



Zusammenfassung

Das überwiegend subtraktiv ausgerichtete Konzept einer mechanischen Verankerung der Restauration mit klassischen Zementen wird in der zahnärztlichen Prothetik zunehmend durch ein vornehmlich defektorientiertes und additiv ausgerichtetes Vorgehen ersetzt. In dem Artikel werden anhand klinischer Beispiele die Prinzipien moderner prothetischer Möglichkeiten aufgezeigt und im Hinblick auf ein minimalinvasives Vorgehen diskutiert.

Indizes

Minimalinvasive Präparation, Vollkeramik, Hochleistungspolymere, Adhäsivbrücken, Veneers, Repositionsonlays, Wax-up, Adhäsivtechnik

Minimalinvasive Behandlungskonzepte in der festsitzenden Prothetik

Daniel Edelhoff, Anja Liebermann, Florian Beuer, Michael Stimmelmayer, Jan-Frederik Güth

In der festsitzenden Prothetik werden traditionelle Versorgungskonzepte mit metallbasierten Kronen und Brücken aufgrund guter klinischer Langzeiterfolge aktuell als Goldstandard definiert.⁴⁵ Jedoch wird der mit der Kronen- oder Brückenpfeilerpräparation verbundene hohe Zahnhartsubstanzabtrag als Nachteil empfunden. In einer retrospektiven klinischen Studie wurden nach 15 Jahren Überlebenswahrscheinlichkeiten der vitalen Pulpa von 81,2 % bei metallkeramischen Einzelkronen und von 66,2 % bei Brückenpfeilern nachgewiesen.⁹ Foster²³ ermittelte nach 6 Jahren an Brückenpfeilern eine endodontische Komplikationsrate von 21 %. Eine erste Quantifizierung des Substanzabtrags in Abhängigkeit von verschiedenen Präparationsgeometrien konnte belegen, dass durch eine Vollkronenpräparation sowohl im Front- als auch im Seitenzahnbereich bis zu 70 % der Zahnhartsubstanz der klinischen Krone abgetragen werden^{18,19} Diese Werte wurden kürzlich unter Anwendung einer moderneren Messmethodik bestätigt³ und beeinflussen zunehmend die Therapieauswahl.⁴³ Das verbleibende Volumen an Zahnhartsubstanz hat laut den Ergebnissen verschiedener In-vitro-Untersuchungen bei endodontisch behandelten Zähnen einen signifikant positiven Einfluss auf deren Bruchfestigkeit, und zwar unabhängig vom Zahntyp.^{10,54} So können bei einem endodontisch behandelten Molaren durch die Therapieentscheidung, eine Teilkrone

Einleitung



Abb. 1a Palatinalansicht der Ausgangssituation: Nichtanlage der lateralen Schneidezähne im Oberkiefer.



Abb. 1b Palatinalansicht nach Versorgung mit zweiflügeligen Adhäsivbrücken auf Nichtedelmetall- und Zirkonoxidbasis im Rahmen einer randomisierten prospektiven klinischen Studie (ZT Max Kurzmeier, Universität München).

anstelle einer Vollkrone einzusetzen, bis zu 45 % zusätzliche Zahnhartsubstanz erhalten werden⁴³. Vergleichbare Werte wurden im Hinblick auf die Präparation von Retainern für Adhäsivbrücken und Adhäsivattachments ermittelt.^{17,34}

Bemerkenswert ist, dass im Rahmen klinischer Studien zu vollkeramischen Teilkronen über Beobachtungszeiträume zwischen 7 und 12,6 Jahren entweder keine²⁷ oder – im Vergleich zu Untersuchungen mit metallkeramischen Vollkronen – eine extrem geringe endodontische Komplikationsrate auftrat.⁵⁷ Bei Veneerversorgungen fand sich nach einer Beobachtungsdauer von 20 Jahren eine endodontische Komplikationsrate von nur 2,51 %.⁵ Demnach scheint sich eine geringere Invasivität der Präparation und Restauration vorteilhaft auf den Erhalt der Vitalität restaurierter Zähne auszuwirken. Vor diesem Hintergrund hat sich in der festsitzenden Prothetik in den letzten Jahren ein Paradigmenwechsel hin zu weniger invasiven Therapiekonzepten vollzogen.^{11,24,34,56,60} Nachfolgend werden einige dieser Konzepte, die eine erhebliche Reduzierung des Zahnhartsubstanzabtrages ermöglichen, näher erläutert und bewertet.

Adhäsivbrücken im Frontzahnbereich

Die ersten Adhäsivbrücken wurden in den 1970er Jahren beschrieben.⁴⁷ Sie lassen sich heute als Alternative zu einer Implantatversorgung für den Ersatz von Einzelzähnen einsetzen, wenn Kontraindikationen für eine Implantation vorliegen, aufwendige chirurgische Verfahren umgangen werden sollen, ungünstige Platzverhältnisse für Implantate bestehen, das Patientenalter nicht adäquat ist oder ein Implantat einfach nicht gewünscht wird.⁵⁰ Adhäsivbrücken werden heute vornehmlich auf der Basis von Gerüsten aus Materialien mit einem hohen E-Modul wie Nichtedelmetalllegierungen oder Zirkonoxidkeramiken hergestellt (Abb. 1a und b). Die empfohlenen Abtragsraten für Klebeflügel bewegen sich zwischen 0,5 und 0,7 mm.³⁴ Als weitere Voraussetzungen gelten vitale, überwiegend karies- und füllungsfreie Pfeilerzähne, ausreichende Platzverhältnisse zur Gegenbezahnung (ca. 0,8 mm) sowie genügend Zahnschmelz.⁵⁰

In einer klinischen Langzeitbewertung wurden für zweiflügelige Adhäsivbrücken über einen Zeitraum von zehn Jahren signifikant schlechtere Überlebenswahrscheinlichkeiten als für konventionelle Endpfeilerbrücken ermittelt.⁴⁵ Dennoch ist zu beachten, dass Oberkieferfrontzähne hinsichtlich eines Vitalitätsverlustes als besonders gefährdet eingestuft werden,

