

Zirkonoxid in der Zahnheilkunde

Von Peter Gehrke, Ludwigshafen

Zirkonoxid bildet heute einen festen Bestandteil des Therapiespektrums in der Zahnheilkunde. Um den langfristigen Erfolg sicherzustellen, wird der Zahnarzt entsprechend seiner eigenen Sorgfalt bei der Behandlung vom Hersteller ein hochwertiges Material erwarten, als Rohstoff für eine werkstoffgerechte zahntechnische Verarbeitung. Im Folgenden wird eine Übersicht über die Anforderungen an das zu verwendende Zirkonoxid, die Indikationsbreite, die aktuellen Empfehlungen zu Präparation und Eingliederung sowie über die gemeinsame Planung einer Restauration durch Zahnarzt und Zahntechniker gegeben. Denn auch bei dem Werkstoff Zirkonoxid gibt es Unterschiede.

schen Studien erwiesen, wobei die Untersuchungen der Universitätszahnklinik Zürich wegen ihrer grundlegenden Bedeutung für die Verwendung von vorge-sintertem Zirkonoxid und einem nach der Fräsbearbeitung sich anschließenden Sinterprozess herausragen [1]. Die wesentliche Aussage der einschlägigen Studie dazu lautet: Gerüstbrüche treten bei dem verwendeten Material und der Verarbeitung im „direct ceramic machining“ (DCM-Verfahren) klinisch nicht auf. Das von der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) und der Universitätszahnklinik Zürich vorgestellte Verfahren wurde von DeguDent zur Marktreife entwickelt und unter dem Namen Cercon smart ceramics im Jahre 2001 in den Markt eingeführt. Nach Angaben des Herstellers wurden damit bis heute weltweit mehr als 2,5 Millionen Zahneinheiten hergestellt.

Indizes:
Eingliederung
Präparation
Zirkoniumdioxid

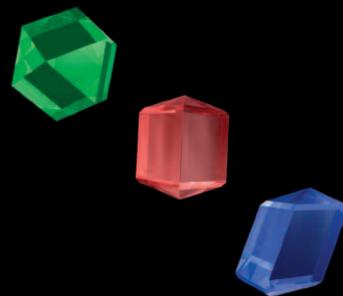
Key words
Intraoral delivery
Preparation
Zirconia

Es ist keine Frage, dass vollkeramische Restaurationen im Vergleich zu ihren Pendanten aus Metall in vielen klinischen Situationen ästhetische Vorteile bieten. Mit Zirkonoxid haben sich die Möglichkeiten erweitert, so dass heute auch Seitenzahnbrücken ohne weiteres vollkeramisch gefertigt werden. Ihre Stabilität hat sich in zahlreichen klini-

Kristallformen des Zirkonoxids

Reines Zirkonoxid kann bei identischer chemischer Zusammensetzung in drei Kristallformen vorliegen:

- Kubische Phase > ~2300 °C
- Tetragonale Phase < ~2300 °C
- Monokline Phase < ~1200 °C

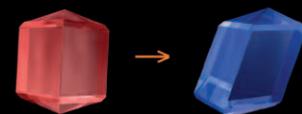


Kristallformen des Zirkonoxids

- Umwandlung von tetragonal in monoklin durch Abkühlung
- Verbunden mit einer Volumenzunahme von 3 bis 5 %
- Bruchgrenzen werden überschritten und führen zu Rissen

→ Konsequenz:

Herstellung von reinem Zirkonoxid ist aufgrund der Rissbildung beim Abkühlen nicht möglich



Der Grund für den Erfolg dürfte zum erheblichen Teil in der speziellen werkstoffgerechten Bearbeitung liegen. Denn man setzt so genannte „offenporige“ Zirkonoxidrohlinge („Weißlinge“) von kreidiger Konsistenz für den Fräsvorgang ein. Damit erübrigen sich Diskussionen über lange Bearbeitungszeiten, hohen Werkzeugverschleiß oder eine bearbeitungsbedingte Randzonenschädigung der Mikrostruktur von vornherein. Ein „Herausreißen“ von Keramikpartikeln, wie bei der schleifenden Bearbeitung durchgesinterten Zirkonoxids, ist mit dem System Cercon smart ceramics ausgeschlossen. Nach der Formgebung schrumpft das zunächst vergrößert aus einem Rohling gefräste Gerüst während des mehrstündigen Sinterprozesses auf die gewünschten Dimensionen. Anschließend verfügt das Zirkonoxidgerüst über seine Endfestigkeit in Höhe von

