

Das Zementieren zirkonoxidkeramischer Versorgungen – Teil 1

Probleme und Lösungen im Labor- und Praxisalltag unter Berücksichtigung der Glaslottechnik



Ein Beitrag von Dr. Tom O. Blöcker und Ztm. Christian Moss, beide Hamburg



Interaktive Lerneinheit mit zwei Fortbildungspunkten nach den Richtlinien der BZÄK-DGZMK unter www.dental-online-community.de

In der heutigen Zeit befinden sich Zahnarzt sowie Zahntechniker in einem Spannungsfeld immer schnellerer Produktentwicklungen, aggressivem Marketing mit wohl klingenden Versprechungen, vornehmlich fehlender klinischer Langzeitstudien und einem nicht zu unterschätzenden Wettbewerbsdruck. Besonders deutlich wird dies beim „Dauerbrenner“ Zirkonoxid und dessen Zementierung. Dieser zweiteilige Beitrag zeigt Probleme auf und versucht, Lösungen anzubieten.

Indizes: Adhäsive Befestigung, Befestigungskomposit, Glaslot, Präparation, Single-Retainer-Brücke, Vollkeramik, Zementierung, Zirkonoxid

Zweifelsohne ist Zirkonoxid ein faszinierendes Material. Mit dem zunehmenden Einsatz in Implantologie und prothetischer Versorgung mehren sich aber nicht nur Indikationen und Kenntnisse, sondern auch die Probleme. Die Einbindung neuer oder die Veränderung bestehender Konzepte im Praxis- beziehungsweise Laboralltag erfolgt unter Zeit- und Kostendruck und ist damit riskant und potenziell fehlerbehaftet. Dauerhafte Misserfolge können sich aber weder Labor noch Praxis leisten. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen eine alio loco angefertigte Versorgung. Hier hat der adhäsive Verbund gänzlich versagt. Die Fehlerquellen sind deutlich erkennbar: die Präparation sowie die Zementierung. Der Kronenblock löste sich bereits durch eine Abformung; weder die Verblockung noch die adhäsive Zementierung konnten die Fehler ausgleichen.

Das werkstoffkundliche und behandlingstechnische Wissen über Zirkonoxid ist umfangreich vorhanden, jedoch sehr widersprüchlich. Für den zeitlich eingespannten Praxis- beziehungsweise Laborinhaber sind



Abb. 1 Zustand nach Abformung – es offenbart sich eine misslungene adhäsive Zementierung. Der Zement befindet sich größtenteils in den verblockten (!) Kronen. Die Innenflächen scheinen beim Zementieren mit Blut kontaminiert worden zu sein



Abb. 2 Die Pfeilerzähne präsentieren sich mit einer lediglich 3 mm Stumpfhöhe und einem großen Konvergenzwinkel. Angetrocknetes Blut ist sichtbar. Die Interdentalräume sind stark entzündet; durch Verblockung ist die Situation schwierig zu reinigen

die einzelnen Aspekte nur schwer zusammen zu führen und zu sortieren. Quantität schlägt hier leider Qualität und die Anwender nehmen dies sehr wohl wahr. Jeder, der sich etwas näher mit dem Werkstoff Zirkonoxid beschäftigt und sich der wissenschaftlichen Literatur und Fortbildungen widmet, wird dies bestätigen. Nachfolgende Beispiele verdeutlichen das Problem: Auf ein und derselben Veranstaltung [Tagung der DGCZ 2005] sprachen Referenten einer Universität

Temperatur:	2380 °C	bis 2370 °C	bis 1170 °C	Raumtemperatur
Kristallstruktur:	Schmelzpunkt	kubisch	tetragonal	monoklin

Abb. 3
Die Kristallstruktur von Zirkonoxid in Abhängigkeit von der Temperatur
(Quelle: AG Keramik)

über das Thema „Zementierung oxidkeramischer Restaurationen“ und kamen zu exakt gegensätzlichen Aussagen (Tagung DGCZ 2005). *Frankenberger* stellte fest, dass die adhäsive Befestigung von Zirkonoxidgerüsten keinerlei Vorteil habe, während *Reich* einen deutlichen Vorteil des adhäsiven Zementierens mittels Ätzen, Sandstrahlen und Silanisieren sah [1].

Für fast jede Fragestellung gibt es zahlreiche Studien, die zu diametral gegensätzlichen Aussagen kommen. Dies geht so weit, dass in einem von uns sehr geschätzten Grundlagenwerk zu Oxidkeramiken [2] konträre Aussagen zur tribochemischen Silikatisierung getroffen werden und zwar unter Zitierung der gleichen Studien! Zitat von Seite 61: „Während die tribochemische Silikatisierung mit anschließender Silanisierung auf der glasinfiltrierten Aluminiumoxidkeramik (...) einen guten und dauerhaften Verbund ergab, waren die Ergebnisse auf dicht gesinterten Zirkoniumoxidkeramiken nicht so zuverlässig.“ Als Nachweis werden Studien von *Friedrich* und *Kern* [3] sowie *Kern* und *Wegner* [4] angeführt. Auf Seite 151 liest man: „In den letzten Jahren wurde in verschiedenen Studien nachgewiesen, dass (...) durch tribochemisches Silikatisieren sowie nachfolgender Silanisierung und Verklebung mit einem dual härtenden Bis-GMA/UDMA-Komposit (...) ein zuverlässiger Verbund zu erreichen ist.“ Angeführt werden unter anderem die beiden oben genannten Studien. Was soll der Praktiker hiervon halten? Etwas provokant, aber treffend hilft *Ernst Houschka* weiter: „Was nützt es dem Menschen, wenn er Lesen und Schreiben gelernt hat, aber das Denken anderen überläßt?“

In diesem Sinne soll das Thema „Befestigung von Zirkonoxid-Restaurationen“ einer intensiveren Betrachtung unterzogen werden.

Grundlagen Zirkonoxid

Eine saubere Begrifflichkeit ermöglicht eine erfolgreiche Kommunikation. Man sollte meinen, dass dies eine Selbstverständlichkeit ist, aber bereits hier gibt es Probleme. Von Zirkon, Zirkonium, Zirkoniumoxid bis zu Zirkoniumdioxid und Zirkonoxid hört und liest man alles. Welches ist nun aber die korrekte Bezeichnung? Während Zirkon ein Mineral und Zirkonium ein ungiftiges Schwermetall sind, ist Zirkoniumoxid nicht existent und damit ein fehlerhafter Begriff. Richtig wäre eigentlich Zirkoniumdioxid, doch keiner sagt „Di-Aluminium-

Trioxid“. Die Konsensuskonferenz der CAD4practice-Expertenrunde empfiehlt deshalb, die Bezeichnung „Zirkonoxid“ zu verwenden.