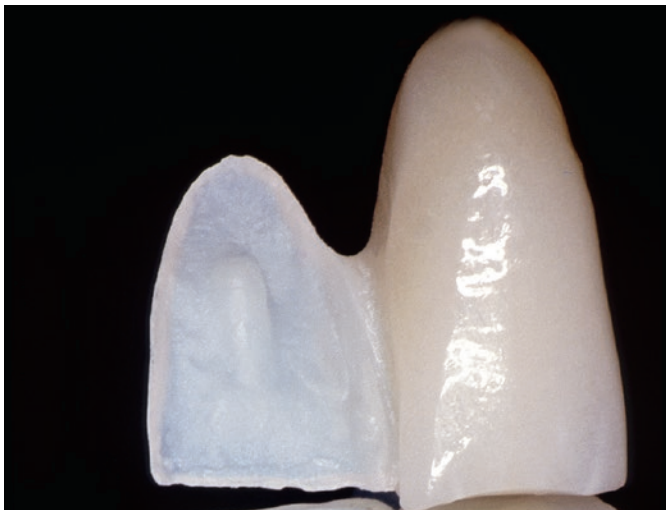


Abb. 2a Einflügelige Adhäsivbrücke aus Lithiumdisilikatkeramik zum Ersatz des Unterkieferschneidezahnes 42 (ZT Oliver Brix, Bad Homburg).



Abb. 2b Einflügelige Adhäsivbrücke aus Lithiumdisilikatkeramik nach der adhäsiven Befestigung. Aufgrund der geringen Breite des Extensionsgliedes 42 (kurzer Hebelarm) und der großen vertikalen Ausdehnung des Verbinders kann nach Meinung der Autoren auch eine Glaskeramik für diese spezifische Indikation im Unterkieferfrontzahnbereich eingesetzt werden.

wenn sie als Brückenpfeiler für klassische Brücken Verwendung finden.⁹ Zudem haben sich retentive Elemente bei Adhäsivbrücken als wesentlicher, den Erfolg bestimmender Faktor herausgestellt und sollten unbedingt unter Beachtung der jeweiligen Materialeigenschaften der Keramik oder des Metalls in der Präparation Berücksichtigung finden.^{1,34}

Durch die Einführung von einflügeligen Adhäsivbrücken auf Metallbasis in den 1980er Jahren konnte die Invasivität nochmals reduziert und eine unphysiologische Verblockung der Pfeilerzähne vermieden werden.³¹ In den 1990er Jahren führte die Verfügbarkeit einer infiltrierten Aluminiumoxidkeramik zum ersten Einsatz zweiflügeliger vollkeramischer Adhäsivbrücken in einer klinischen Studie, in der sich im weiteren Verlauf das Konzept der einflügeligen Adhäsivbrücke auf Zirkonoxidbasis als vorteilhaft erwies.^{34,50} Die verfügbaren Daten aus einer klinischen Langzeitstudie zeigen für einflügelige Adhäsivbrücken auf Zirkonoxidbasis nach zehn Jahren Liegedauer eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 94,4 %.³⁵ In ausgewählten Fällen können einflügelige Adhäsivbrücken auch auf der Basis von Lithiumdisilikatkeramik angefertigt werden (Abb. 2a und b).⁴⁹

Aufgrund des guten klinischen Langzeiterfolges, der überragenden Ästhetik und der geringen Invasivität können adhäsiv befestigte Veneers⁴⁴ bei vielen Indikationen eine interessante Alternative für eine Versorgung mit konventionellen Einzelkronen bieten.^{7,60} Silikatkeramische Werkstoffe gelten wegen der günstigen optischen und mechanischen Eigenschaften als Material der Wahl zum Ersatz verlorengegangenen Zahnschmelzes.^{39,41} Minimalinvasive Veneerpräparationen wie auch die provisorische Versorgung und die adhäsive Eingliederung stellen allerdings im Vergleich zur Vollkronenpräparation mit konventioneller Zementierung höhere Anforderungen an den Behandler.

Vollkeramische Veneers im Frontzahnbereich



Abb. 3a Unregelmäßige Zahnstellung und ausgeprägter Verschleiß an den Unterkieferfrontzähnen einer 59-jährigen Patientin. Nach starken funktionellen Problemen infolge einer fehlerhaften Bisslage konnte durch eine einjährige Schienentherapie ein beschwerdefreier Zustand erreicht werden, der in eine prothetische Versorgung überführt werden sollte.



Abb. 3b Veneerpräparation der Unterkieferfrontzähne im Long-Wrap-Design. Vor der Doppelmischabformung wurden Metallmatrizen in die Kontaktpunktbereiche der präparierten Zähne eingebracht, um ein Sägen des Meistermodells zu umgehen.



Abb. 3c Die auf feuerfesten Stümpfen geschichteten Veneers (IPS d.sign, Ivoclar Vivadent) nach der adhäsiven Eingliederung. Auffällig ist die ausgeprägte Längenveränderung. Die Verschachtelung der Zähne ließ sich deutlich reduzieren, obwohl eine wesentlich invasivere Vollkronenpräparation umgangen werden konnte (ZT Oliver Brix, Bad Homburg).



Abb. 3d Inzisalansicht nach Eingliederung der Veneers. Gut zu erkennen ist die vornehmlich additive Vorgehensweise, insbesondere an Zahn 31. Eine Vollkronenpräparation hätte vermutlich eine endodontische Behandlung der Zähne 41, 31 und 32 erfordert.

