



Zusammenfassung

Der Beitrag behandelt die Wahl der optimalen Strategie, mit der die größtmögliche Verbundfestigkeit zwischen einem Reparaturkomposit und der Oberfläche einer gechippten Zirkonoxidrestauration erzeugt werden kann. Verschiedene Reparaturkits und Vorbehandlungsmethoden werden unter klinisch relevanten Bedingungen abhängig von der Lokalisation des Chippings verglichen und bewertet.

Indizes

Reparaturkomposit, Zirkonoxidrestauration, Chipping, Verbundfestigkeit, Vorbehandlung

Verbundfestigkeit kunststoffbasierter Reparatursysteme auf Zirkonoxidrestaurationen

Matthias Kelch, Nicoleta Ilie, Bogna Stawarczyk

Vollkeramische Restaurationen spielen in der modernen Zahnmedizin eine wesentliche Rolle. Vor allem Zirkonoxid konnte sich aufgrund der rapiden Fortschritte im Bereich der CAD/CAM-Technologie etablieren und bietet eine ansprechende Alternative zu metallbasierten Versorgungen. Yttriumstabilisierte Zirkonoxidgerüste der 1. und 2. Generation überzeugen vor allem durch ihre hohe mechanische Festigkeit und eine ausgezeichnete Biokompatibilität. Im Vergleich zu Glaskeramiken ist Zirkonoxid fester und widerstandsfähiger und kann sich somit positiv auf den klinischen Erfolg auswirken.²³

Um ästhetischen Ansprüchen gerecht zu werden, ist in vielen Fällen eine Verblendung notwendig. Unglücklicherweise kommt es hierbei gelegentlich zu Komplikationen, die sich im Vergleich zu herkömmlichen Metallkeramikrestaurationen vor allem durch eine erhöhte Chippingrate äußern.²⁴ Chipping wird als Abplatzen bzw. Fraktur der Verblendkeramik definiert und wird sehr häufig im Seitenzahnbereich diagnostiziert (Abb. 1 und 2). Mehrere klinische Studien konnten das Auftreten von Frakturen, Chippings und Ablösungen im Verblendbereich bestätigen, die Gerüststruktur war in der Regel jedoch nicht betroffen.^{15,41,50,52,55,59,63} Der Austausch der gesamten Restauration ist daher nur in Ausnahmefällen

Einleitung



Abb. 1 und 2 Chipping im Seitenzahnbereich von Restaurationen.

notwendig. Es liegt nahe, dass der Reparatur ein hoher Stellenwert zukommt und sie in vielerlei Hinsicht Vorteile mit sich bringt. Außer dass sich Risiken verringern, wenn beschädigte Restaurationen entfernt werden, führt die Wiederherstellung von Ästhetik und Funktion dazu, dass die Patienten zufriedener und die Versorgungen langlebiger sind.¹²

Heute sind viele verschiedene Reparatursysteme auf Kunststoffbasis verfügbar.⁴ Sie werden in der Literatur umfassend diskutiert, da sie in Bezug auf ihre Zusammensetzung und Anwendung stark variieren. Vor allem die Wahl der Vorbehandlungsmethode sowie der Einfluss verschiedener Inhaltsstoffe ist Gegenstand aktueller Forschung. In den letzten Jahren wurde der Fokus vor allem auf Universaladhäsive gesetzt, die einfacher zu applizieren sind und damit weitaus weniger fehleranfällig sein sollen.

Chipping Chipping beschreibt das Abplatzen von Verblendkeramikanteilen aus einer Restauration und gehört neben Sekundärkaries zu den am häufigsten auftretenden Komplikationen.²⁶ In der Literatur findet man verschiedene klinische Studien zu Überlebensraten vollkeramischer Restaurationen. Die Chippingraten bei Zirkonoxidrestaurationen variieren im Bereich von 9,5 %¹⁵, 9,7 %²⁵, 14,8 %⁵⁵ und sogar 32 %⁵² in Beobachtungszeiträumen zwischen drei und 13 Jahren. Hierbei ist zu beachten, dass unterschiedliche Keramikarten aus unterschiedlichen Herstellungsprozessen untersucht wurden, weshalb die Ergebnisse nur eingeschränkt vergleichbar und aussagekräftig sind. Werte für Chippingfrakturen im Bereich von 1,7 % nach zehn Jahren⁸ bei metallkeramischen Restaurationen hinterlassen bei vielen Behandlern jedoch berechnete Zweifel an dieser Versorgungsform.

Die Vielschichtigkeit der Problematik wird deutlich, wenn man die Ursachen analysiert. Spezifische Gründe für das Auftreten von Chippingfrakturen sind bis dato unbekannt. In klinischen Studien werden Details über Art, Ausmaß und die Umstände einer Fraktur meist nur unzureichend beschrieben, daher ist es schwer, einen kausalen Zusammenhang zwischen klinischen und In-vitro-Frakturdaten zu finden.³ Eine wichtige Rolle scheint der Alterungsprozess zu spielen, da Chipping klinisch oft erst nach einer gewissen Tragedauer auftritt. Direkt nach dem Einsetzen der Restaurationen sind Frakturen nur selten zu beobachten.⁵³



Relevant dafür, dass Frakturen entstehen, ist die Belastung, der Versorgungen ausgesetzt sind. Sowohl statische als auch dynamische Kaubelastungen können ursächlich sein und spielen in feuchter Umgebung eine noch größere Rolle. Dabei ist nur der antagonistische Kontakt mit natürlichen Zähnen oder keramischem Zahnersatz von Bedeutung, nicht aber der Kontakt mit Speisen. Bruxismus spielt eine große Rolle. Im Rahmen einer fraktografischen Studie⁴⁶ wurde festgestellt, dass Frakturen von Mikrorissen im kaubelasteten okklusalen Bereich ausgegangen waren. Als Ursache wurde die relativ geringe Bruchzähigkeit und hohe Eigenspannung innerhalb der Verblendkeramik auf Zirkonoxidrestorationen diskutiert. Dies macht wiederum deutlich, wie wichtig es ist, okklusale Störkontakte nach dem Eingliedern einer vollkeramischen Restauration zu entfernen.