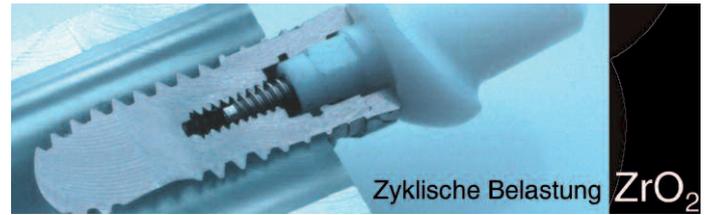


Abb. 3 Für die klinische Langzeitstabilität kommt es vor allem auf die Stabilität einer Restauration unter zyklischer Belastung an, entsprechend den natürlich wirkenden Kaukräften

zirka 1.300 Megapascal (3-Punkt-Biegeversuch).

Dieses Gerüst verfügt nun über die Fähigkeit, Mikrorisse bis zu einer gewissen Belastung durch einen so genannten Riss-schließungsmechanismus zu stoppen und ein Weiterwachsen des Risses zu verhindern [2]. Dadurch erhöht sich die Langzeitstabilität des Gerüsts, das aber trotzdem gegenüber Kerbwirkungen, wie sie beim Beschleifen entstehen, empfindlich ist. Dabei spielt ein Charakteristikum der Keramik eine wesentliche Rolle: die Polymorphie. Der Stoff kommt in drei unterschiedlichen kristallinen Formen vor. Bei Temperaturen von mehr als 2.300 °C tritt reines Zirkoniumdioxid als kubische Phase auf, die beim Abkühlen in eine tetragonale Phase übergeht. Unter 1.200 °C kommt es dann zur Umwandlung in eine monokline Phase. Der Übergang von der tetragonalen in die monokline Phase ist mit einer Volumenzunahme von ungefähr 3 bis 5 Prozent verbunden. Diese Expansion würde bei reinem Zirkonoxid im Inneren des Materials zu einer hohen Spannung und einem schlagartigen Auseinanderbrechen führen. Deshalb werden für die Verwendung in der Praxis weitere Oxide (wie z.B. Magnesiumoxid, Kalziumoxid oder vor allem Yttriumoxid) eingesetzt, um die kubische oder tetragonale

Hochtemperaturphase bis auf Raumtemperatur zu stabilisieren. Das Gerüst wird dadurch in seiner tetragonalen Struktur stabilisiert. Im Falle von Initialrissen kommt es im Bereich der Risspitze durch Gefügewandlung von tetragonal nach monoklin zu einer kontrollierten Volumenexpansion, was den Riss stoppt und der Keramik eine extreme Biegefestigkeit d.h. eine ausgeprägte Widerstandskraft gegen Brüche verleiht.

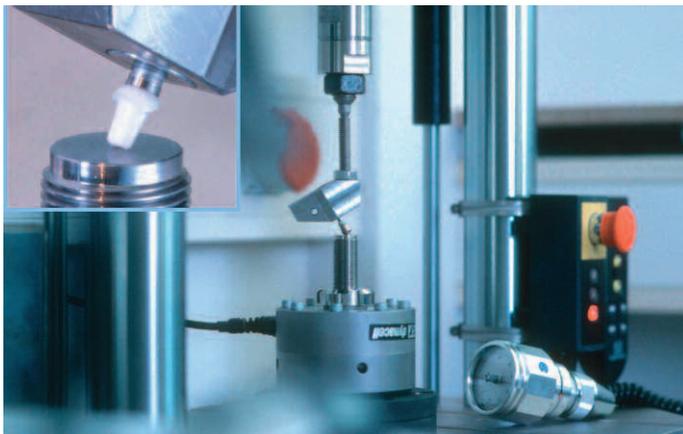


Abb. 4 Labortestverfahren: Durch vielfach wiederholtes Einleiten von definierten Kräften ...