Der Erhalt von Zahnschmelzanteilen ist beim Veneer ein wesentlicher, den Erfolg bestimmender Faktor.^{8,29} Damit sollten Veneers fast ausschließlich als additive Versorgungsform konzipiert werden. Für die Präparationen gelten klare Prinzipien, dennoch können Veneers in Abhängigkeit von der individuellen klinischen Situation (Zahnposition, Grad der Destruktion, Okklusionsverhältnisse, parodontales Umfeld etc.) äußerst flexibel in der Gestaltung sein.^{40,52} Dies gilt sowohl für die inzisale Gestaltung als auch für die interproximale Ausdehnung.^{48,52} So bietet das Anlegen einer palatinalen Hohlkehle die höchsten Freiheitsgrade für die Festlegung der Inzisalkantenposition, was insbesondere bei umfangreicheren Zahnhartsubstanzverlusten wichtig ist.^{40,52} Ähnliches gilt für die interproximale Ausdehnung der Präparation.^{41,48}

Während das häufig angewendete Medium-Wrap-Design durch den Erhalt des Kontaktpunktes die Breite des bestehenden Zahnes bewahrt und damit die Länge gemäß dem definierten Breiten-Längen-Verhältnis vorgibt, bietet das Long-Wrap-Design, bei dem die Kontaktpunkte durch eine tiefe interproximale Ausdehnung aufgelöst werden, erheblich mehr Variationsmöglichkeiten in der Form und Stellung (Abb. 3a bis d). Letzteres sollte da-



Abb. 4a Ausgangssituation einer Patientin mit einem starken frontalen Überbiss bei minimaler sagittaler Frontzahnstufe (Angle-Klasse 2,2).



Abb. 4b Situation nach einjähriger Schienentherapie und Überführung in eine prothetische Versorgung. Die Implantate im Unterkieferseitenzahnbereich sind mit makromechanischen Verbundkronen versorgt, welche einen Austausch der Verblendung zulassen (Schweiger et al., Universität München).⁵³



Abb. 5a Auf feuerfesten Stümpfen gesinterte Long-Wrap-Veneers für den Einsatz bei parodontal vorgeschädigten Frontzähnen im Oberkiefer (ZTM Otto Prandtner, München).

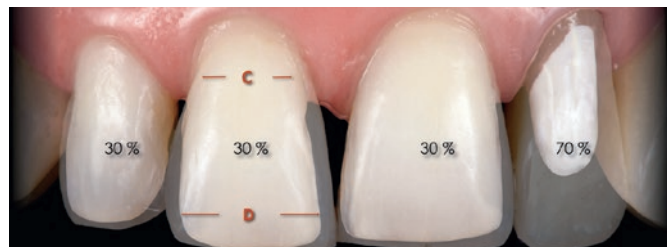


Abb. 5b Die Veneerpräparation wurde für eine horizontale Einschubrichtung angelegt. Dadurch ließ sich die Distanz C schmaler gestalten als die Distanz D (aus vertikaler Sicht also unter sich gehend). Gegenüber einer traditionellen Vollkronenpräparation wurden etwa 40 % weniger Zahnhartsubstanz abgetragen.

her vornehmlich bei starken Verfärbungen, Diastemata, umfangreichen Formänderungen, schwarzen Dreiecken und ausgeprägten Füllungen zum Einsatz kommen. Zudem ist bei Veneers in direkter Nachbarschaft zu Kronen die Long-Wrap-Variante empfehlenswert, weil dadurch der Kontaktpunkt zwischen beiden Restaurationen aus Keramik gestaltet werden kann (Abb. 4a und b).

Für die interproximale Präparation bieten sich oszillierende Instrumente (z. B. Sonicflex micro Spitze Nr. 28 und 29, Körnung D 25, halbes Torpedo, REF 0.571.6741/0.571.6731, KaVo Dental, Biberach) und Soflex-Scheiben (2382 M, 3M Espe, Seefeld) an (Abb. 5a).²² Im parodontal geschädigten Gebiss kann das Long-Wrap-Design mit einer horizontalen Insertionsachse kombiniert werden.³⁷ Dadurch ist es möglich, einen drastischen Zahnhartsubstanzabtrag im koronalen Bereich des Zahnes zu vermeiden. Die in Abbildung 5b mit C bezeichnete Distanz kann schmaler gestaltet werden als die mit D bezeichnetete Distanz. Mit dieser Methode lassen sich erhebliche Mengen an Zahnhartsubstanz erhal-



Abb. 6a Situation nach Entfernung einer dritten Generation von Veneers bei einer 54-jährigen Patientin. An den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne befanden sich ausgeprägte Kompositfüllungen mit Sekundärkaries.



Abb. 6b Einprobe von Full-Wrap-Veneers (Hybridkronen) mit Try-in-Pasten. Dem Wunsch der Patientin folgend, wurde eine möglichst minimalinvasive Präparationsform gewählt, sodass für die endgültige Versorgung zirkuläre (360°), auf feuerfesten Stümpfen gesinterte Veneers zum Einsatz kamen (ZTM Hubert Schenk, München).

ten. Sie ist allerdings in der klinischen und technischen Anwendung als sehr schwierig einzustufen.

Bei bestimmten Indikationen kann der Übergang zu einer Vollkrone fließend sein (Abb. 6a und b). Eine solche zirkuläre Präparationsform (360°) wird auch als Full-Wrap-Veneerdesign bezeichnet und bietet sich vor allem in komplexen Fällen mit einer Anhebung der Vertikaldimension der Okklusion an, um den palatinal an den Oberkieferfrontzähnen entstehenden Freiraum zu schließen.¹³ Alternativ kann die von Vailati und Belser⁵⁶ beschriebene Three-Step-Technik eingesetzt werden, bei der dieser palatinale Raum zunächst mit Komposit aufgebaut wird, bevor die Versorgung der Labialflächen mit adhäsiv befestigten keramischen Veneers erfolgt (Sandwich-Technik).