Ob Chipping besser oder weniger gut vermieden werden kann, hängt davon ab, wie das anatomische Gerüstdesign umgesetzt ist. Eine gleichmäßige Schichtstärke der Verblendkeramik führt in diversen Untersuchungen dazu, dass sich die Ergebnisse verbesserten.^{17,47} Durch eine anatomische Unterstützung können sogar bis zu 30 % höhere Bruchlasten erreicht werden.⁵⁶ Modifikationen im Brennvorgang führen ebenfalls zu einer Verbesserung der Frakturwerte, vor allem indem die Abkühlungsphase verlängert wird.^{47,49} Um die Spannungen in der Restauration zu reduzieren, wird eine Langzeitabkühlung bis zur Glasübergangstemperatur der Verblendkeramik empfohlen. Diese Temperatur liegt bei ca. 470 °C.

Auch ein möglicher Einfluss von wiederholten Brennvorgängen beim Schichten der Verblendung wird diskutiert.⁶² Ein Ansatz, um die Chippingrate zu reduzieren, ist der Einsatz von Presstechnik, um die Verblendung aufzutragen. Der Effekt dieser Methode wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Klinische Studien bis zu drei Jahren und In-vitro-Untersuchungen zeigen sowohl, dass das Chipping ausbleibt⁹, dass sich die Chippingproblematik verbessert⁴⁷ als auch keinen Einfluss bezüglich der Verblendmethode³⁹. In vitro scheint das Pressverfahren nach mechanischer Ermüdung zu einer verringerten Bruchlast zu führen.⁵⁸ Eine digitale Verblendung hingegen führt nicht nur dazu, dass das Chipping ausbleibt, sondern erhöht auch die Gesamtstabilität der Restauration.¹⁰ Diese Verblendung wird mithilfe von CAD/CAM-Technologie entweder aus Glaskeramik oder aus Kunststoff gefräst und anschließend mit dem Zirkonoxidgerüst mit keramischem Lot versintert oder mit Kunststoff verklebt.

Ferner ist bekannt, dass der Verbund von Verblendung und Metallgerüst bei Metallkeramikrestorationen durch den Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) beeinflusst wird.⁶ Fehlanpassungen des WAK können zu Spannungen in der Verblendung führen. Da Keramiken sehr empfindlich auf Zugspannung reagieren und durch Druckspannung stabilisiert werden, ist eine leichte Druckbelastung auf die Verblendung erwünscht.¹⁸ Das lässt sich realisieren, indem bei der Keramik ein geringerer WAK gewählt wird als beim Metall.⁶ Bezogen auf verblendete Zirkonoxidrestorationen zeigen Untersuchungen, dass sich die Verblendkeramik im Grenzbereich zur Gerüstkeramik ablöst, wenn sie im Vergleich der beiden Materialien einen zu hohen WAK-Wert hat.¹ Im Gegensatz dazu sind bei deutlich niedrigeren WAK-Werten der Verblendkeramik Zugspannungen im Zirkonoxidgerüst zu verzeichnen, die dort dazu führen, dass sich die Risse fortsetzen.³⁰

Verschiedene Gerüstwerkstoffe gelten als weiterer Grund dafür, dass Chipping bei verblendeten Zirkonoxidrestorationen im Vergleich zu klassischer Metallkeramik sehr

wahrscheinlich auftritt. Während Zirkonoxid ein sehr sprödes Material ist, ist eine hochgoldhaltige Legierung aufgrund ihrer Duktilität und der damit einhergehenden Pufferfunktion weniger anfällig für Abplatzungen. Diskutiert wird auch, dass das Korundstrahlen der Zirkonoxidoberfläche vor dem Schichtprozess Frakturen herbeiführt. In vitro⁵⁷ wurde bei korundgestrahlten Prüfkörpern, die nicht gealtert waren, eine erhöhte Bruchlast gemessen, jedoch war bei Prüfkörpern, die zusätzlich gealtert wurden, eine geringere Bruchlast zu verzeichnen. Bei mikroskopischer Betrachtung konnten durch das Korundstrahlen entstandene Mikrorisse identifiziert werden, die als Ursache für auftretendes Chipping gesehen werden. Die Autoren empfehlen deshalb, einen maximalen Strahldruck von 1 bar bei einem Abstand von 1 cm und einer Partikelgröße von $\leq 50 \mu\text{m}$ nicht zu überschreiten.

Reparatur In einem Review²⁶ aus dem Jahr 2000 wurde beschrieben, dass die Reparatur von Restaurationen von einem Großteil der Zahnärzteschaft nicht akzeptiert werden würde – sie gelte als sogenannte patchwork dentistry. Der Austausch von existentem Zahnersatz nehme im weltweiten Vergleich 50 bis 71 % der zahnärztlichen Arbeitsaktivität in Anspruch.^{16,34–36} Auffällig ist, dass die Entscheidung, eine defekte Restauration auszutauschen, vor allem dann getroffen wird, wenn sie nicht durch den beurteilenden Behandler selbst angefertigt wurde.²² Heute ist die Reparatur mehr und mehr als Behandlungskonzept akzeptiert, sie wird als verlässliche, kostengünstige Technik mit geringem Risiko für den Patienten angesehen.

Im Vergleich zu Kompositrestaurationen gestaltet sich die Reparatur von Zahnersatz aus Keramik etwas schwieriger, da verschiedene Materialstrukturen aufeinandertreffen. Das gilt vor allem dann, wenn Oxidkeramiken involviert sind, die keine Glasphase haben. Die verschiedenen Techniken umfassen eine mechanische oder chemische Vorbehandlung der Keramik, um die Oberfläche aufzurauen, sowie die Verwendung von Adhäsiven, um einen chemischen Verbund zwischen frakturierter Restauration und Reparaturkunststoff zu schaffen.