Zirkonoxid ist eine Oxidkeramik und hat eine herausragende mechanische Langzeitfestigkeit, die derjenigen konventioneller Dentalkeramiken weit überlegen ist [5, 6]. Die hochfeste Strukturkeramik unterscheidet sich von den Silikatkeramiken – neben der Festigkeit – in einem weiteren bedeutenden Punkt: Sie enthält keine Glasphase! Aufgrund dessen stehen keine Reaktionspartner für einen effektiven Ätzprozess und die Anwendung der Silanisierung zur Verfügung [7 bis 10]. Um diesen für eine erfolgreiche Zementierung von Restaurationen aus Zirkonoxid eminent wichtigen Punkt zu verstehen, rufen wir uns die Grundlagen der Silanisierung in Erinnerung:

Silane sind Zwittermoleküle, die mit ihrem organischen Anteil an die Matrix des Komposits binden und mit ihrem anorganischen Teil über Si-O-Bindungen mit den Gläsern in der Keramik reagieren [11]. Die tribochemische Silanisierung bezeichnet das Aufbringen einer Silikatschicht mittels Spezialstrahlmittel unter hohem Druck (knapp 0,3 MPa) und damit hoher kinetischer Energie mit anschließender Aufbringung eines Haftsilans. Hierbei wird bei Silikat- und Aluminiumoxidkeramiken vermutlich die Glasphase entfernt und dadurch eine Verankerung der Silikatschicht in den Mikroporositäten bewirkt [12]. Da Zirkonoxid genau diese Glasphase fehlt, erstaunt es nicht, dass bereits mehrere Autoren zu dem Ergebnis kommen, dass die Silanisierung auf Zirkonoxid nicht zuverlässig funktioniert [13, 14, 3, 4]. Doch auch hier existieren genau gegensätzliche Erkenntnisse [15 bis 17].

Das Abstrahlen von Zirkonoxid-Gerüsten mittels hohem Druck stellt ein weiteres Problem dar. Hierzu ist erneut ein Ausflug in die Werkstoffkunde erforderlich: Zirkonoxid hat die spezielle Eigenschaft, bei unterschiedlichen Temperaturen in unterschiedlichen Kristallphasen vorzuliegen. Man unterscheidet monoklin, tetragonal und kubisch (Abb. 3).

Diese so genannte Phasentransformation findet bei reinem Zirkonoxid spontan statt. Bei der Abkühlung von Sinter- auf Raumtemperatur wandelt sich die Kristallstruktur von tetragonal nach monoklin unter einer

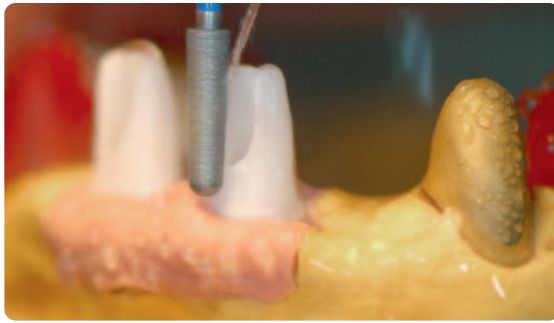


Abb. 4 Die Bearbeitung von Keramikroni mit wassergekühlter Turbine und speziellen Diamantschleifern nach Moss

Volumenzunahme von 3 bis 5 Prozent. Das führt zu Rissbildungen. Reines ZrO_2 ist daher für die Gerüstherstellung in der Zahntechnik nicht geeignet, sondern wird mit Fremdoxiden, wie zum Beispiel Yttrium, verstärkt. So wird eine spontane Phasenumwandlung verhindert. Dieser Prozess wurde von Garvie et al. 1975 als Phasentransformationsfestigung beschrieben [18].

Aber auch das verstärkte Zirkonoxid (Y-TZP = Yttria-stabilized-Tetragonal-Zirconium-Polycrystal) reagiert bei externer Energiezufuhr. So führt das Beschleifen zu einer verstärkten Phasentransformation in die monokline Phase (Volumenzunahme) und damit zur Bildung von Mikrorissen. Dies beeinflusst die physikalischen Eigenschaften der Keramik negativ [19 bis 21]. Das Abstrahlen mit hohem Druck stellt ebenfalls eine Zufuhr hoher kinetischer Energie dar und müsste erwartungsgemäß zu einer Schädigung des Gerüsts führen. Einige Autoren fanden aber eine Festigkeitssteigerung durch Korundstrahlen von ZrO_2 -Gerüsten [18,22,23].

Wie ist das zu erklären? Anscheinend wurde übersehen, dass es sich um ein kurzfristiges Phänomen mit erheblicher Mikroschädigung der Zirkonoxid-Oberfläche handelt. Andere Autoren wiesen nach, dass die wichtige Langzeitfestigkeit durch a) Impaktion von Al_2O_3 -Partikeln in die Oberfläche mit Rissbildung sowie b) die damit auftretende, unerwünschte t/m-Phasenumwandlung reduziert wird. So sind Zhang et al. und Deville et al. der Ansicht, dass das ZrO_2 -Gerüst nicht mit hohem Druck gestrahlt werden darf; die einsetzende, unerwünschte Phasenumwandlung lässt den WAK-Wert unzulässig absinken und das Gerüst wird um 20 bis 30 Prozent geschwächt. Dies wiederum kann zu nachträglichen Sprüngen an der Verblendung führen. Glätte und Unversehrtheit der Oberflächen des gesinterten Gerüsts seien daher entscheidend für die Biegefestigkeit bei Ermüdungsbelastung [24,25]. Rothbrust et al. fanden einen klaren Vorteil hinsichtlich Chipping und Verbundfestigkeit, wenn nicht gestrahlt wurde. Es konnte eine deutliche Schwächung des Ver-

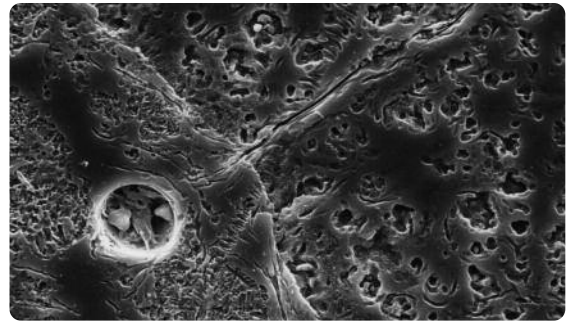


Abb. 5 Ursache für diesen Mikroriss in der Oxidkeramik ist ein Fremdkörpereinschluss in der Keramik (mit freundlicher Genehmigung DCM, Rostock)

bundsystems nach Sandstrahlen nachgewiesen werden [26]. Dies sieht auch ein Keramikhersteller so: „... eine Vergrößerung der Retention durch Bestrahlen mit Korundpartikeln (Aluminiumoxid) schädigt die Keramik und ist daher kontraindiziert“ [27].