Grundsätzlich ist eine vom Wax-up abgeleitete diagnostische Schablone oder ein Silikonindex (Präp-Guide) für die Orientierung während der Präparation unverzichtbar, da hierdurch eine Ökonomisierung des Substanzabtrages in Anlehnung an die bereits definierte Außenkontur des späteren Veneers ermöglicht wird.^{29,41,46} Bei ausgeprägten Verfärbungen sollte die Präparationstiefe geringfügig ausgedehnt werden, um dem Zahntechniker eine adäquate Maskierungsmöglichkeit zu bieten.^{13,17}

Silikatkeramische Veneers stellen eine Restaurationsform mit vorhersagbarem Erfolg dar. In einer kürzlich veröffentlichten retrospektiv angelegten 10-Jahres-Studie wiesen sie eine klinische Überlebenswahrscheinlichkeit von 93,5 % auf.⁵ Die ersten Zwischenergebnisse einer prospektiv angelegten klinischen Studie zu Veneers im Long-Wrap-Design sind vielversprechend, aber die Datenlage hierzu ist ebenso wie die zu den Full-Wrap-Veneers derzeit noch unzureichend.²⁸ Als wesentliche Risikofaktoren für Veneers gelten Bruxismus, eine zu geringe Schmelzunterstützung und endodontisch behandelte Zähne.^{5,8,29,44}

Vollkeramische Repositionsonlays

Auch im Seitenzahnbereich stellen adhäsiv befestigte vollkeramische Teilrestorationen eine gesicherte Therapieform dar.^{26,57} Anzumerken ist, dass sich die meisten klinischen Langzeitstudien auf leuzitverstärkte Glaskeramiken beziehen, während heute wesentlich festere



Abb. 7 Minimalinvasive Restaurationen aus Lithiumdisilikat-Presskeramik in der Schichttechnik im Frontzahnbereich (IPS e.max Press LT und IPS e.max Ceram) und monolithisch im Seitenzahnbereich (IPS e.max Press HT) (ZT Oliver Brix, Bad Homburg).

Varianten auf der Basis von Lithiumdisilikatkeramik verfügbar sind (Abb. 7).^{27,36,51} Durch eine defektorientierte Präparation und die Umgehung retentiver Präparationsgeometrien bieten vollkeramische Onlays einen sinnvollen Weg zur Vermeidung zahnhartsubstanzfordernder traditioneller prothetischer Maßnahmen.^{17,24,38} In der 4. Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS IV) zeigte sich eine hohe Prävalenz von Wurzelkaries und nicht kariösen Defekten, welche zukünftig einen steigenden Bedarf an Einzelzahnrestaurationen erwarten lässt.⁴² Insbesondere junge Patienten mit ausgeprägten abrasiven oder/und erosiven Veränderungen an den Zähnen lassen angesichts der noch stark ausgedehnten Zahnpulpa den Wunsch nach einer dauerhaften, wenig invasiven Versorgung aufkommen (Abb. 8a). Als wesentliche Behandlungsziele sind neben der Ausschaltung abrasions- und erosionsfördernder Einflüsse die ästhetische und funktionelle Rehabilitation sowie die Rekonstruktion der Biomechanik betroffener Zähne zu definieren. Zudem sollte durch die restaurativen Maßnahmen einem weiteren pathologischen Verschleiß dauerhaft entgegengewirkt werden.

Durch die Einführung von Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max Press oder CAD, Ivoclar Vivadent, Ellwangen), die gegenüber klassischen Silikatkeramiken eine höhere Biegefestigkeit und Risszähigkeit aufweist, haben sich die Richtlinien für die Abtragsraten glaskeramischer Onlays erheblich reduziert. Heute gelten okklusale Mindestschichtstärken von 1,0 mm für monolithische Restaurationen (Maltechnik). Eine weitere Reduzierung dieser Schichtstärke wird gegenwärtig bei entsprechender Unterstützung durch Zahnschmelz diskutiert.^{11,24,27,36}

Glaskeramische Onlayschalen erscheinen zurzeit aufgrund der schmelzähnlichen Eigenschaften und des optimalen Grenzflächenverhaltens sehr gut geeignet, abradierete und erodierte Seitenzähne zu rekonstruieren.³⁸ Sie sind besonders zahnhartsubstanzschonend, solange man es vermeidet, über den Äquator hinaus in die Infrawölbung des Zahnes zu präparieren (Abb. 8b). Damit bieten sie die Möglichkeit, erheblich invasivere traditionelle prothetische Maßnahmen zu umgehen. Eine entscheidende Voraussetzung ist eine überwiegend schmelzbegrenzte Präparation. Ausgedehnte silikatkeramische Onlays zeigten in In-vitro-Untersuchungen ein sehr vorteilhaftes Stressmuster, das fast ausschließlich eine für



Abb. 8a Ausgedehnte abrasiv/erosiv bedingte Defekte an den Okklusalfächen der Oberkieferseitenzähne haben bei einem 28-jährigen Patienten zu einer Absenkung der Vertikaldimension der Okklusion geführt.



Abb. 8b Einprobe monolithischer Repositionsonlays aus IPS e.max Press mit einer okklusalen Schichtstärke von 1 mm. Die Präparation bestand lediglich in einer Glättung des okklusalen Plateaus und dem Anlegen einer 0,5 mm tiefen Hohlkehle oberhalb des Zahnäquators.

Abb. 8c Ansicht nach adhäsiver Eingliederung der Repositionsonlays mit lichthärtendem Befestigungsmaterial (Syntac, Total Etch, Variolink II Base, Monobond Plus, Ivoclar Vivadent).