Makromechanischer Verbund Um einen intraoral anwendbaren, makromechanischen Verbund zu schaffen, wird in den meisten Studien klassischerweise ein Diamantbohrer, Flusssäure oder die tribochemische Beschichtung angewendet.

Ziel aller Methoden ist in erster Linie, durch das Anrauen die Oberfläche zu vergrößern. Der Diamantbohrer ist hierfür die einfachste Variante, da weder ein hoher apparativer Aufwand notwendig ist, noch spezielle Vorkehrungen getroffen werden müssen.⁴⁰ Wird die Oberfläche mit Flusssäure angeätzt, so entsteht eine saubere, mikroretentive Klebefläche.²⁸ Ob diese Mikroretentionen erhalten bleiben, ist abhängig von der Anzahl, Größe und Verteilung der Leuzitkristalle⁷, die während der Abkühlungsphase im Anschluss an den Brennvorgang der Keramik entstehen³³. Diese werden während des Ätzprozesses herausgelöst, was folglich mit einer größeren Oberfläche und einer höheren Retention einhergeht, da Unterschnitte geschaffen werden.

In der Literatur wird in Bezug auf die Oberfläche von Silikatkeramiken die Überlegenheit der Flusssäureätzung im Vergleich zum einfachen Korundstrahlen beschrieben, da höhere und dauerhaft stabilere Verbundfestigkeiten gemessen wurden.²⁷ Beim Anätzen von Leuzitkeramik kann bei einer Ätzzeit von 60 Sekunden eine Flusssäurekonzentration von 3 bis 10 % verwendet werden, ohne Einbußen in der Verbundfestigkeit.⁶¹



Für Oxidkeramiken gelten andere Empfehlungen. Aufgrund der fehlenden Glasphase ist die Flusssäureätzung keine brauchbare Methode der Oberflächenkonditionierung.^{13,45}

Für das intraorale Silikatisieren hat sich das Cojet-System durchgesetzt, das in der zahnärztlichen Praxis breiten Anklang gefunden hat.³¹ Bei dieser Methode wird die Oberfläche mithilfe von siliziumoxidbeschichteten Aluminiumoxidpartikeln angestrahlt. Durch den applizierten Druck werden die Partikel in die oberste Keramikschicht eingebracht. Daraus resultiert eine chemisch reaktivere Oberfläche⁴³, an die entsprechende Adhäsive ankoppeln können.

Alternativ wurden andere Methoden zur Oberflächenvorbehandlung untersucht, die bisher jedoch stets schlechter als die oben genannten abschnitten. Darunter fällt beispielsweise die Verwendung von Erbium:YAG-Lasern^{51,54}, CO₂-Lasern⁵¹, Phosphorsäure^{37,54}, angesäuerter Phosphatfluorsäure^{14,54} oder Ammoniumhydrogendifluorid¹⁴.

Vor allem mit der Einführung von bifunktionellen Silanhaftvermittlern konnten organische mit anorganischen Oberflächen gekoppelt und damit die Reparatur von Keramikrestorationen möglich gemacht werden.⁴⁸ Es wurde herausgefunden, dass die durch Silane vermittelte Verbundfestigkeit höher ist als jedwede durch Ätzen hergestellte mikromechanische Retention.¹⁴ Damit Silane als Brückenglieder genutzt werden können, müssen ihre funktionellen Gruppen durch Hydrolyse aktiviert werden. Diese findet statt durch OH-Gruppen auf der Substratoberfläche.⁵ Wird Silan aufgetragen, so binden sich durch eine Kondensationsreaktion OH-Gruppen an freie Silanolgruppen. Komposit beinhaltet Monomere mit reaktiven C=C-Doppelbindungen, die beispielsweise durch Initiatoren und blaues Licht aktiviert werden können. Die dabei entstehenden Makroradikale können wiederum mit Methacrylat oder der organofunktionellen Gruppe des Silan reagieren, wodurch C-C-Sigmabindungen entstehen und die Ankoppelung stattfindet.³²

Chemischer Verbund

Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass die Verbundfestigkeit bei Anwendung konventioneller Silane auf silikatfreien Keramiken wie Zirkonoxid geringer ist.⁴⁵ Eines der klinischen Hauptprobleme hierbei ist, dass der Klebeverbund im Laufe der Tragezeit degradiert.^{2,11,29}

Um eine suffiziente Adhäsion von Komposit zu Zirkonoxid zu ermöglichen und damit das Spektrum moderner Haftvermittler zu erweitern, werden heute zusätzliche Komponenten beigemischt. Als einer der wichtigsten und erfolgversprechendsten Zusatzstoffe von Zirkonoxid-Primern gilt heute das Phosphatmonomer 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat (10-MDP). Dieser Phosphatester kann direkt an Hydroxylgruppen von Oxidkeramiken binden⁶⁰ und schafft einen hydrolytisch stabilen Verbund zu Zirkonoxid^{2,11,29}.