Wir sind deshalb dazu übergegangen, die Gerüste lediglich im Sinne eines Reinigungsstrahlens mit 0,05 MPa und 50 μm zu bearbeiten. Auch die Nachbearbeitung mit Schleifwerkzeugen ist möglichst zu unterlassen. Lässt es sich nicht vermeiden, werden Nachbearbeitungen nur mit einer Turbine unter ausreichender Wasserkühlung vorgenommen [28,29]. Besonders wichtig erscheint dies bei der Fräsung der Primärkoni bei der Vollkeramik-Galvano-Konus-Technik, wie von Blöcker 2005 beschrieben. Hierbei ist eine invasive Bearbeitung der Keramikroni erforderlich [30] (Abb. 4).

Von einigen Seiten wird Zirkonoxid gern mit Begriffen wie das „weiße Gold“, „der weiße Stahl“, „korrosionsresistent“, et cetera betitelt. Der Anwender läuft Gefahr, Zirkonoxid als metallähnlich zu betrachten und Eigenschaften, Behandlungsabläufe und Präparationstechnik aus der VMK-Technik eins zu eins auf Oxidkeramik übertragen zu wollen. Zirkonoxid hat mit Gold oder Stahl so gut wie nichts gemein. Und einer der genannten Termini trifft definitiv nicht zu: Korrosionsresistenz. Ganz im Gegenteil: Auch Oxidkeramiken unterliegen im korrosiven Milieu einem Ermüdungsprozess; allerdings – anders als bei Metallen – durch unterkritisches Risswachstum und Spannungsrissskorrosion [31 bis 33,5] (Abb. 5). Bei Dauerbelastung reduziert sich dadurch die Festigkeit einer keramischen Restauration um etwa die Hälfte [34-36].

Unter dem Aspekt der Langzeitbeständigkeit von Y-TZP in der für Keramik lebensfeindlichen Mundhöhle ist daher eine möglichst unversehrte Gerüstoberfläche wichtig. Die Abbildungen 6a und b zeigen ein von Moss entwickeltes Equipment. Es besteht aus einer Turbine mit einer drehzahlunabhängigen Wasserzufuhr, um auch bei niedrigen Drehzahlen eine ausreichende

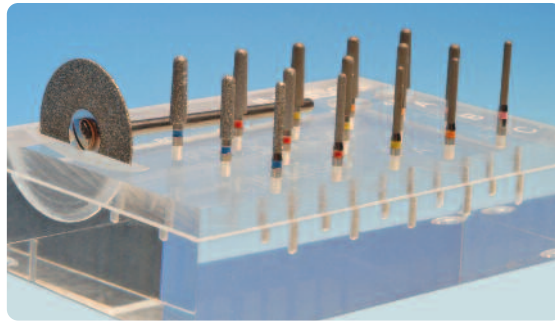
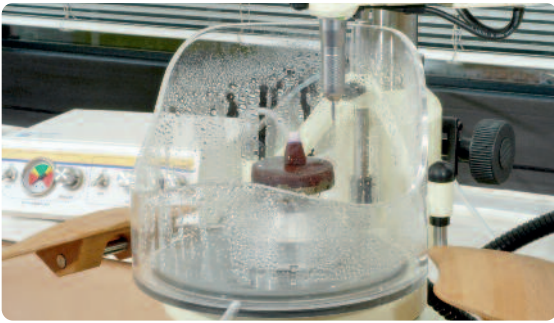


Abb. 6a und b Turbine und Steuergerät mit drehzahlabhängiger Wasserkühlung sowie Spezialdiamanten nach Moss



Abb. 7 Extremer Hochglanz auf Keramikroni nach Endfinierung

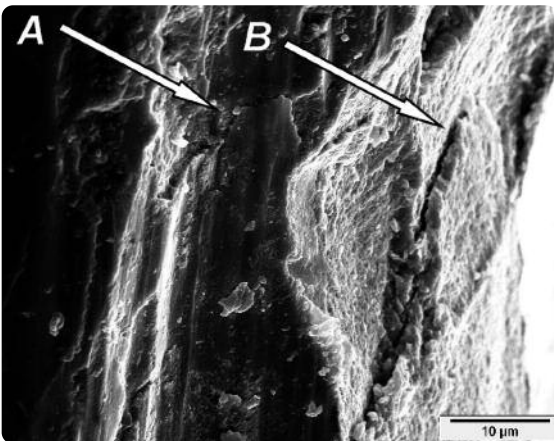


Abb. 8b) Schädigungen an der oberen Kante des Implantatkopfes. Die Rissbildung (A) reicht über viele Korngrenzen hinweg und führt zur späteren Absprengung des Bereiches. Der Riss (B) ist über 40 µm lang

Kühlung zu erreichen. Die zugehörigen Spezialdiamanten mit einer Rauftiefe von 80 bis 4 µm erzielen ohne hohen Druck einen extremen Hochglanz (Abb 7).

Aufgrund der Metastabilität der tetragonalen Phase bei Raumtemperatur ist Zirkonoxid unter feuchten Bedingungen anfällig für eine vorzeitige Alterung [37]. Ausmaß und Verlauf des Alterungsprozesses werden außerdem durch Oberflächenstruktur und -bearbeitung bestimmt [25]. Die Langzeitstabilität könnte durch Feuchtigkeit gefährdet sein [38,39]. Ein reales Beispiel zeigt, dass dies nicht nur Theorie ist: 2001 versagten innerhalb kürzester Zeit 400 Hüftköpfe aus Y-TZP alterungsbedingt [40], weil der Hersteller eine Veränderung

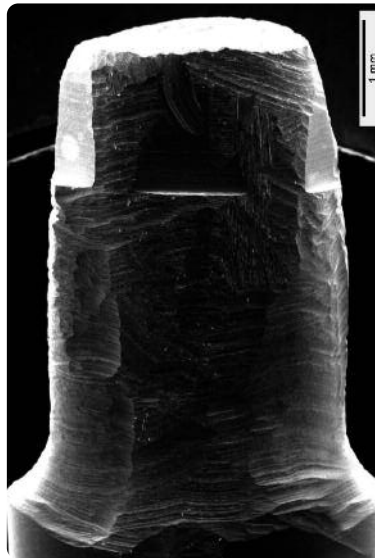


Abb. 8a Beschädigung der Zirkonoxid-Oberfläche durch unsachgemäße Bearbeitung. Der Implantatkopf wurde nach der Insertion mit einem Diamanten präpariert (mit freundlicher Genehmigung der Ziterion GmbH)

bei der Produktion dieser Charge vorgenommen hatte. Um den Alterungsprozess unter Feuchtigkeit möglichst zu unterbinden, wird dem Zirkonoxid Al_2O_3 mit einem Anteil von < 5 % zugesetzt. Die Langzeitstabilität wird so signifikant erhöht [39]. Die korrekte Bezeichnung für das in der Zahnmedizin verwendete Zirkonoxid müsste daher lauten: 3Y-TZP-A2.