Keramiken günstige Kompression im Bereich der Grenzflächen aufwies.³⁸ Alle Übergänge sollten allerdings weich und abgerundet gestaltet werden, um Belastungsspitzen innerhalb der Restauration zu vermeiden (Abb. 8b und c).²

Grundsätzlich ist es sinnvoll, zwischen reinen Onlays (rein okklusale Ausdehnung) und Onlay-Veneers (Einbeziehung der vestibulären Fläche) zu unterscheiden. Letztere wären indiziert, wenn eine umfangreiche Farbänderung in der ästhetischen Zone (Prämolarenbereich) erwünscht ist.¹⁴ Silikatkeramische Onlays zeigten in einer kontrollierten prospektiven klinischen Studie nach 12 Jahren zufriedenstellende Langzeitergebnisse und können auch bei ausgedehnten Zahnhartsubstanzdefekten eingesetzt werden.²⁶ In einer weiteren klinischen Studie mit einer Beobachtungsdauer von 12,6 Jahren betrug die Misserfolgsquote an vitalen Zähnen 20,9 %, an endodontisch behandelten Zähnen jedoch 39 %.⁵⁷

Restorationen aus CAD/ CAM-Polymeren

Moderne Herstellungstechnologien ermöglichen die Verwendung industriell polymerisierter Kunststoffe oder Composite, deren Materialqualität temporären Restaurationen aus direkter Fertigung deutlich überlegen ist. Diese sogenannten Hochleistungspolymere verfügen aufgrund der Polymerisation unter optimalen Bedingungen über eine hohe Homogenität, die zu zahlreichen Vorteilen führt. Dazu zählen eine höhere Langzeitstabilität, eine bessere Biokompatibilität, ein günstigeres Verschleißverhalten im Vergleich zu manuell hergestellten Polymeren sowie eine gegenüber keramischen Restaurationsmaterialien bessere CAD/CAM-Verarbeitbarkeit bei geringen Schichtstärken.^{33,51,55}

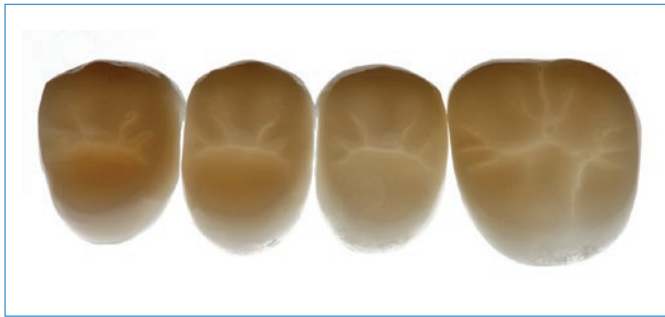


Abb. 9a Okklusale Repositionsonlays können auch im Sinne einer permanenten Schiene zur Korrektur von Bisslagen auf bestehendem Zahnersatz eingesetzt werden.



Abb. 9b Kauflächenveneers auf bereits vorhandenem Zahnersatz. Nach erfolgreicher Schienentherapie wurde die funktionell erprobte Bisslage in langzeitprovisorische Kauflächenveneers aus PMMA-basiertem CAD/CAM-Polymer überführt. Dazu wurden die bestehenden metallkeramischen Restaurationen okklusal tribochemisch silikatisiert (CoJet), gereinigt und mit einem Haftvermittler (Monobond Plus) versehen (ZT Josef Schweiger, Universität München).

Komplexe Rehabilitationen stellen für das gesamte restaurative Team eine besondere Herausforderung dar. Dies gilt vor allem, wenn die Vertikaldimension der Okklusion rekonstruiert oder neu definiert werden soll. Heute lässt sich eine erhebliche Ausdehnung der Vorbehandlungsphase zur Erarbeitung funktioneller und ästhetischer Gesichtspunkte durch die Verfügbarkeit von Hochleistungspolymeren realisieren.¹⁶ Diese können bei richtiger Anwendung der Adhäsivtechnik sowohl auf natürlichen Zähnen als auch auf bereits bestehenden Restaurationen verwendet werden. Damit wird eine zeitlich ausgedehnte Überprüfung eines Restaurationsentwurfes ermöglicht und eine hohe Vorhersagbarkeit für die definitive Rehabilitation geschaffen.

Hochleistungspolymere sind aktuell vornehmlich für Einzelzahnrestorationen indiziert. Grundsätzlich können PMMA-basierte, meist ungefüllte Materialien für die langzeitprovisorische Versorgung (z. B. Telio CAD, Ivoclar Vivadent, oder Vita CAD-Temp, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) von solchen mit einem hohen anorganischen Anteil für die definitive Restauration (z. B. Lava Ultimate, 3M Espe, oder Vita Enamic, Vita Zahnfabrik) unterschieden werden. Für die dauerhafte adhäsive Befestigung wird mit Ausnahme von Vita Enamic (ätzbar mit Fluorwasserstoffsäure) ein vorsichtiges Strahlen der Innenfläche der Restauration (Rocatec Soft, 3M Espe, 33 µm Korngröße bei 1 bar Strahldruck) und das nachfolgende Auftragen eines Haftvermittlers empfohlen.⁴

Für die intraorale adhäsive Befestigung der CAD/CAM-Polymere an bereits bestehenden Restaurationen bieten sich Verfahren zur intraoralen Silikatisierung (z. B. CoJet, 3M Espe) an. Um während des intraoralen Silikatisierungsprozesses nur exakt die Klebeflächen zu silikatisieren, empfiehlt sich der Einsatz einer Tiefziehfolie, die selektiv im Bereich der Oberflächenkonditionierung perforiert wird.²⁰ Durch die Verwendung eines Spezialstrahlgutes (Rocatec Soft) werden die Oberflächen der bestehenden Restaurationen in einem Arbeitsschritt gereinigt, angeraut, aktiviert und silikatisiert. Nach der Silikatisierung wird die Schutzfolie vorsichtig entfernt, und verbliebene Strahlgutanteile werden mit Hilfe des Luftbläfers von der Klebefläche entfernt (Abb. 9a und b).²⁰ Mittlerweile untersuchen klini-



Abb. 10a Ausgangssituation einer 52-jährigen Patientin. Die starke parodontale Vorschädigung beeinträchtigte das ästhetische und funktionelle Erscheinungsbild der Frontzähne.



Abb. 10b Als Präparationsdesign wurde das in Abbildung 5b dargestellte Long-Wrap-Design mit horizontaler Einschubrichtung gewählt, um einen übermäßigen Substanzabtrag zu vermeiden.