Klinische Langzeituntersuchungen reparierter Chippingfrakturen von Vollkeramikrestorationen sind derzeit leider nicht bekannt. Eine klinische Studie aus dem Jahr 2015¹⁹ untersuchte 92 Patienten, deren frakturierte ein- oder mehrgliedrige VMK-Restorationen mithilfe indirekter Technik repariert wurden. Die Gesamtüberlebensrate betrug nach acht Jahren Beobachtungszeit noch 96,2 %. Der Anklang bei den partizipierenden Patienten war hoch. Bereits 2002 wurde eine klinische Studie⁴⁴ mit reparierten VMK-Restorationen durchgeführt. Bei einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von 34,6 Monaten wurde eine Überlebensrate von 89 % aufgezeichnet. Die meisten Misserfolge traten hierbei eine Woche bis drei Monate nach der Reparatur auf. Die Aussagekraft ist begrenzt, da nur

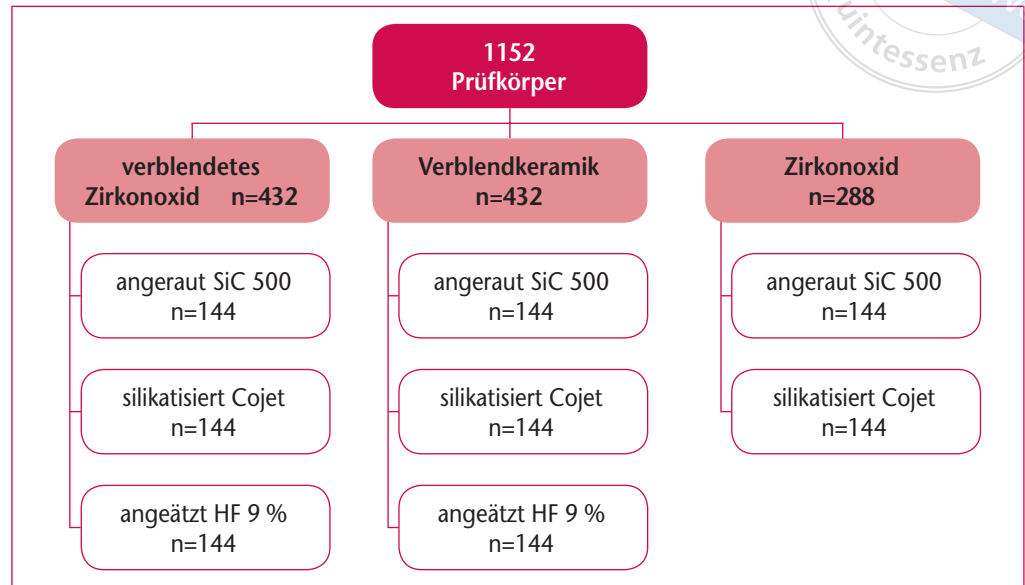


Abb. 3 Studiendesign: Übersicht über die Verteilung der für die Untersuchung hergestellten Prüfkörper und ihre Vorbehandlungen.

eine einzige Reparaturtechnik zum Einsatz kam. Die Verwendung unterschiedlicher Reparaturkomposite zeigte keinen Einfluss auf die Erfolgsrate.

Verschiedene klinische Studien über Amalgam- und Kompositreparaturen zeigten durchweg positive Ergebnisse.^{21,38,42} Hierbei war stets ein Anstieg der Gesamtüberlebensrate von missglückten, im Anschluss reparierter Versorgung zu verzeichnen.

Es gibt bis dato keine einheitlichen Empfehlungen bezüglich einer optimalen Reparaturstrategie missglückter Vollkeramikrestaurationen. Die hier vorgestellte Untersuchung soll unter Berücksichtigung bereits etablierter Vorgehensweisen dabei helfen, eine universell einsetzbare Methode der Keramikreparatur zu finden.

Material und Methode

In der durchgeführten Studie wurde die Verbundfestigkeit von Komposit zu Verblendkeramik sowie Zirkonoxid gemessen, die mit verschiedenen Vorbehandlungsprotokollen und Adhäsivsystemen vorbereitet wurde. Ziel der Prüfkörperherstellung war es, gechippte Oberflächen mit unterschiedlichen Materialbeteiligungen zu simulieren. Hierfür wurden drei verschiedene Situationen berücksichtigt. Um eine Abplatzung innerhalb der Verblendung zu simulieren, wurde reine Verblendkeramik (Gruppe 1) verwendet. Eine Chippingfraktur im Grenzbereich von Verblendung zur Gerüststruktur wurde mit Zirkonoxid mit keramischer Verblendung (Gruppe 2) simuliert, wobei jeweils 50 % der Materialoberfläche genutzt wurde, um das Reparaturkomposit zu befestigen. Um Verbundfestigkeitswerte zu einer vollständig freiliegenden Gerüststruktur zu erhalten, wurden außerdem Prüfkörper aus reinem Zirkonoxid (Gruppe 3) hergestellt.

Die Prüfkörper aus den Gruppen Verblendkeramik und verblendetes Zirkonoxid wurden mit 9 %-iger Flußsäure angeätzt. Zusätzlich wurden weitere Prüfkörper zur Oberflächenvergrößerung mit Cojet silikatisiert oder mit SiC Schleifpapier angeraut. Eine Gesamtübersicht über die Verteilung der für die Untersuchung hergestellten Prüfkörper inklusive ihrer Vorbehandlungen liefert Abbildung 3.



Abb. 4 bis 7 Einige der in der Studie untersuchten Reparatursysteme: Clearfil Ceramic Primer von Kuraray Noritake, Ceramic Repair von Ivoclar Vivadent, Scotchbond Universal von 3M, das Cojet-System von 3M (von links nach rechts).

Je acht Reparatursysteme unterschiedlicher Hersteller wurden entsprechend deren Gebrauchsanweisung zur Befestigung des Komposits verwendet. Detaillierte Informationen dazu sind in Tabelle 1 zusammengefasst (Abb. 4 bis 7).

Im direkten Anschluss an die Vorbehandlung wurden die Prüfkörper mit Komposit repariert. Hierzu wurde eine standardisierte Fläche mithilfe einer Hülse repariert. Bei den Prüfkörpern der Gruppe 2 wurden die Hülse so platziert, dass 50 Prozent der Klebefläche auf der Verblendkeramik und 50 Prozent auf dem Zirkonoxid zu liegen kamen (Abb. 8).

Nach einem Alterungsintervall von einem Jahr in destilliertem Wasser bei 37 °C wurden die Verbundfestigkeiten im Zugversuch geprüft. Bei Inspektion der Bruchflächen wurde entsprechend der Lokalisation zwischen Adhäsiv-/Kohäsiv- und Mischbruch differenziert.

