit hohen mechanischen Anforderungen ist nicht mehr ausschließlich dem „Goldstandard“ Metallkeramik vorbehalten. Auch bei herausnehmbarem Zahnersatz und in der Implantatprothetik ist es durch den Einsatz von Zirkoniumdioxid möglich geworden, dem Patienten metallfreie und hochästhetische Versorgungen anzubieten. Die in den letzten Jahren stark gestiegenen Rohstoffpreise für die Bestandteile dentaler Metalllegierungen machen die Hochleistungskeramiken zudem zu einer auch wirtschaftlich interessanten Alternative. Trotz der ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften des Zirkoniumdioxides darf je-

➤ KONTAKT

Dr. Philipp Kohorst
Klinik für Zahnärztliche Prothetik und
Biomedizinische Werkstoffkunde
(Direktorin: Prof. Dr. Meike Stiesch-Scholz)
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover
E-Mail: Kohorst.Phillipp@MH-Hannover.de

Ich plane *meine* Zukunft! mit **ULTRADENT**



Gönnen Sie sich Erfolg. Von Anfang an.

Vielseitigkeit und Zuverlässigkeit.

Designed by ULTRADENT.

Made in Germany.

- Kompaktarbeitsplätze
- Implantologie
- KFO-Arbeitsplätze
- Prophylaxe-Arbeitsplätze
- Kinderbehandlungsplatz

Fragen Sie auch nach unserem:

Praxis-Gründungs-Bonus!

ULTRADENT

Dental-medizinische Geräte GmbH & Co. KG
81829 München, Stahlgruberring 26
Telefon: 089/420 992-70 Fax: 089/420 992-50

www.ultradent.de