Grundlagen Zementierung

Verschiedene Autoren empfehlen aufgrund der begrenzten mechanischen Belastbarkeit von Glaskeramiken die adhäsive Befestigung [41 bis 43]. Die signifikant höhere Belastbarkeit durch adhäsive Befestigung ist nachgewiesen [44,45]. Hierbei handelt es sich um die schmelzadhäsive Befestigung. Komposit-Klebeverbindungen bei der dentinadhäsiven Befestigung von Kronen und Brücken aus Zirkonoxid hingegen bringen bis dato keinen wissenschaftlich nachgewiesenen Vorteil [46,1]. Die aufgrund des fehlenden Schmelzes zu befürchtende Polymerisationsschrumpfung birgt die Gefahr von Randspalten [47]. Doch trotzdem wird die adhäsive Zementierung von Zirkonoxid-Restaurationen immer wieder ins Gespräch gebracht. Es wird vermutet, dass bei limitierter Stumpfretention oder sehr hohen intraoralen Kräften Vorteile bestehen könnten [12].



Abb. 9a Dieses Beispiel demonstriert, dass eine supragingivale Präparation unästhetisch wirken kann



Abb. 9b Die selbige Krone korrekt platziert

Betrachten wir die Grundlagen der adhäsiven Befestigung. Möglich wurde diese durch die Einführung der Säure-Ätztechnik durch *Buonocore* im Jahr 1955 [48] und der Bis-GMA-Kunststoffe durch *Bowen* 1962 [49]. Die bekannten Voraussetzungen für die adhäsive Befestigung sind:

1. die absolute Trockenlegung mit Kofferdam,
2. die konditionierte Oberfläche des Zahnes und
3. die konditionierte Oberfläche der Restauration.

Kofferdam

Eines der beliebtesten Streitthemen in der deutschen Zahnheilkunde scheint der Kofferdam zu sein. Die Diskussion hierüber ist unserer Meinung nach unnützlich. Es ist unbestritten, dass die Verwendung von Kofferdam gravierende Vorteile bietet:

- Schutz des Patienten vor Aspiration oder Verschlucken von kleinen Fremdkörpern
- Schutz der Weichgewebe
- Trockenes und übersichtliches Arbeitsfeld
- Infektionsprophylaxe für Patient und Zahnarzt
- Möglichkeit, das Arbeitsfeld zu desinfizieren
- Zeitersparnis.

Viele Autoren empfehlen explizit die Anwendung eines Kofferdams [50-52]. Denn Speichel, Blut und Sulcusflüssigkeit verringern die Haftkraft adhäsiver Restaurationen und werden durch Kofferdam zuverlässig abgehalten [53].

Bei genauerem Nachdenken stellen sich allerdings folgende Fragen: Woher kommen eigentlich Blut und Speichel auf der Restauration? Wurde vor der Versorgung keine suffiziente PZR- und/oder PA-Behandlung vorgenommen? Wer verletzt die Gewebe so stark, dass Blut fließt? Und was für eine Rolle spielt die Sulcusflüssigkeit bei korrekt präparierten Kavitäten für die Zementierung einer schmelzadhäsiven Restauration? Warum kann man nicht mit einer suffizienten relativen Trockenlegung den Speichel vom Zahn fernhalten? Zementiert der Behandler ohne Assistenz große, subgingival präparierte „Keramikstraßen“ nach der Entfernung überdimensionierter Provisorien?

Kofferdam wird auch kritisch betrachtet. Es bedarf eines deutlich höheren klinischen Aufwands als bei der konventionellen Vorgehensweise. Bei der Verwendung gibt es eine Vielzahl potentieller Fehlerquellen [54], die Technik ist kostenintensiv und zeitaufwändig [55], techniksensitiv und wird häufig kritisiert [56,57]. Sowohl *Schäfer* [58] als auch *Schneemann* [59] sind der Ansicht, dass eine absolute Trockenlegung durch Kofferdam nicht erreicht werden kann. Denn: Dentin ist immer feucht [60]. Pulpadruck (20 bis 30 mm Hg) sowie intertubuläre Permeabilität lassen den Dentinliquor ständig nach außen strömen. *Kunzelmann* stellt fest, dass eine absolute Trockenlegung für moderne Komposite bei der Verwendung hydrophiler Dentinadhäsive nicht notwendig ist [61]. Eine dogmatische Kofferdampflpflicht für die adhäsive Zementierung erscheint uns nicht sinnvoll.

Bei der Zementierung von Zirkonoxid-Restaurationen spricht ein weiterer Punkt gegen die Kofferdamanwendung: In der Regel handelt es sich um Kronen und Brücken. Um Kofferdam anwenden zu können, muss supra-gingival präpariert werden. Dies wird immer wieder gefordert, widerspricht aber jedweder Alltagsrealität. Zitat aus einer Dissertation, in der exakte Arbeitsprotokolle zu erwarten sind: „Für beide Befestigungsarten ist nach Möglichkeit die absolute Trockenlegung mittels Kofferdam vor der Zementierung anzustreben. Dennoch ließ die klinische Situation, unter anderem durch die oft subgingivale Lage der Präparationsgrenze, dies meist nicht zu, so dass Maßnahmen zur relativen Trockenlegung mittels Watterollen und Retraktionsfäden (...) getroffen wurden“ [62]. Den erfahrenen Behandler überrascht dies wenig. Aus unserer Sicht sind supra-gingivale Präparationen unästhetisch. Einen sich durch den „Chamäleoneffekt“ an die Wurzelfarbe anpassenden Keramikrand haben wir bisher noch nie gesehen (Abb. 9a und b). Außerdem ist die Forderung selten sinnvoll, denn die Präparationsgrenze folgt dem Defekt! Unser Behandlungskonzept sieht vor, nur wenig gesunde Zahnschubstanz zu präparieren. Nochmals sei aus der oben genannten Dissertation zitiert: „Für den Präparationsrand wird immer wieder eine supra- oder