Die Messergebnisse des Zugversuchs sind in Abbildung 9 dargestellt.

In der Verblendkeramikgruppe ergaben sich die höchsten Verbundfestigkeitswerte bei den mit Flusssäure vorbehandelten Prüfkörpern, die nachfolgend mit Ceramic Repair repariert wurden. Keine signifikanten Unterschiede dazu zeigen Clearfil Ceramic Primer und Bistite II DC, unabhängig davon, ob im Rahmen der Vorbehandlung geätzt oder silikatisiert wurde. Den höchsten Wert in der Gruppe Verblendkeramik auf Zirkonoxid erreichte

Ergebnisse



Abb. 8 Hülse zur Reparatur der Prüfkörper.

Tab. 1 Die untersuchten Reparatursysteme und ihre Anwendung.

Reparatursystem	Primer/Adhäsiv	Zusammensetzung	Anwendung
Embrace WetBond Restauration & PFM Repair Kit Pulpdent (Watertown, USA)	Embrace First-Coat	lichthärtender Kunststoff ohne Bisphenol A	<ul style="list-style-type: none"> dünne Schicht mit Microbrush (Brush M Applicators, 3M Espe, Seefeld) auftragen 20 s Lichtpolymerisation
Clearfil Ceramic Primer Kuraray Noritake (Tokio, Japan)	Clearfil Ceramic Primer	Ethanol > 80 %, MPS < 5 %, MDP	<ul style="list-style-type: none"> dünne Schicht mit Microbrush auftragen Lufttrocknung
Bistite II DC Tokuyama Dental (Tokio, Japan)	CERAMIC PRIMER A CERAMIC PRIMER B	Silan-Haftvermittler, Phosphorsäure-Monomer, Alkohol	<ul style="list-style-type: none"> je 1 Tropfen CERAMIC PRIMER A+B mit Microbrush vermischen dünne Schicht auftragen 10 s Einwirkzeit
Ceramic Repair Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein)	Monobond Plus	MDP, Silanmethacrylat, Ethanol, Sulfidmethacrylat	<ul style="list-style-type: none"> Monobond Plus mit Microbrush dünn auftragen 60 s einwirken lassen Lufttrocknung Heliobond mit Microbrush dünn auftragen, verblasen 10 s Lichtpolymerisation
	Heliobond	Bis-GMA 60 Gew.%, TEGDMA 40 Gew.%	
Scotchbond Universal 3M Deutschland (Neuss)	Scotchbond Universal	MDP, DMA, HEMA, Polyalkensäure Copolymer, Silan, Ethanol, Wasser, Füller, Initiatoren (pH 2.7)	<ul style="list-style-type: none"> 20 s mit Microbrush einmassieren 5 s verblasen 10 s Lichtpolymerisation
Cojet System 3M Deutschland (Neuss)	Visiobond	Bisacrylat, Aminodioldimethacrylat, Campherchinon, Benzoldimethylketal, Stabilisatoren	<ul style="list-style-type: none"> dünne Schicht mit Microbrush auftragen 20 s Lichtpolymerisation
Cimara Zirkon Voco (Cuxhaven) (nicht mehr auf dem Markt erhältlich)	Cimara Zirkon Primer	organische Säuren und Silan	<ul style="list-style-type: none"> Cimara Zirkon Primer mit Microbrush dünn auftragen 60 s einwirken lassen Lufttrocknung Cimara Zirkon Adhesive mit Microbrush dünn auftragen, verblasen 20 s Lichtpolymerisation
	Cimara Zirkon Adhesive	Bis-GMA, HEMA, TEGDMA, BHT, Aceton	
One Coat 7.0 Coltene/Whaledent (Altstätten, Schweiz)	One Coat 7.0	Ethanol 30–40 %, UDMA 20–25 %, 2-HEMA 5–10 %	<ul style="list-style-type: none"> dünne Schicht mit Microbrush auftragen Lufttrocknung

MDP = 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat, MPS = 3-Methacryloxypropyl-trimethoxysilan, Bis-GMA = Bisphenol A-Glycidylmethacrylat, TEGDMA = Triethylenglycoldimethacrylat, HEMA = Hydroxyethylmethacrylat, BHT = Butylhydroxytoluol, UDMA = Urethandimethacrylat.