Abb. 10c Einprobe experimenteller Veneers aus hochgefülltem CAD/CAM-Polymer im Rahmen einer prospektiv angelegten klinischen Studie. Der Vorteil dieses Materials liegt in der gegenüber Keramiken höheren Flexibilität, welche die Frakturgefahr während der Eingliederungsphase reduziert.



sche Studien auch die Eignung dieser Materialien als permanente Versorgungsformen.^{15,30} Hierbei wird u. a. ein besonderes Augenmerk auf die Abrasionsfestigkeit und das Verhalten im direkten Kontakt zum natürlichen Antagonisten zu richten sein.

Durch den Einsatz der Hochleistungspolymere rücken zunehmend neue interessante Therapieoptionen und Indikationsbereiche in den Fokus.⁵³ So könnten weniger invasive Restaurationsformen u. a. zur Versorgung parodontal vorgeschädigter Zähne entwickelt werden, da Polymere über einen niedrigeren E-Modul verfügen und damit bei sehr grazilen Geometrien weniger frakturanfällig als keramische Werkstoffe sind (Abb. 10a bis c). Weitere Vorteile ergeben sich aus den besseren CAD/CAM-Verarbeitungseigenschaften gegenüber Keramiken im Hinblick auf die Kantenstabilität, welche bei bestimmten Indikationen ein rein additives restauratives Vorgehen erlaubt und eine Präparation überflüssig macht.¹⁶

Diskussion Die gesicherte adhäsive Anbindung an den Zahnschmelz und an silikatkeramische Restaurationsmaterialien hat bereits vor Jahrzehnten die Präparationsgestaltung erheblich zugunsten der Schonung gesunder Zahnhartsubstanz beeinflusst.^{18,19} Diese Restaurationen werden vor allem wegen der geringen Devitalisierungsgefahr, des schonenden Umgangs mit der Zahnhartsubstanz und des hohen ästhetischen Potenzials als vorteilhaft angesehen. Bei aller Begeisterung über die dargestellten Möglichkeiten ist zu beachten, dass bei den beschriebenen Methoden eine hohe Behandlerabhängigkeit im Hinblick auf die Präparation (vornehmlich im Zahnschmelz), die adhäsive Befestigung sowie die abschließenden Maßnahmen zur Feinadjustierung der statischen und dynamischen Okklusion besteht.^{6,8,25,58}

Die Einhaltung definierter Richtlinien in den verschiedenen klinischen und technischen Behandlungsphasen gilt als Schlüsselfaktor für den klinischen Langzeiterfolg.¹² Während zu minimalinvasiven Versorgungsformen mit keramischen Werkstoffen eine hohe Anzahl klinischer Langzeitstudien verfügbar ist,^{5,6,35,44,57} fehlen zurzeit ausreichend valide klinische Daten zum Langzeitverhalten von minimalinvasiven definitiven Versorgungsformen aus CAD/CAM-Polymeren.^{21,59}

Die Autoren des vorliegenden Beitrags haben bislang sehr gute Erfahrungen mit langzeitprovisorischen Einzelzahnversorgungen aus CAD/CAM-Polymeren auf PMMA-Basis sammeln können.^{16,32} Eine prospektiv angelegte, kontrollierte klinische Studie mit hochgefüllten CAD/CAM-Polymeren als definitivem Restaurationmaterial bei Patienten mit generalisierten Zahnhartsubstanzverlusten wurde vor einem Jahr in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität München begonnen (Projekt-Nr. 541-12). Die mittlerweile mehr als zehn Patienten zeigten sich von dem vornehmlich additiv ausgerichteten Versorgungskonzept ausnahmslos begeistert, da in der Mehrzahl dieser komplexen Fälle entweder keine oder eine nur geringfügige Präparation erforderlich wurde. Allerdings lässt der kurze Beobachtungszeitraum zurzeit noch keine wissenschaftliche Bewertung zu.

Dem prothetisch tätigen Zahnarzt stehen heute zahlreiche Alternativen zu konventionellen, meist wesentlich invasiveren Therapiemitteln zur Verfügung. Zu vielen Versorgungsmöglichkeiten gibt es mittlerweile valide Langzeitdaten, die bezogen auf die Werkstoffklasse Keramik bei einer ganzen Reihe von Indikationen als wissenschaftlich gesichert gelten. Für CAD/CAM-Polymere als definitive Versorgungsform müssen die Langzeitergebnisse noch abgewartet werden. Generell gelten die beschriebenen Methoden als sehr techniksensitiv und verlangen daher fundierte Vorkenntnisse von Seiten des Behandlers und des Zahntechnikers. Auch konnte der vorliegende Beitrag nur einen kleinen Teil des Gesamtspektrums der zur Verfügung stehenden minimalinvasiven Therapiemöglichkeiten darstellen.

Fazit

1. Aggstaller H, Beuer F, Rammelsberg P, Edelhoff D, Gernet W. Long-term clinical performance of resin bonded fixed dental protheses with retentive preparation geometry in anterior and posterior areas. *J Adhes Dent* 2008;10:301–306.
2. Ahlers MO, Mörig G, Blunck U, Hajtó J, Pröbster L, Frankenberger R. Richtlinien für die Präparation CAD/CAM-gefertigter Keramikinlays und Teilkronen. *Int J Comput Dent* 2009;12:309–325.
3. Al-Fouzan AF, Tashkandi EA. Volumetric measurements of removed tooth structure associated with various preparation designs. *Int J Prosthodont* 2013;26:545–548.
4. Bähr N, Keul C, Edelhoff D et al. Effect of different adhesives combined with two resin composite cements on shear bond strength to polymeric CAD/CAM materials. *Dent Mater J* 2013;32:492–501.
5. Beier US, Kapferer I, Burtscher D, Dumfahrt H. Clinical performance of porcelain laminate veneers for up to 20 years. *Int J Prosthodont* 2012;25:79–85.
6. Beier US, Kapferer I, Dumfahrt H. Clinical long-term evaluation and failure characteristics of 1,335 all-ceramic restorations. *Int J Prosthodont* 2012;25:70–78.
7. Belser UC, Magne P, Magne M. Ceramic laminate veneers: continuous evolution of indications. *J Esthet Dent* 1997;9:197–207.
8. Burke FJ. Survival rates for porcelain laminate veneers with special reference to the effect of preparation in dentin: a literature review. *J Esthet Restor Dent* 2012;24:257–265.
9. Cheung GS, Lai SC, Ng RP. Fate of vital pulps beneath a metal-ceramic crown or a bridge retainer. *Int Endod J* 2005;38:521–530.
10. Chun YH, Raffelt C, Pfeiffer H, et al. Restoring strength of incisors with veneers and full ceramic crowns. *J Adhes Dent* 2010;12:45–54.