Abb. 5 ... wird die klinische Langzeitstabilität vorab durch in vitro-Experimente eingeschätzt

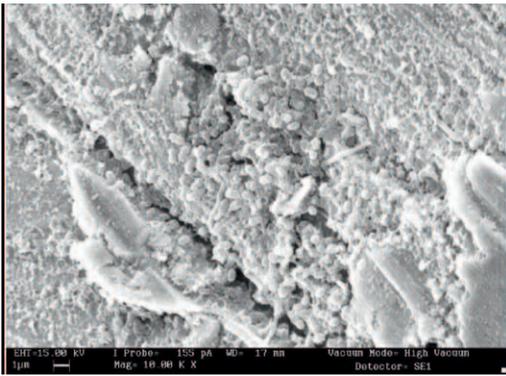


Abb. 6 Titan: Schicht aus Kokki & fadenförmigen Bakterien

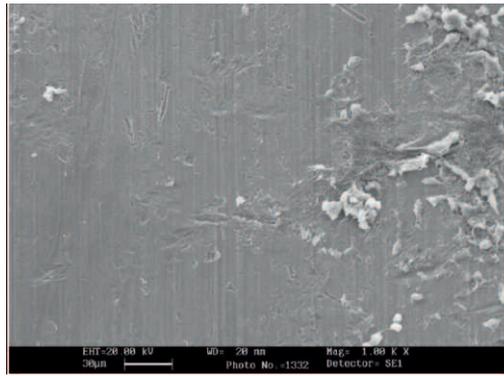


Abb. 7 Zum Vergleich eine typische CERCON-Oberfläche, wie man sie in situ finden würde: reduzierte Anzahl an Bakterien

Es versteht sich in diesem Zusammenhang von selbst, dass die formgebenden Funktionseinheiten im zahntechnischen Labor (Circon brain) auf den Gerüstwerkstoff abgestimmt sind und die Verblendkeramik (Circon ceram Kiss) keine „Universalkeramik“ ist, sondern speziell für den Zirkonoxid-Gerüstwerkstoff Cercon base entwickelt wurde.

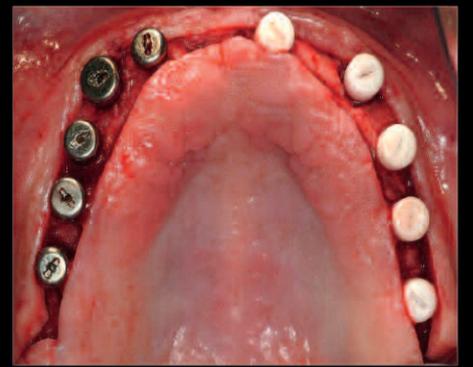
„Dental-Zirkon“ – mehr als nur Zirkonoxid

Die vorstehenden Ausführungen verdeutlichen, dass es sich bei dem in der Zahnmedizin verwendeten „Zirkonoxid“ um ein komplexes Gemisch mehrerer Oxide handelt. Kleine Variationen ihrer Mengenteile sowie die Art der Verarbeitung können daher große Auswirkungen auf die mechanischen, tribologischen und biologischen Eigenschaften haben. So betonen Edelhoff et al.: „Nur eine qualitativ hochwertige Rohlingsproduktion erlaubt eine homogene Verteilung der Poren und damit eine berechenbare Schrumpfung beim Sintern. Sie ist neben der hohen Präzision des Scanschleifprozesses eine unbedingte Voraussetzung für ein gut passendes Gerüst“ [3]. Diese Aussage hat sicherlich auch für Cercon Gültigkeit, wobei es sich bei diesem System um einen „Scan-Fräsprozess“ handelt. Die Sicherung der Qualität kann nur durch ei-

nen von der Rohstoffgewinnung bis zum fertigen Rohling kontrollierten Materialfluss gelingen. Gewonnen wird Zirkonoxid (ZrO_2) hauptsächlich aus dem Mineral Baddeleyte ($ZrSiO_4$), das in Vulkangestein zu finden ist. Die überwiegende Menge wird in Australien, den USA, Indien und Südafrika abgebaut. Aus den dort geförderten Zirkon-haltigen Mineralien wird Zirkonoxid üblicherweise durch Verschmelzung mit Koks und Kalk gewonnen. Für die Herstellung von „Dental-Zirkonoxid“ wurde jedoch eine modifizierte Synthesemethode entwickelt. DequDent gibt seinem Zirkonoxidlieferanten, einem weltweit führenden Anbieter, strenge Spezifikationen vor. Jede Char-