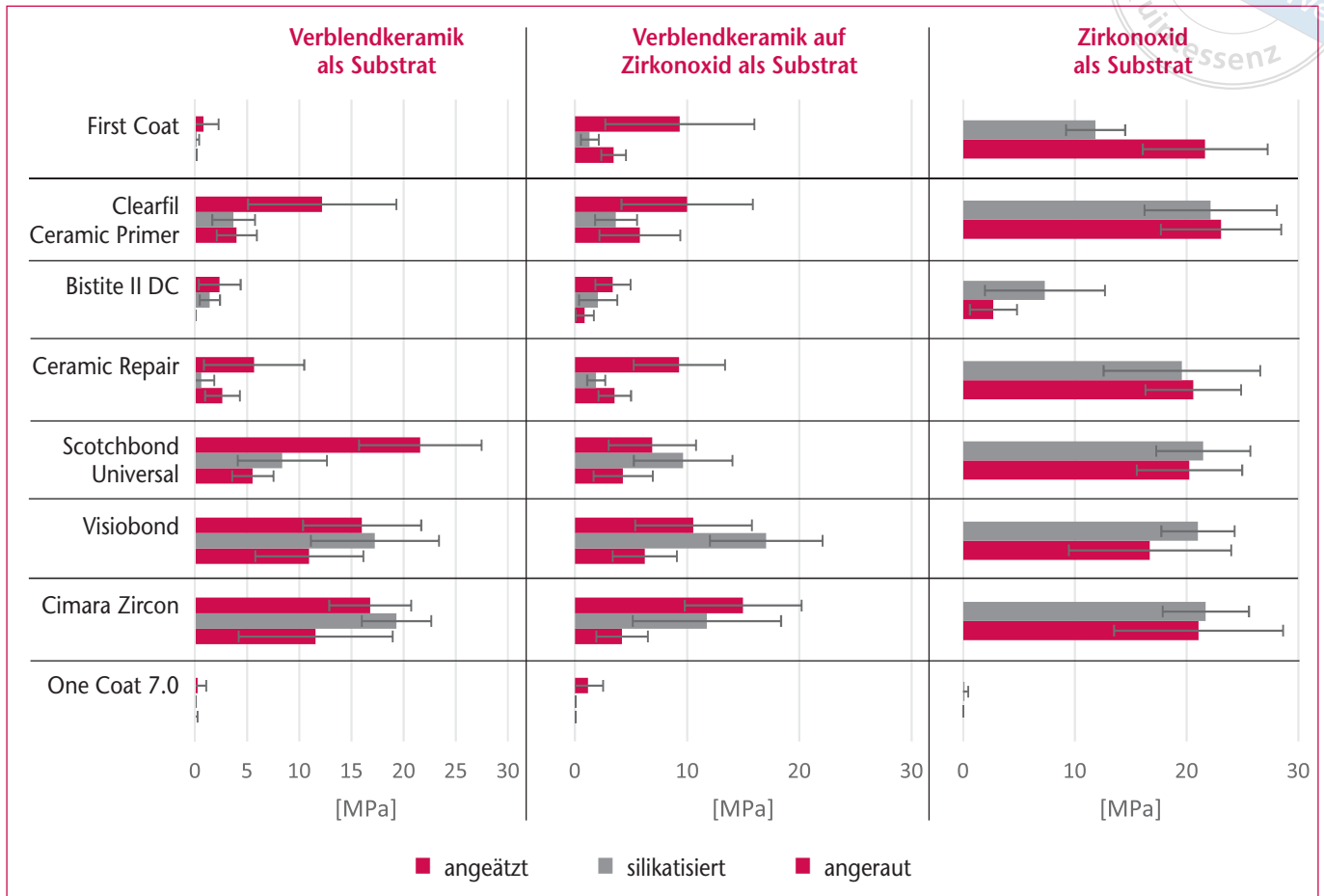


Abb. 9 Messergebnisse des Zugversuchs mit den verschiedenen Reparatursystemen.

der Reparaturkit Bistite II DC in Kombination mit Silikatisierung als Vorbehandlungsmethode. Die Verwendung von Clearfil Ceramic Primer nach Flusssäureätzung führte zur zweithöchsten Verbundfestigkeit, wobei sich die Reparaturkits Bistite II DC, Cimara Zircon, OneCoat 7.0 und Scotchbond Universal nicht signifikant unterschieden. Bei der Reparatur mit Clearfil Ceramic Primer und Ceramic Repair machte es außerdem keinen signifikanten Unterschied, ob die Prüfkörper zuvor silikatisiert oder angeätzt wurden. Die Gruppe Zirkonoxid zeigten die insgesamt höchsten Verbundfestigkeiten. Den größten Wert erreichte die Kombination Anrauen in Verbindung mit der Verwendung von Cimara Zircon, wobei sich innerhalb dieser Vorbehandlungsgruppe kein signifikanter Unterschied zu den mit Clearfil Ceramic Primer, Bistite II DC, Ceramic Repair, Scotchbond Universal und One Coat 7.0 reparierten Prüfkörpern zeigte. Auch die silikatisierten Prüfkörper fielen durch vergleichsweise hohe Verbundfestigkeitswerte auf, am stärksten war hier Cimara Zircon, gefolgt von Clearfil Ceramic Primer, Ceramic Repair, Bistite II DC und Scotchbond Universal, welche zusammen eine homogene Untergruppe bildeten. Bei den Reparaturkits First Coat, Clearfil Ceramic Primer, Ceramic Repair, Scotchbond Universal und Cimara Zircon gab es außerdem keinen signifikanten Unterschied in der Wahl der Vorbehandlungsmethode.

Schlussfolgerungen Die Stelle, an der das Chipping stattgefunden hat, ist entscheidend für die Auswahl der Vorbehandlungsmethode. Ist Verblendkeramik involviert, so ist es sinnvoll, diese mit Flusssäure anzuätzen. Bei Zirkonoxidbeteiligung sollte zusätzlich mit Cojet silikatisiert werden. Insgesamt spielt für die Reparatur gechippter Vollkeramikrestaurationen die Wahl des Reparaturkits die größte Rolle. Wurden die Reparaturkits Clearfil Ceramic Primer und Bistite II DC verwendet, so führten diese stets zu überzeugenden und verlässlichen Verbundfestigkeiten, die meist die Eigenfestigkeit des Reparaturkomposits übertrafen. Somit können diese als Universallösungen empfohlen werden.