zumindest äquigingivale Lage gefordert. (...) Trotz dieser offenkundigen Vorzüge war es im klinischen Alltag nur selten möglich, diese Forderung einzuhalten, da die Lage der Präparationsgrenze immer den lokalen Gegebenheiten, also in den meisten Fällen der Defektausdehnung, angepasst werden musste.“ In Zahlen ausgedrückt: Von 233 Zähnen konnten für diese Dissertation lediglich 13 Zähne supragingival präpariert werden. Dies entspricht 5,58 Prozent. Ebenfalls interessant: Sechs Kronen dezementierten sich – drei waren adhäsiv und drei konventionell befestigt [62]. Grundsätzlich sehen wir den Kofferdam als sinnvoll an, jedoch nicht aus Gründen der absoluten Trockenlegung. Bei der Zementierung von Kronen und Brücken mit äqui- bis subgingivaler Präparation ist er nicht notwendig.

Konditionierung der Zahnoberfläche

Es erleichtert das Verständnis, wenn wir uns vor Augen führen, mit welchen Geweben wir es zu tun haben. Es sind Schmelz und Dentin und sie können gegensätzlicher nicht sein. Schmelz ist zu 96 % anorganisch (Apatitkristalle = Schmelzprismen) und 4 % organisch (Protein und Wasser). Dentin besteht zu 50 % aus anorganischer, zu 30 % aus organischer Substanz (Kollagen) und zu 20 % aus Wasser [63]. Hieraus ergeben sich für die Zemente unterschiedliche Haftmechanismen.

Die Grundlage der Säure-Ätz-Technik (Haftung an Schmelz), ist die unterschiedliche Löslichkeit der Zentren und Peripherien der Schmelzprismen. Die Haftung an Dentin ist ein völlig anderer Prozess. Die Dentinhaftung kann durch den Erhalt und die Einbeziehung des bei Präparation entstehenden Smearlayers [64] oder durch die Entfernung desselben geschehen [65]. Die Entfernung der Kollagenbarriere ist Standard. Bei der Entfernung der Schmierschicht unterscheidet man zwei Möglichkeiten:

- Die vollständige Schmierschichtentfernung durch Konditionierung mit Säuren (zum Beispiel 30 bis 40%ige H_3PO_4 , Maleinsäure) oder Komplexbildner (EDTA).
- Die Wiederausfällung der gelösten Schmierschichtbestandteile bei Verwendung maleinsäurehaltiger Primer.

Seit 1965 wird an der Entwicklung suffizienter Dentinadhäsive gearbeitet. Heut sind wir in der siebten Generation. Nach vierzig Jahren jedoch, sind noch immer die Adhäsive der dritten Generation führend. Das Hauptproblem bei den Dentinadhäsiven ist die Techniksensibilität. Zu starkes Trocknen bewirkt ein Schrumpfen der Dentinmatrix [66,67] und die kollabierte Faserschicht wirkt als Diffusionsbarriere für das Monomergemisch [68, 58]. Ein zu kurzer Abstand des Luftbläfers ist eben-

falls schlecht für die Haftkraft [67], während zu wenig Trocknen selbiges Resultat mit sich bringt. In der Praxis reproduzierbare klinische Ergebnisse im Sinne eines immer gleichen Trocknungsgrades mit gleichem Luftdruck, Abstand des Luftbläfers, Luft- und Adhäsivmenge und Trocknungszeit zu erreichen, ist unrealistisch. Und selbst wenn es gelänge, scheitert die Sache an einem weiteren Problem: Der Beschaffenheit des Dentins in Abhängigkeit von kariösen Prozessen, dem Alter des Patienten und der Nähe zur Pulpa. In Pulpennähe findet sich eine erhöhte Anzahl von Dentintubuli (28 %), während es schmelznah nur 4 bis 10 % sind [69]. Damit kommt es in Pulpennähe zu einem vermehrten Liquorausstritt [70,58]. Bei älteren Patienten findet sich eine Zunahme von sklerosiertem Dentin. Damit ergibt sich eine Verringerung der Haftwerte, weil dieses Dentin weniger säurelöslich ist [71,58]. Diese Unregelmäßigkeiten beeinflussen in erster Linie die adhäsiven Einsetzzemente, die einen chemischen Verbund zu den Zahnhartsubstanzen eingehen [72,73].

Konditionierung der Restauration

Das Konditionieren einer Keramikoberfläche kann durch Ätzen, Sandstrahlen und Silanisieren erfolgen. Betrachten wir die bisherigen Ausführungen, wird klar, dass Zirkonoxid weder mit Silikat- noch mit Aluminiumoxid-Keramiken verglichen werden kann. Aufgrund der fehlenden Glasphase ist das Ätzen nicht möglich und Silanisieren und tribochemische Silikatisierung funktionieren nicht beziehungsweise nicht zuverlässig. Das Korundstrahlen mit hohem Druck ist umstritten und auch deshalb scheidet die tribochemische Silikatisierung aus. Abgesehen davon ist sie zeitaufwändig und teuer.

Auch Kleber mit aktiven Monomeren wie zum Beispiel Panavia erfordern eine Korundstrahlung mit hohem Druck. Während einige in vitro-Studien für diese Art der Befestigung über gute Ergebnisse berichten [4,74,75], zeigen andere Untersuchungen, dass die geforderten klinischen Haftkräfte nicht erreicht wurden. In der Untersuchung von *Langrieger* erzielten Multilink Sprint (pur oder mit Rocatec) sowie Variolink II mit Rocatec nach 90 Tagen Wasserbad die höchsten Scherfestigkeitsswerte (>35 MPa). Die geringsten Haftwerte (<6 MPa) wurden bei Maxcem, Variolink II (pur) und Panavia F2.0 mit ED Primer II festgestellt. Alle anderen Gruppen lieferten Werte zwischen 16 und 26 MPa [76]. *Derand* und *Derand* gaben für ihre Haftfestigkeitsuntersuchungen auf Zirkonoxid nur die klinisch gesicherte Möglichkeit mit Superbond C&B mit Scherwerten von $19,5 \pm 2,1$ an, während Panavia und Twinlock den Test mit $8,9 \pm 1,1$ und $8,9 \pm 1,0$ MPa nicht bestanden [8]. In der Untersuchung von *Behr* [2011] konnte kein einziges Befestigungsprotokoll die geforderten Haftkräfte