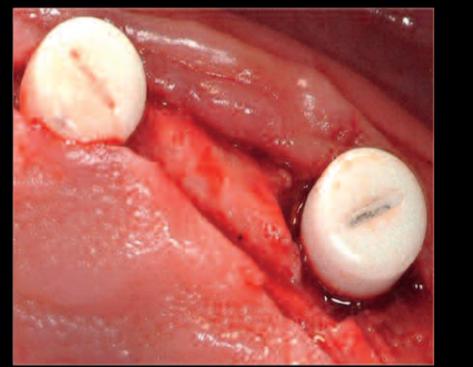
Angiogenese:

- Bildung neuer Kapillaren
- steuert Gesundheit parodontaler Gewebe
- Parodontopathien führen zur vermehrten Ausschüttung von Entzündungsmediatoren, die wiederum den Vorgang der Angiogenese verstärken



Immunohistologische Entzündungsmarker:

- Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF)
 - Nitric Oxide Synthase (NOS) expression
 - Proliferative activity (Ki 67)
 - Microvessel density (MVD)
- CERCON® signifikant < Entzündungsmarker



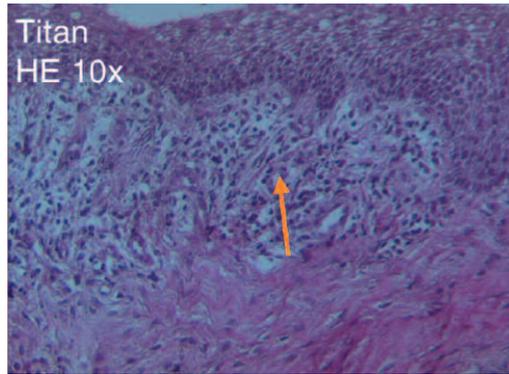


Abb. 10 Vergleich des periimplantären Weichgewebes bei Verwendung von Heilkappen aus Titan bzw. alternativ dazu aus Zirkonoxid – zunächst Titan: Im Bereich der Submucosa hat sich ein entzündliches Infiltrat gebildet, das aus Lymphozyten und einer großen Zahl von Blutgefäßen besteht.

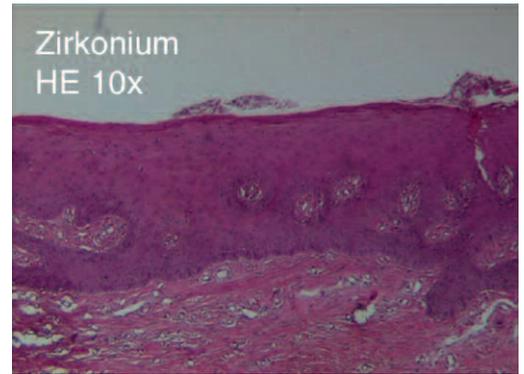


Abb. 11 Zum Vergleich Zirkonoxid: Im Bereich der Submucosa kommt es zu keinen Entzündungs-Erscheinungen [8]

ge wird zusammen mit einem externen Institut auf ihre Qualität überprüft. Die unternehmenseigenen Produktionsanlagen und Produktionsschritte am Standort Hanau hat der Hersteller nach dem Medizinproduktegesetz zertifizieren lassen (EN ISO 13485); jährlich führt die DEKRA eine Auditierung durch. Im Übrigen erfolgt eine Qualitätssicherung nach EU- bzw. FDA-Standards (Food and Drug Administration, USA).

Das Gerüstmaterial Cercon base enthält zirka 5 Prozent Yttriumoxid zur Stabilisierung, weniger als 2 Prozent Hafnium-

oxid, einen natürlichen Begleiter von Zirkonoxid, und weniger als 1 Prozent Aluminiumoxid plus Siliciumoxid, was durch ein Hersteller-Zertifikat bescheinigt wird. Die Feinkörnigkeit liegt nach dem Sintern bei etwa 300 Nanometern (= Millionstelmillimeter). Auch die Belastung des Materials mit radioaktiven Isotopen befindet sich dank der Herkunft des Zirkons aus einem besonders uranoxid- und thoriumoxidarmen Vorkommen weit unterhalb des Normwertes der natürlichen Strahlung, was durch Kontrollen in Zusammenarbeit mit dem externen Institut für jede Charge immer wieder bestätigt wird. Die Radioaktivität von einem Kubikzentimeter Cercon base liegt in der gleichen Größenordnung wie die Radioaktivität von einem Kubikzentimeter menschlichem Speichel [4].