- Literatur*
1. Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent mater* 2005;21:984–991.
 2. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *J Prosthet Dent* 2007;98:379–388.
 3. Anusavice KJ. Standardizing failure, success, and survival decisions in clinical studies of ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Dent Mater* 2012;28:102–111.
 4. Appeldoorn RE, Wilwerding TM, Barkmeier WW. Bond strength of composite resin to porcelain with newer generation porcelain repair systems. *J Prosthet Dent* 1993;70:6–11.
 5. Arkles B. Silane coupling agents: connecting across boundaries v2.0. Morrisville: Gelest, 2006.
 6. Bagby M, Marshall SJ, Marshall GW. Metal ceramic compatibility: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 1990;63:21–25.
 7. Barghi N. To silanate or not to silanate: making a clinical decision. *Compend Contin Educ Dent* 2000;21:659–662, 664, quiz 666.
 8. Behr M, Zeman F, Baitinger T, Galler J, Koller M, Handel G, Rosentritt M. The clinical performance of porcelain-fused-to-metal precious alloy single crowns: chipping, recurrent caries, periodontitis, and loss of retention. *Int J Prosthodont* 2014;27:153–160.
 9. Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Sorensen JA. Three-year clinical prospective evaluation of zirconia-based posterior fixed dental prostheses (FDPs). *Clin Oral Investig* 2009;13:445–451.
 10. Beuer F, Schweiger J, Eichberger M, Kappert HF, Gernet W, Edelhoff D. High-strength CAD/CAM-fabricated veneering material sintered to zirconia copings – a new fabrication mode for all-ceramic restorations. *Dent Mater* 2009;25:121–128.
 11. Blatz MB, Chiche G, Holst S, Sadan A. Influence of surface treatment and simulated aging on bond strengths of luting agents to zirconia. *Quintessence Int* 2007;38:745–753.
 12. Blum IR, Jagger DC, Wilson HH. Defective dental restorations: to repair or not to repair? Part 1: direct composite restorations. *SADJ* 2011;66:114–118.
 13. Cavalcanti AN, Foxton RM, Watson TF, Oliveira MT, Giannini M, Marchi GM. Bond strength of resin cements to a zirconia ceramic with different surface treatments. *Oper Dent* 2009;34:280–287.
 14. Della Bona A, Anusavice KJ, Hood JA. Effect of ceramic surface treatment on tensile bond strength to a resin cement. *Int J Prosthodont* 2002;15:248–253.
 15. Edelhoff D, Florian B, Florian W, Johnen C. HIP zirconia fixed partial dentures – clinical results after 3 years of clinical service. *Quintessence Int* 2008;39:459–471.
 16. Elderton RJ, Davies JA. Restorative dental treatment in the General Dental Service in Scotland. *Br Dent J* 1984;157:196–200.
 17. Ferrari M, Sorrentino R, Cagidiaco C, Goracci C, Vichi A, Gherlone E, Zarone F. Short-term clinical performance of zirconia single crowns with different framework designs: 3-year clinical trial. *Am J Dent* 2015;28:235–240.
 18. Fischer J, Stawarczyk B, Tomic M, Strub JR, Hammerle CH. Effect of thermal misfit between different veneering ceramics and zirconia frameworks on in vitro fracture load of single crowns. *Dent Mater J* 2007;26:766–772.
 19. Galiatsatos AA, Galiatsatos PA. Clinical evaluation of fractured metal-ceramic fixed dental prostheses repaired with indirect technique. *Quintessence Int* 2015;46:229–236.
 20. Gordan VV, Garvan CW, Blaser PK, Mondragon E, Mjor IA. A long-term evaluation of alternative treatments to replacement of resin-based composite restorations: results of a seven-year study. *J Am Dent Assoc* 2009;140:1476–1484.



21. Gordan VV, Riley JL, 3rd, Blaser PK, Mondragon E, Garvan CW, Mjor IA. Alternative treatments to replacement of defective amalgam restorations: results of a seven-year clinical study. *J Am Dent Assoc* 2011;142:842–849.
22. Gordan VV, Riley JL, 3rd, Geraldini S, Rindal DB, Qvist V, Fellows JL, Kellum HP, Gilbert GH. Dental Practice-Based Research Network Collaborative Group. Repair or replacement of defective restorations by dentists in The Dental Practice-Based Research Network. *J Am Dent Assoc* 2012;143:593–601.
23. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater* 2004;20:449–456.
24. Guess PC, Zavanelli RA, Silva NR, Bonfante EA, Coelho PG, Thompson VP. Monolithic CAD/CAM lithium disilicate versus veneered Y-TZP crowns: comparison of failure modes and reliability after fatigue. *Int J Prosthodont* 2010;23:434–442.
25. Haff A, Lof H, Gunne J, Sjogren G. A retrospective evaluation of zirconia-fixed partial dentures in general practices: an up to 13-year study. *Dent Mater* 2015;31:162–170.
26. Hickel R, Brushaver K, Ilie N. Repair of restorations – criteria for decision making and clinical recommendations. *Dent Mater* 2013;29:28–50.
27. Kato H, Matsumura H, Atsuta M. Effect of etching and sandblasting on bond strength to sintered porcelain of unfilled resin. *J Oral Rehabil* 2000;27:103–110.
28. Kern M, Thompson VP. Sandblasting and silica coating of a glass-infiltrated alumina ceramic: volume loss, morphology, and changes in the surface composition. *J Prosthet Dent* 1994;71:453–461.
29. Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 1998;14:64–71.
30. Kim JW, Bhowmick S, Hermann I, Lawn BR. Transverse fracture of brittle bilayers: relevance to failure of all-ceramic dental crowns. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2006;79:58–65.
31. Latta MA, Barkmeier WW. Approaches for intraoral repair of ceramic restorations. *Compend Contin Educ Dent* 2000;21:635–639, 642–634; quiz 646.
32. Lung CYK, Matinlinna JP. Resin bonding to silicized zirconia with two isocyanatosilanes and a cross-linking silane. Part II: Mechanistic approach. *Silicon* 2010;2:163–169.
33. Mackert JR Jr, Evans AL. Effect of cooling rate on leucite volume fraction in dental porcelains. *J Dent Res* 1991;70:137–139.
34. Maryniuk GA. In search of treatment longevity – a 30-year perspective. *J Am Dent Assoc* 1984;109:739–744.
35. Maryniuk GA, Kaplan SH. Longevity of restorations: survey results of dentists' estimates and attitudes. *J Am Dent Assoc* 1986;112:39–45.
36. Mjor IA. Placement and replacement of restorations. *Oper Dent* 1981;6:49–54.
37. Mohamed FF, Finkelman M, Zandparsa R, Hirayama H, Kugel G. Effects of surface treatments and cement types on the bond strength of porcelain-to-porcelain repair. *J Prosthodont* 2014;23:618–625.
38. Moncada G, Martin J, Fernandez E, Hempel MC, Mjor IA, Gordan VV. Sealing, refurbishment and repair of Class I and Class II defective restorations: a three-year clinical trial. *J Am Dent Assoc* 2009;140:425–432.
39. Naenni N, Bindl A, Sax C, Hammerle C, Sailer I. A randomized controlled clinical trial of 3-unit posterior zirconia-ceramic fixed dental prostheses (FDP) with layered or pressed veneering ceramics: 3-year results. *J Dent* 2015;43:1365–1370.
40. Neis CA, Albuquerque NL, Albuquerque Ide S, Gomes EA, Souza-Filho CB, Feitosa VP, Spazzin AO, Bacchi A. Surface treatments for repair of feldspathic, leucite – and lithium disilicate –reinforced glass ceramics using composite resin. *Braz Dent J* 2015;26:152–155.
41. Nicolaisen MH, Bahrami G, Schropp L, Isidor F. Comparison of metal-ceramic and all-ceramic three-unit posterior fixed dental prostheses: a 3-year randomized clinical trial. *Int J Prosthodont* 2016;29:259–264.
42. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC. Longevity of repaired restorations: a practice based study. *J Dent* 2012;40:829–835.
43. Ozcan M. The use of chairside silica coating for different dental applications: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2002;87:469–472.
44. Ozcan M, Niedermeier W. Clinical study on the reasons for and location of failures of metal-ceramic restorations and survival of repairs. *Int J Prosthodont* 2002;15:299–302.
45. Ozcan M, Vallittu PK. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater* 2003;19:725–731.
46. Pang Z, Chughtai A, Sailer I, Zhang Y. A fractographic study of clinically retrieved zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Dent Mater* 2015;31:1198–1206.