von 10 MPa erreichen [77]. *Okutan* et al. fanden in vitro keinen signifikanten Unterschied zwischen Ketac-Cem und Panavia in Bezug auf Bruchlast und Randspaltverhalten [78] und in einer Dissertation fand sich – nicht signifikant – bei Bruchlastversuchen an Carrara Press-Kronen für Harvardzement eine höhere Haftkraft als für Panavia 21 [79]. Neuerdings gibt es Hinweise, dass bei Verwendung siliziumorganischer Vorbeschichtungen kein dauerhafter Verbund erreicht wird [10]. Besonders problematisch scheint dies bei der Verklebung von Titanabutments mit individuellen Zirkonoxid-Aufbauten zu sein, deren Verbund bei einem Hersteller nach drei bis vier Jahren in hoher Zahl versagte [80]. Noch nicht veröffentlichte Ergebnisse einer von *Tinschert* im Auftrag der Firma DCM (Rostock) vorgenommenen Verbundfestigkeitsuntersuchung unter Mundbedingungen deuten in die gleiche Richtung. Die Fügung titan- und zirkonoxidbasierter Verbundkörper mittels Keramiklot (Hotbond Plus und Zirconnect) mit 78 MPa beziehungsweise 72 MPa, war dem Kleben mit Panavia 2.0 mit 29 MPa überlegen [81].

In vitro-Studien

Die zahlreichen in-Vitro-Studien zur Haftkraftmessung an Zementen sind kritisch zu betrachten, da sie kaum untereinander vergleichbar sind, reale klinische Bedingungen nicht abbilden können und im Sinne reproduzierbarer Ergebnisse sogar bewusst ausklammern. Dazu ein Zitat aus einer Dissertation zur Bestimmung der Haftkräfte von Zementen: „Bei natürlichen Zähnen sind nach *Prati* [1998] die Haftungswerte der Zemente am Dentin stark abhängig von der Beschaffenheit des Dentins. Sklerosiertes Dentin, zu feuchtes oder trockenes Dentin zum Beispiel verringert die Haftung der Kunststoffzemente am Dentin. Der Abstand der Dentinoberfläche zur Pulpa, also die Dentindicke, bestimmt die Weite der Dentintubuli und damit die Haftkräfte [*Schaller* et al. 1994]. Diese zusätzlichen und schwer kontrollierbaren Einflussfaktoren sollten in der Versuchsreihe umgangen werden“ [82]. Die Variablen, die die Haftkraft beeinflussen, sind vielfältig:

- der Versuchsaufbau,
- die Art der Testkörper (natürliche Zähne oder Metallstümpfe),
- die Art der Keramik/Legierung,
- die Lagerung der Zähne (Austrocknung),
- die Größe der Retentionsfläche,
- der Konvergenzwinkel,
- der Befestigungszement und
- das Anmischprozedere [83,84,73,85-88].

Schafhausen kommt zur Ansicht, dass die erreichte Retentionskraft der getesteten Zemente nur innerhalb einer Arbeit oder nur mit einer Arbeit mit exakt iden-

tischem Versuchsaufbau verglichen werden kann. Selbst wenn Abzugswerte von ähnlichen Versuchsaufbauten herangezogen werden, differieren die erreichten Werte stark. Für Ketac Cem ließen sich in diversen Arbeiten mit einem ähnlichen Versuchsaufbau Abzugswerte in einem Bereich von 2,6 bis 6,2 MPa, für Dyract Cem Werte zwischen 1,85 bis 17,8 MPa, und für Rely X Unicem Werte zwischen 2,5 bis 14,5 MPa finden [89-97]. Es können lediglich Tendenzen mit dem Vergleich unterschiedlicher Arbeiten gewertet werden [98]. Auch *Kern* und *Wegner* sind der Ansicht, dass in vitro-Studien vorsichtig zu interpretieren sind und klinische Studien nicht ersetzen können [4].

Klinische Studien

Wie sieht es mit klinischen Studien in Bezug auf Zirkonoxid aus? Die Recherche über PubMed/Medline sowie die Handrecherche brachte 175 Arbeiten zu Tage, von denen 25 Abstracts die Kriterien erfüllten (klinische Studie über ZrO₂-Brücken und/oder -Kronen). Zwei Studien untersuchten nur Kronen, zwei andere Kronen und Brücken und 21 Arbeiten untersuchten nur Brücken. Zwei Studien waren Nachuntersuchungen der gleichen Arbeiten nach einem längeren Zeitraum. Erstaunlicher Weise wurden in 16 Arbeiten die Brücken ausschließlich konventionell, in drei Studien sowohl konventionell als auch adhäsiv und in lediglich einer Arbeit nur adhäsiv zementiert. In drei Abstracts fanden sich keine Angaben zur Zementierung. Auffällig ist die Studie von *Sailer*, in der 15,2 % Chipping und 21,7 % Sekundärkaries auftraten. Hier handelte es sich um einen Cercon-Prototyp mit einer damals noch unpräzisen Passung. Dies konnte durch die Adhäsivzemente Variolink und Panavia nicht ausgeglichen werden. Lediglich vier Studien konnten über fünf Jahre geführt werden. Studien über Einzelkronen aus Zirkonoxid gibt es kaum. Insgesamt kann man feststellen, dass die konventionelle Zementierung bevorzugt wurde und gut funktionierte, auch wenn es vereinzelt zu Dezementierungen kam. Von echten Langzeitstudien kann man allerdings nicht sprechen [99-124]. [Eine Aufstellung der Studien ist bei den Autoren dieses Beitrags zu erfragen. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.]

Schauen wir uns Studien über die konventionelle Zementierung von Glaskeramiken wie Inceram oder Empress an. Aufgrund ihrer wesentlich geringeren Bruchfestigkeiten sollten diese eigentlich adhäsiv zementiert werden. Insgesamt zeigt sich, dass sogar Glaskeramikronen und -brücken mit hoher Erfolgsrate konventionell zementiert werden können (Tab. 1). Hier zeigen sich aber auch die Probleme der adhäsiven Zementierung. *Edelhoff* stellt fest, dass es bei adhäsiv befestigten Kronen zu signifikant häufigeren Randverfärbungen ge-