Literatur

11. Cortellini D, Canale A. Bonding lithium disilicate ceramic to feather-edge tooth preparations: a minimally invasive treatment concept. *J Adhes Dent* 2012;14:7–10.
12. D’Arcangelo C, de Angelis F, Vadini M, d’Amario M. Clinical evaluation on porcelain laminate veneers bonded with light-cured composite: results up to 7 years. *Clin Oral Investig* 2012;16:1071–1079.
13. Edelhoff D, Beuer F, Güth J-F, Brix O. Vollkeramische Restauration: Präparation und Farbnahme. *Zahnarzt Wirtschaft Praxis* 2013;19:60–64.
14. Edelhoff D, Brix O, Stimmelmayer M, Beuer F. Ästhetische und funktionelle Gesamtrehabilitation eines Patienten unter Einsatz von Lithiumdisilikatkeramik – Ein Fallbericht. *Quintessenz* 2013;64:623–638.
15. Edelhoff D, Güth J-F, Schweiger J, Maier B, Beuer F. Vorbehandlung komplexer Fälle in der fest-sitzenden Prothetik – Neue Materialien und Konzepte. *Der Freie Zahnarzt, wissen kompakt* 2010;4:3–14.
16. Edelhoff D, Schweiger J, Brix O. Komplexe Rehabilitation ausgeprägter Zahnhartsubstanzdefekte mit noninvasiven temporären Restaurationen aus Hochleistungspolymer. *Quintessenz* 2012;63:469–480.
17. Edelhoff D, Seiffert A, Güth J-F. Lichttransmission von Lithiumdisilikat-Keramik in Abhängigkeit vom Transluzenzgrad. *Quintessenz Zahntech* 2013;39:22–26.
18. Edelhoff D, Sorensen JA. Tooth structure removal associated with various preparation designs for posterior teeth. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2002;22:241–249.
19. Edelhoff D, Sorensen JA. Tooth structure removal associated with various preparation designs for anterior teeth. *J Prosthet Dent* 2002;87:503–509.
20. Edelhoff D, Spiekermann H, Yildirim M. Reparatur an feststehendem Zahnersatz durch intraorale Silikatisierung. *Zahnärztl Mitt* 2005;95:40–46.
21. Fasbinder DJ, Dennison JB, Heys DR, Lampe K. The clinical performance of CAD/CAM-generated composite inlays. *J Am Dent Assoc* 2005;136:1714–1723.
22. Faus-Matoses I, Solá-Ruiz F. Dental preparation with sonic vs high-speed finishing: analysis of microleakage in bonded veneer restorations. *J Adhes Dent* 2014;16:29–34.
23. Foster LV. Failed conventional bridge work from general dental practice: clinical aspects and treatment needs of 142 cases. *Br Dent J* 1990;168:199–201.
24. Fradeani M, Barducci G, Bacherini L, Brennan M. Esthetic rehabilitation of a severely worn dentition with minimally invasive prosthetic procedures (MIPP). *Int J Periodontics Restorative Dent* 2012;32:135–147.
25. Frankenberger R, Reinelt C, Petschelt A, Krämer N. Operator vs. material influence on clinical outcome of bonded ceramic inlays. *Dent Mater* 2009;25:960–968.
26. Frankenberger R, Taschner M, Garcia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N. Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years. *J Adhes Dent* 2008;10:393–398.
27. Guess PC, Selz CF, Steinhart YN, Stampf S, Strub JR. Prospective clinical split-mouth study of pressed and CAD/CAM all-ceramic partial-coverage restorations: 7-year results. *Int J Prosthodont* 2013;26:21–25.
28. Guess PC, Stappert CF. Midterm results of a 5-year prospective clinical investigation of extended ceramic veneers. *Dent Mater* 2008;24:804–813.
29. Gurel G, Sesma N, Calamita MA, Coachman C, Morimoto S. Influence of enamel preservation on failure rates of porcelain laminate veneers. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2013;33:31–39.
30. Güth J-F, Ihloff H, Edelhoff D, Mast G. Complete mouth rehabilitation after transposition osteotomy based on intraoral scanning: An experimental approach. *J Prosthet Dent* 2014;112:89–93.
31. Hopkins C. An immediate cantilevered Rochette bridge. *Br Dent J* 1981;151:292–295.
32. Huth KC, Edelhoff D, Schweiger J. Dentinogenesis imperfecta – von der Rehabilitation im Milchgebiss bis zur non-invasiven Restauration mit Hochleistungspolymer im jugendlichen bleibenden Gebiss. *Deutscher Zahnärztekalendar* 2011;70:23–35.
33. Jakob F, Jungbauer G, Schneider J, et al. Biocompatibility of new CAD/CAM-machinable materials for provisional long-term restorations. 45th IADR Meeting, Barcelona 2010, Abstr 134462.
34. Kern M. Einflügelige Adhäsivbrücken und Adhäsivattachments – Innovation mit Bewährung. *Zahnärztl Mitt* 2005;95(21):54–60.
35. Kern M, Sasse M. Ten-year survival of anterior all-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses. *J Adhes Dent* 2011;13:407–410.
36. Ma L, Guess PC, Zhang Y. Load-bearing properties of minimal-invasive monolithic lithium disilicate and zirconia occlusal onlays: finite element and theoretical analyses. *Dent Mater* 2013;29:742–751.