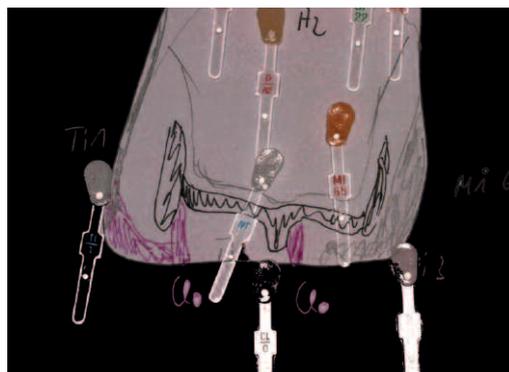
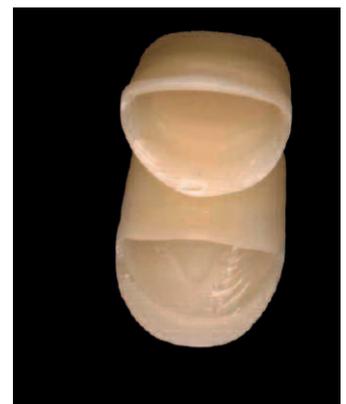


Abb. 12 bis 15
Schritt-für-Schritt-
Herstellung im
Dentallabor



Die Feinkörnigkeit des vorgesinterten ZrO_2 -Weißlings führt zu einer hohen Sinteraktivität, so dass die Temperatur im Sinterofen (Cercon heat) niedrig gehalten werden kann. Im Ergebnis weist das dichtgesinterte Kronen- oder Brückengerüst eine höhere Festigkeit auf als dies bei weniger feinkörnigen Zirkonoxid-Rohlingen der Fall ist. Auch der Anteil an Alu-

miniumoxid, obwohl gering, erfüllt einen wichtigen Zweck: Er verhindert die so genannte Wasserkorrosion, das Eindringen von Feuchtigkeit entlang der Korngrenzen, und verbessert somit nochmals die Langlebigkeit des Gerüsts.

Beim Einsatz von minderwertiger Handelsware, von verschnittenem oder von recyceltem Material, besteht dagegen die Gefahr, dass schwankende chemische Zusammensetzungen, Korngrößen bzw. Korngrößenverteilungen oder eine ungleichmäßige Dichte die Langzeitstabilität der zahntechnischen Arbeit beeinträchtigen und damit den Behandlungserfolg schmälern.

Eignung und Indikationsstellung

Da Zirkonoxidkeramik, wie alle anderen Zahnersatzmaterialien, grundsätzlich eine körperfremde Substanz darstellt, interessiert, abgesehen von Ästhetik und physikalischen Parametern, vom medizinischen Standpunkt aus die Bioverträglichkeit. Die Sicherheit von Cercon ist besonders gut dokumentiert [5, 6]. So weisen unter anderem Mutagenesetests (Chromosomenaberrationstest) und Kanzerogenitätstests (Ames-Test) auf eine gute Bioverträglichkeit des Werkstoffs [5].

Insbesondere beobachtete man am Interface zwischen Zirkonoxid und Knochen bzw. zwischen Zirkonoxid und Weichgewebe keine toxischen Effekte. Zurückführen lässt sich dies zum Teil auf den geringen Grad der Adhäsion zwischen Bakterien und Zahn (bzw. Implantat). Er hängt von der Oberflächenenergie der klinischen Krone (bzw. des Implantataufbaus) und der Bakterien, von der Oberflächenrauigkeit und von der Ionenleit-



Abb. 16 Schritt-für-Schritt-Herstellung im Labor: hier das Zirkonoxidabutment auf dem Modell



Abb. 17 Die fertige Zirkonoxidkrone regio 21 auf dem Modell

fähigkeit des Speichels ab [3]. Die geringe Affinität von oralen Bakterien zu Zirkonoxid hat sich unter anderem in den Studien von Scarano et al. gezeigt [7]. Sie bestätigen eine 40 prozentige Reduktion der bakteriellen Adhäsion auf Cercon- im Vergleich zu Titan-Probenkörpern mit gleicher Oberflächenrauigkeit. Eine vergleichende immunhistologische Untersuchung des vaskulären Wachstumsfaktors, der Tiefe der Entzündung, der Wucherungen und der Dichte der Mikrogefäße um Titan- oder Cercon-Heilkappen zeigte statistisch relevant reduzierte Werte für Zirkonoxid [8]. Diese Daten sprechen für eine verbesserte Langzeitprognose, sind doch der effektive Erhalt des parodontalen und periimplantären Weichgewebeabschlusses in der Mundhöhle, mit geringer Plaqueanlagerung am Zahn bzw. Implantataufbau und an der prothetischen Versorgung, dafür



Abb. 18 Das klinische Prozedere beginnt



Abb. 19 Klinisches Vorgehen: Das Implantat wird freigelegt

essentiell. In besonderem Maße bietet Cercon eine Chance für Patienten mit Vorliebe für metallfreie Versorgungen, für sensible Patienten sowie für den gesamten Bereich der alternativen Zahnheilkunde, wobei unter anderem die Möglichkeit zur konventionellen Befestigung bei Verzicht auf acrylathaltige Adhäsive eine Rolle spielt.