Tabelle 1
Konventionelle
Zementierung von
Glaskeramiken

Pospiech et al. 1999:	Empress-Brücken adhäsiv gegen konventionell zementiert: Kein Unterschied in der Bruchfestigkeit [124]
Edelhoff et al. 2000:	Empress-Kronen adhäsiv gegen konventionell über vier Jahre: 98,1 % zu 97,8 %, kein Unterschied in der Erfolgsrate [125]
Böning et al. 2006:	e.max keine Unterschied in der Erfolgsrate zwischen konventionell zementierter Vollkeramik und VMK über drei Jahre [97 % zu 100 %]. Die konventionell zementierten Lithiumdisilikat-Glaskeramik-Kronen dieser Studie zeigten im Literaturvergleich auch ähnliche Überlebensraten wie adhäsiv befestigte Kronen aus Lithiumdisilikat-Glaskeramik [126]
Kinnen 2007:	Kein Unterschied zwischen Empress 2 adhäsiv und konventionell über 5 Jahre, nicht randomisiert [62]

genüber konventionell zementierten vollkeramischen Kronen kommt. Unter klinischen Bedingungen sei dies oft zu beobachten. Also kann angenommen werden, dass ein optimaler Verbund selten erreicht wird. Es seien somit „microleakages“ entstanden. Adhäsivzemente sollten also nur dann verwendet werden, wenn klinisch optimale Verarbeitungsbedingungen möglich sind. Bei adhäsiv befestigten Kronen zeigten sich etwas schlechtere parodontale Parameter, was auf unvollständig entfernte Überschüsse des adhäsiven Befestigungsmaterials zurückgeführt wurde [126]. Böning ist der Ansicht, dass adhäsive Befestigungen ein aufwändiges klinisches und technisches Procedere darstellen und es Schwierigkeiten bei der Trockenlegung und der restlosen Entfernung von Überschüssen in den Kronenrandbereichen gibt. Neben dem möglichen Kariesrisiko stellten Verfärbungen im Randbereich den hohen ästhetischen Anspruch an die Vollkeramik in Frage [127]. Dem gegenüber stehen die Vorteile einer konventionellen Zementierung:

- einfach, kostengünstig, schnell,
- auch anzuwenden, wenn adhäsives Vorgehen wegen Gefahr der Kontamination mit Blut oder Speichel nicht mehr machbar ist,
- gute Langzeitbewahrung bis zu 20 Jahre [128, 129],
- keine Allergiegefahr.

Fazit aus der Studienübersicht

Weiter zeigt sich, dass sogar Glaskeramikkronen und –brücken mit hoher Erfolgsrate konventionell zementiert werden können (125-127). Aufgrund der Vorteile wie zum Beispiel:

- einfach, kostengünstig, schnell,
- auch anwendbar, wenn die adhäsive Befestigung wegen der Gefahr der Kontamination mit Blut oder Speichel nicht mehr machbar ist,
- gute Langzeitbewahrung bis zu 20 Jahre (130, 131) und
- keine Allergiegefahr

befürworten viele Autoren die konventionelle Befestigung zirkonoxidkeramischer Versorgungen.

Voraussetzungen sind die hohe Festigkeit des Werkstoffes und eine materialadäquate Präparation [132, 133, 12]. Die Forderung nach adhäsiver Befestigung bei unzureichender Retention ist unserer Meinung nach bei dem derzeitigen Kenntnisstand kritisch zu betrachten. Die Kombination einer nicht sinnvoll zu konditionierenden Oberfläche mit einer komplizierten und fehleranfälligen Technik auf unzureichender Stumpfanatomie könnte sich zu einem nicht zu verantwortenden Risiko potenzieren. Bisher zementieren wir daher sämtliche Kronen- und Brückenarbeiten mit ZOP oder GIZ und haben damit seit acht Jahren gute Erfahrungen. Dezementierungen sind eine Ausnahme. Wir achten allerdings auf eine gute Stumpfgeometrie (mindestens 4 mm Länge, möglichst 6 mm, aber maximal 12 Grad Konvergenzwinkel, günstiges Verhältnis von Kronenlänge zur Basis) und eine präzise Gerüstpassung mit 30 µm Spaltraum. Dies erreichen wir durch eine präzise CNC-Fräsmaschine, die wiederum die manuelle Nachbearbeitung auf ein Minimum reduziert. Sinn machen könnte die Adhäsivtechnik für Vollkronen und –brücken nach Schaffung einer konditionierbaren ZrO₂-Oberfläche mittels Glaslottechnik, auf die wir in Teil 2 näher eingehen.

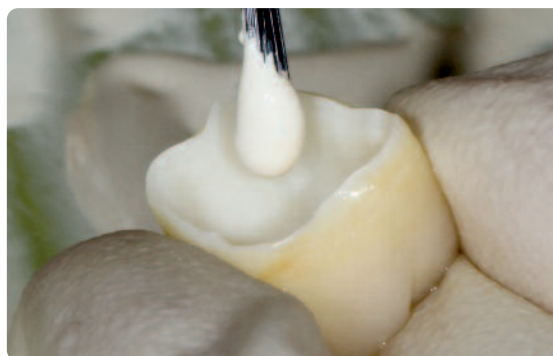


Abb. 10 Einfüllen des Phosphatzements in die mit Phosphorsäure gereinigte ZrO₂-Krone. Der Zement sollte möglichst feinkörnig und von nicht zu fester, sahniger Konsistenz sein.

Zementieren mit Zinkoxid-Phosphatzement (ZOP)

1. Flüssigkeit

- Auf das richtige Verhältnis von Pulver und Flüssigkeit achten. Abweichungen von den Vorgaben beeinflussen Konsistenz, mechanische Festigkeit sowie Löslichkeit und Filmdicke.
- Die Flüssigkeit ist empfindlich gegen Feuchtigkeit. Eine Wasserzunahme beschleunigt die Abbindezeit und reduziert die Verarbeitungszeit. Deshalb sollte die Flüssigkeit erst kurz vor dem Zementieren auf die Glasplatte gegeben und das Fläschchen direkt nach Gebrauch verschlossen werden.

Pulver

- Das Pulver kann aus der Luft CO_2 aufnehmen. Dadurch wird der Zement porös und verliert an Festigkeit. Deshalb muss auch die Pulverflasche direkt nach Gebrauch verschlossen werden.

Verarbeitung

- Lagerung von Spatel, Glasplatte, Zementpulver und -flüssigkeit im Kühlschrank (5-10° C), Entnahme bei Gebrauch
- Verwendung einer großen, dicken, aufgerauten Glasplatte (leitet die Reaktionswärme besser ab als kleine dünne Platten)
- Nur kleine Portion Pulver in die Flüssigkeit einmischen, ausstreichen und zirka 30 bis 60 Sekunden abwarten (verlängert die Abbindezeit).
- Das Gemisch breit ausstreichen, um Reaktionswärme abzuleiten.
- Pulver der Flüssigkeit beimischen, nie umgekehrt. Keine Flüssigkeit nachträglich zur Verdünnung zugefügen.
- Nie auf die richtige Konsistenz durch „Anziehen lassen“ einer zu dünnen Mischung warten!
- Je kühler der Zement, desto langsamer bindet er ab:
bei Raumtemperatur Verarbeitungszeit = 1 Minute und 30 Sekunden, bei -4° C zirka 4 Minuten.