37. Magne P, Belser U. Evolution of indications for anterior bonded porcelain restorations. Major morphologic modifications. In: Magne P, Belser U. Bonded porcelain restorations in the anterior dentition. Chicago: Quintessence, 2002:140–142.
38. Magne P, Belser U. Porcelain versus composite inlays/onlays: effect of mechanical loads on stress distribution, adhesion, and crown flexure. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:543–555.
39. Magne P, Douglas WH. Porcelain veneers: dentin bonding optimization and biomimetic recovery of the crown. *Int J Prosthodont* 1999;12:111–121.
40. Magne P, Douglas WH. Design optimization and evolution of bonded ceramics for the anterior dentition: a finite-element analysis. *Quintessence Int* 1999;30:661–672.
41. Magne P, Douglas WH. Interdental design of porcelain veneers in the presence of composite fillings: finite element analysis of composite shrinkage and thermal stresses. *Int J Prosthodont* 2000;13:117–124.
42. Micheelis W, Schiffner U. Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). IDZ-Materialienreihe Bd 31. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV, 2006.
43. Murphy F, McDonald A, Petrie A, Palmer G, Setchell D. Coronal tooth structure in root-treated teeth prepared for complete and partial coverage restorations. *J Oral Rehabil* 2009;36:451–461.
44. Peumans M, van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Porcelain veneers: a review of the literature. *J Dent* 2000;28:163–177.
45. Pjetursson BE, Lang NP. Prosthetic treatment planning on the basis of scientific evidence. *J Oral Rehabil* 2008;35:72–79.
46. Rieder CE. The use of provisional restorations to develop and achieve esthetic expectations. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1989;9:122–139.
47. Rochette AL. Attachment of a splint to enamel of lower anterior teeth. *J Prosthet Dent* 1973;30:418–423.
48. Rouse JS. Full veneer versus traditional veneer preparation: A discussion of interproximal extension. *J Prosthet Dent* 1997;78:545–549.
49. Sailer I, Bonani T, Brodbeck U, Hämmerle CH. Retrospective clinical study of single-retainer cantilever anterior and posterior glass-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses at a mean follow-up of 6 years. *Int J Prosthodont* 2013;26:443–450.
50. Sasse M, Kern M. All-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses: Treatment planning, clinical procedures, and outcome. *Quintessence Int* 2014;45:291–297.
51. Schlichting LH, Maia HP, Baratieri LN, Magne P. Novel-design ultra-thin CAD/CAM composite resin and ceramic occlusal veneers for the treatment of severe dental erosion. *J Prosthet Dent* 2011;105:217–226.
52. Schmidt KK, Chiayabutr Y, Phillips KM, Kois JC. Influence of preparation design and existing condition of tooth structure on load to failure of ceramic laminate veneers. *J Prosthet Dent* 2011;105:374–382.
53. Schweiger J, Neumeier P, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Macro-retentive replaceable veneers on crowns and fixed dental prostheses: a new approach in implant-prosthodontics. *Quintessence Int* 2013;44:341–349.
54. Soares PV, Santos-Filho PC, Martins LR, Soares CJ. Influence of restorative technique on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary premolars. Part I: fracture resistance and fracture mode. *J Prosthet Dent* 2008;99:30–37.
55. Stawarczyk B, Özcan M, Trottman A, Schmutz F, Roos M, Hämmerle C. Two-body wear rate of CAD/CAM resin blocks and their enamel antagonists. *J Prosthet Dent* 2013;109:325–332.
56. Vailati F, Belser UC. Full-mouth adhesive rehabilitation of a severely eroded dentition: the three-step technique. Part 1-3. *Eur J Esthet Dent* 2008;3:30–44,128–146,236–257.
57. Van Dijken JW, Hasselrot L. A prospective 15-year evaluation of extensive dentin-enamel-bonded pressed ceramic coverages. *Dent Mater* 2010;26:929–939.
58. Van Dijken JW, Hasselrot L, Örmín A, Olofsson A-L. Restorations with extensive dentin/enamel-bonded ceramic coverage. A 5-year follow-up. *Dent Mater* 2001;109:222–229.
59. Vanoorbeek S, Vandamme K, Lijnen I, Naert I. CAD/CAM-composite resin versus ceramic single-tooth restorations: a 3-year clinical study. *Int J Prosthodont* 2010;23:223–230.
60. Walls AW. The use of adhesively retained all-porcelain veneers during the management of fractured and worn anterior teeth: Part 2. Clinical results after 5 years of follow-up. *Br Dent J* 1995;178:337–340.

**Prof. Dr. med. dent. Daniel Edelhoff**

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Klinikum der Universität München
Goethestraße 70
80336 München
E-Mail: daniel.edelhoff@med.uni-muenchen.de

Dr. med. dent. Anja Liebermann

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Klinikum der Universität München
(Adresse wie oben)

Prof. Dr. med. dent. Florian Beuer

Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin
Hindenburgdamm 30
12200 Berlin

PD Dr. med. dent. Michael Stimmelmayer

Praxis für Oralchirurgie
Josef-Heilingbrunner-Straße 2
93413 Cham

Dr. med. dent. Jan-Frederik Güth

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Klinikum der Universität München
(Adresse wie oben)

Summary

Minimally invasive treatment options have become increasingly feasible in restorative dentistry, due to the introduction of the adhesive technique in combination with restorative materials featuring translucent properties similar to those of natural teeth. Mechanical anchoring of restorations via conventional cementation represents a predominantly subtractive treatment approach that is gradually being superseded by a primarily defect-oriented additive method in prosthodontics. Modifications of conventional treatment procedures have led to the development of an economical approach to the removal of healthy tooth structure. This is possible because the planned treatment outcome is defined in a wax-up before the treatment is commenced and this wax-up is subsequently used as a reference during tooth preparation. Similarly, resin-bonded FDPs and implants have made it possible to preserve the natural tooth structure of potential abutment teeth. This report describes a number of clinical cases to demonstrate the principles of modern prosthetic treatment strategies and discusses these approaches in the context of minimally invasive prosthetic dentistry.