Die Indikation reicht von Kronen über Brücken, was auch geteilte Brücken, Freidendbrücken und Inlaybrücken ein-

schließt, bis zur Implantatprothetik. Mit dem System Cercon sind Brücken mit einer anatomische Länge von bis zu 47 Millimetern bei maximal zwei Zwischengliedern zwischen den Pfeilerkronen möglich. Zur möglichen Höchstspanne schreiben Edelhoff et al.: „Über die Eignung des extrem festen, verwindungssteifen Werkstoffs als Gerüst für weitspannige Brücken über zwei Quadranten wird noch diskutiert.“ [3]

Präparation und Eingliederung

sind nur wenig anders als bei der Metallkeramik. Ebenso wie die industrielle Herstellung und die zahntechnische Anfertigung erfolgt die Präparation werkstoffgerecht. Tangentiale Formen verbieten sich dabei. Statt dessen stellen die Hohlkehle oder die Stufe mit innen gerundeter Kante geeignete Varianten dar. Im Allgemeinen reicht eine marginale Präparations-tiefe von 1 Millimeter bei einem zirkulären Abtrag von 1,5 Millimetern sowie einer



Abb. 20 Das Implantat regio 21, mit einem Pfosten aus Titan versehen



Abb. 21 Der ästhetische Vorteil ist evident: Das konfektionierte Zirkonoxidabutment auf dem Implantat

Abb. 22
Die Suprastruktur
ist eingesetzt



inzisalen bzw. okklusalen Reduktion der klinischen Zahnkrone von etwa 2 mm aus [3].

Die Eingliederung der fertigen Arbeit kann, wie vorstehend bereits angemerkt, meist konventionell mit Zinkphosphat- oder Glasionomerzement sowie Komonomerzement erfolgen. Auch ein provisorisches Befestigen der Restauration ist, im Unterschied zu einigen anderen Vollkeramiken, möglich, sollte aber nur kurzzeitig erfolgen. Lediglich bei Inlaybrücken muss eine adhäsive Befestigung vorgenommen werden. Sie sollte auch im Falle von kurzen klinischen Kronen erwogen werden, um Retentionsverluste infolge kleiner Anbindungsflächen zu vermeiden. Dabei ist stets eine absolute Trockenlegung anzustreben und nur in Ausnahmefällen auf die relative Trockenlegung auszuweichen. Wenn auf Lichthärtung verzichtet werden soll, zum Beispiel in schwer zugänglichen Bereichen, lässt sich dünnfließender, dualhärtender Kompositzement (z.B. Rely X Unicem, 3M Espe, Seefeld) verwenden.

Planung im Team

Die Zusammenarbeit mit dem zahntechnischen Labor gestaltet sich analog der Metallkeramik. Gleichmäßige Unterstützung der Verblendkeramik durch die Konstruktion einer gleichmäßig verkleinerten anatomischen Form, Einhaltung der Empfehlungen zur Gerüstwandstärke und zur Stärke der Verbinder – dies versteht sich von selbst. Bevorzugt wird bereits bei der Planung der Arbeit in Betracht gezogen, dass eine vertikale Zunahme der Dimensionierung eines Verbinders mit der dritten Potenz zur Stabilität beiträgt, während eine horizontale Ausdehnung nur einen linearen Einfluss besitzt [3]. Im speziellen Falle der Doppelkronentechnik unter Verwendung von Cercon-



Abb. 23
Der Vorteil: Gerade im Frontzahnberich lässt sich dank der Transluzenz von Zirkonoxidabutments und -suprastrukturen eine überzeugende Ästhetik erreichen

Primärkronen empfiehlt sich eine Absprache, ob das Verkleben der Galvano-Sekundärstruktur mit der Tertiärstruktur klassisch auf dem Modell oder gemäß dem „Weigl-Protokoll“ spannungsfrei im Mund des Patienten erfolgen soll [9].