Konsistenz

- Sahnig dünnflüssig, mit Zementspatel zirka 2 cm von der Glasplatte senkrecht nach oben ziehen

Vorbereitung Kronen

- Innenflächen für zehn Sekunden Reinigungsstrahlen (0,05 MPa und 50 Mikrometer) oder eine Minute mit 37-prozentiger Phosphorsäure benetzen.

Vorbereitung Stumpfe

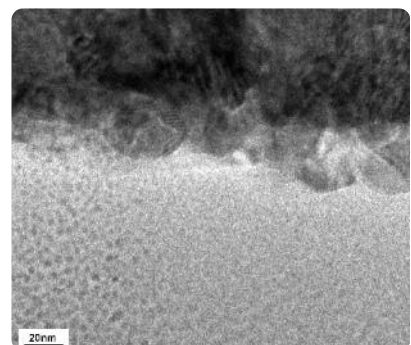
- Politur mit Bimssteinpaste und Reinigung mit drei prozentigem H_2O_2 . Relative Trockenlegung mit Watterollen und Assistenz

Literatur beim Verfasser oder im Internet unter www.teamwork-media.de in der linken Navigationsleiste unter „Journale Online“.

Vorschau auf Teil 2 dieses Beitrags

Während die Autoren im ersten Teil auf die Grundlagen sowie die Studienlage zu Zirkonoxid eingehen, wird Teil 2 dieses Beitrags von praxisbezogenen Lösungskonzepten geprägt sein. Gerade bei minimal- oder noninvasiven Versorgungen wie Teilkronen, Inlay- oder einflügelige Klebebrücken aus Zirkonoxid ist eine schmelzadhäsive Befestigung wünschenswert. Für eine gute mechanische Verzahnung und die chemische Anbindung der Silane ist es jedoch notwendig, dass die Klebefläche ätzbar ist. Mit der Einführung der Glaslottechnik für die Beschichtung und Fügung von Zirkonoxidrestaurationen scheint nun eine interessante Lösung gefunden zu sein [132-134]. Lesen Sie über Indikationen, Anwendung (Patientenfall) und erste Studien zu den Produkten Hotbond, Hotbond tizio connect und ZirConnect.

Aufnahme mit einem Transmissions-Elektronen-Mikroskop: Übergangszone ZrO_2 -ZirConnect am Dünnschliff. Silikatbasierte Spezialgläser ermöglichen eine vollständige Benetzung, spaltfreie Anlagerung und eine Diffusion in die Zirkonoxidoberfläche (Mit freundlicher Genehmigung von Dr. M. Hopp, Berlin)



Über die Autoren

Dr. med. dent. Tom O. Blöcker ist Zahnarzt und Fachzahnarzt für Oralchirurgie. In den Jahren 1982 bis 1987 studierte er Zahnheilkunde in Hamburg. Seine zahnärztliche Approbation und Promotion erfolgte 1988. In den folgenden Jahren, von 1989 bis 1992, absolvierte Tom O. Blöcker eine Weiterbildung für Oralchirurgie. Seit 1994 ist Dr. Blöcker in seiner oralchirurgischen Überweisungspraxis in Hamburg-Bergedorf niedergelassen. In seiner Tätigkeit als Referent überzeugt er seit 1996 von seinem Können. In den Jahren 2000 bis 2003 war er als Schriftführer im Vorstand des NLI und ZE-Gutachter der KZV Hamburg. Dr. Tom O. Blöcker ist Mitglied der DGZMK, DGEEndo, DGFDT, DGI, DGP, BDO und BDIZ EDI sowie der CAD4practice-Expertengruppe. Sein Tätigkeitsfeld umfasst die Implantologie, die Parodontologie, die Mikrochirurgie und -endodontie, die Funktionsdiagnostik und -therapie, die Gesamtrehabilitationen sowie die Vollkeramikrestauration.



Ztm. Christian Moss ist seit 1993 Meister der Zahntechnik. Bereits seit 1987 beschäftigt er sich intensiv mit dem Bereich der Implantologie und entwickelte verschiedene prothetische Hilfsteile (Titanröhren für Bohr- und CT-Schablonen, Schraubenkanal-Finisher). Im Jahr 1990 begann er seine Öffentlichkeitsarbeit und ist seither im Bereich der Implantattechnologie als Referent bekannt und angesehen. Mit seiner Expertise ist er beratend für einige Implantatanbieter tätig. Von 2000 bis 2004 war er Mitinhaber von Sirius Dental Innovations. Heute hat er ein eigenes Dentallabor und ist unter anderem mit der Entwicklung dentaler Geräte (Markennamen IMAGO) beschäftigt. Ztm. Moss ist Mitglied in der dental excellence international laboratory network e.V., der Studygroup Prof. Mick Dragoo, CAD4practice-Expertengruppe sowie im Beirat der Fachgesellschaft für Digitale Zahntechnik e.V.. Außerdem ist er Referent zum Thema Zirkonoxid und der Galvano-Keramikteleskoptechnik sowie Berater und Referent zum Thema „Hot Bond“.

Produktliste

Spezialstrahlmittel	Rocatec	3M Espe
Befestigungskomposit	Panavia	Kuraray
Befestigungskomposit	Multilink Sprint	Ivoclar Vivadent
	Variolink II	
Kompositzement	Maxcem	Kerr Dental
	Superbond C&B	Sun Medical
	Twinlock	Heraeus Kulzer
Glaslot	Hotbond	DCM
	Tizio connect	DCM
	ZirConnect	DCM
Keramikätzung	C-Link	steco Systemtechnik
Diamantschleifer	Imago-Set	steco Sytemtechnik
Verblendkeramik	Creation	Creation Willi Geller
Zirkonoxidgerüst		H.C.Starck
Fräsmaschine	5-Achsfräsmaschine	Primacon
Zink-Oxid-Phosphatzement	Harvard Cement	Harvard Dental



Korrespondenzadresse

Dr. Tom O. Blöcker
 Zahnarzt, FZA für Oralchirurgie
 Chrysantherstraße 35
 21029 Hamburg-Bergedorf
 Fon +49 40 72122 93
 praxis@dr-bloecker.de