47. Preis V, Letsch C, Handel G, Behr M, Schneider-Feyrer S, Rosentritt M. Influence of substructure design, veneer application technique, and firing regime on the in vitro performance of molar zirconia crowns. *Dent Mater* 2013;29:e113–121.
48. Raposo LH, Neiva NA, da Silva GR, Carlo HL, da Mota AS, do Prado CJ, Soares CJ. Ceramic restoration repair: report of two cases. *J Appl Oral Sci* 2009;17:140–144.
49. Rues S, Kroger E, Muller D, Schmitter M. Effect of firing protocols on cohesive failure of all-ceramic crowns. *J Dent* 2010;38:987–994.
50. Sailer I, Feher A, Filser F, Gauckler LJ, Luthy H, Hammerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2007;20:383–388.
51. Sarac D, Sarac YS, Kulunk S, Erkocak A. Effect of various surface treatments on the bond strength of porcelain repair. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2013;33:e120–126.
52. Sax C, Hammerle CH, Sailer I. 10-year clinical outcomes of fixed dental prostheses with zirconia frameworks. *Int J Comput Dent* 2011;14:183–202.
53. Schmitter M, Mueller D, Rues S. In vitro chipping behaviour of all-ceramic crowns with a zirconia framework and feldspathic veneering: comparison of CAD/CAM-produced veneer with manually layered veneer. *J Oral Rehabil* 2013;40:519–525.
54. Shiu P, De Souza-Zaroni WC, Eduardo Cde P, Youssef MN. Effect of feldspathic ceramic surface treatments on bond strength to resin cement. *Photomed Laser Surg* 2007;25:291–296.
55. Sola-Ruiz MF, Agustin-Panadero R, Fons-Font A, Labaig-Rueda C. A prospective evaluation of zirconia anterior partial fixed dental prostheses: clinical results after seven years. *J Prosthet Dent* 2015;113:578–584.
56. Stawarczyk B, Jahn D, Becker I, Fischer J, Hammerle C. Einfluss des Gerüstdesigns auf die Bruchlast von ZrO₂-Kronen. *Quintessenz Zahntech* 2008;34:1246–1254.
57. Stawarczyk B, Ozcan M, Hallmann L, Roos M, Trottmann A, Hammerle CH. Impact of air-abrasion on fracture load and failure type of veneered anterior Y-TZP crowns before and after chewing simulation. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2012;100:1683–1690.
58. Stawarczyk B, Ozcan M, Roos M, Trottmann A, Hammerle CH. Fracture load and failure analysis of zirconia single crowns veneered with pressed and layered ceramics after chewing simulation. *Dent Mater J* 2011;30:554–562.
59. Suarez MJ, Perez C, Pelaez J, Lopez-Suarez C, Gonzalo E. A randomized clinical trial comparing zirconia and metal-ceramic three-unit posterior fixed partial dentures: a 5-year follow-up. *J Prosthodont* 2018;doi: 10.1111/jopr.12952 [Epub ahead of print].
60. Tanaka R, Fujishima A, Shibata Y, Manabe A, Miyazaki T. Cooperation of phosphate monomer and silica modification on zirconia. *J Dent Res* 2008;87:666–670.
61. Venturini AB, Prochnow C, Rambo D, Gundel A, Valandro LF. Effect of hydrofluoric acid concentration on resin adhesion to a feldspathic ceramic. *J Adhes Dent* 2015;17:313–320.
62. Vichi A, Sedda M, Bonadeo G, Bosco M, Barbiera A, Tsintsadze N, Carrabba M, Ferrari M. Effect of repeated firings on flexural strength of veneered zirconia. *Dent Mater* 2015;31:e151–156.
63. Vult von Steyern P, Carlson P, Nilner K. All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study. *J Oral Rehabil* 2005;32:180–187.



Dr. Matthias Kelch

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München
Goethestr. 70
80339 München
E-Mail: mkelch@med.lmu.de

Prof. Dr. Nicoleta Ilie

Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der LMU München
Goethestr. 70
80339 München

PD Dr. Dipl.-Ing. (FH) Bogna Stawarczyk, MSc

(Adresse wie Dr. Matthias Kelch)