Abb. 24 und 25 Ein harmonisches Gesamtbild ist geglückt



Schlussfolgerung

Der Werkstoff Zirkonoxid hat in der Zahnheilkunde neue Perspektiven eröffnet – sowohl im Hinblick auf die Ästhetik als auch auf die Bioverträglichkeit. Wie bei allen zum Ersatz von Körpergeweben verwendeten Materialien bedarf er einer werkstoffgerechten Behandlung. Die entsprechende Qualitätskontrolle erstreckt sich vom Abbau des Rohstoffs über die zahn-technische Herstellung bis zur Eingliederung in den Mund des Patienten, wobei die Unterschiede zu klassischen MK-Restaurationen im Allgemeinen gering sind. Wesentlich ist zum Beispiel die Vermeidung von Zugspannungen, was vor allem durch die vorstehend beschriebenen Präparationsformen erreicht wird. Daneben spielt bei der Eingliederung die Wahl des Befestigungsmaterials eine wichtige Rolle, wobei komfortablerweise in den meisten Fällen auf Harvard-Zement zurückgegriffen werden kann (ohne Kofferdam). Werden diese Details beachtet, ist die Zirkonoxidkeramik Cercon base für dentale Rekonstruktionen eine ideale und verlässliche Basis. ■

Summary

Zirconia as a dental material has opened up new horizons – in terms of aesthetics as well as in terms of biocompatibility. Like all materials used to replace body tissue, zirconia must be treated properly, in keeping with its special characteristics. The quality-control chain ranges from the mining of zirconia-containing ores all the way to the fabrication of the restoration and its subsequent insertion in the patient's mouth. The differences between zirconia restorations and classic metal-ceramic restorations tend to be minor. One important aspect to consider is the avoidance of tensile forces, which is primarily achieved by the shape of the preparation, as described in this article. In addition, the choice of intraoral adhesive to be used for intraoral delivery is also important; conveniently, Harvard cement is suitable for use in most cases (no rubber dam required). If these details are taken into due account, Cercon base zirconia is an ideal and reliable material for dental reconstructions.

Literatur

- [1] Luethy H., Filser F., Loeffel O., Schumacher M., Gauckler L. J., Hämmerle C. H. F.: Strength and reliability of four-unit all-ceramic posterior bridges. *Dental Materials* 21, 930-937 (2005)
- [2] Gehrke P., Kielhorn J.: CERCON(r) Implant abutments: Beauty follows function. *International Magazin Oral Implantol* 2004; 5(3): 6-13
- [3] Edelhoff D., Beuer F., Spiegl K., Gernet W.: Vollkeramische Restaurationen. *DFZ* 11/2006, S. 53-58
- [4] Dermann K.: Mögliche Belastung von Zirkondioxid mit radioaktiven Isotopen. In: *Ganzheitliche Zahn-Medizinische Aspekte*, DeguDent (Hrsg.), Hanau 2006, S. 31-34
- [5] Ferraris M., Verne E., Appendino P., Maisescu C., Krajewski A., Ravaglioli A., Placastelli A.: Coatings on zirconia for medical applications. *Biomaterials* 2000; 21(8): 765-773
- [6] Quirynen M., Bollen C. M. L.: The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature. *J Clin Periodontol* 1995; 22(1): 1-14
- [7] Scarano A., Piattelli M., Caputi S., Favero G. A., Piattelli A.: Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: An in vivo human study. *J Periodontol* 2004; 75(2): 292-296
- [8] Degidi M., Artese L., Pernotti V., Gehrke P., Piattelli A.: A Inflammatory Infiltrate, microvessel density (MVD), nitric oxide synthase (NOS) expression, vascular endothelial growth factor (VEGF) expression, an proliferative activity (Ki-67) in the peri-implant soft tissues around titanium and zirconium oxide healing caps. *J Periodontol*, 2006; 77: 73-80
- [9] Cacaci C., Stachulla G.: Das „Weigl-Protokoll“ - Grundlage für spannungsfreie Suprakonstruktionen. *DZW-ZahnTechnik* 10/04, S. 15-19



Korrespondenzadresse:

Dr. med. dent. Peter Gehrke
Praxis Prof. Dhom & Partner
Bismarckstr. 27
67059 Ludwigshafen
dr-gehrke@prof-dhom.d