

Polymere in der festsitzenden zahnärztlichen Prothetik – Eine klinische Übersicht

Polymer-basierte Füllungsmaterialien gelten heutzutage als Standard im Bereich der direkten plastischen Versorgung von Kavitäten. Insbesondere die Weiterentwicklung der Polymere hin zu CAD/CAM-basierten Hochleistungspolymeren in den letzten Jahren ermöglichte die Nutzung Polymer-basierter Materialien auch zur Herstellung indirekter Restaurationen. In diesem Zusammenhang entwickelten sich durch die Anwendung von Polymeren innovative Behandlungskonzepte, die mehr und mehr Einfluss auf dem Gebiet der festsitzenden zahnärztlichen Prothetik – insbesondere bei ausgedehnten Vorbehandlungen komplexer Fälle – gewannen.

Inwiefern diese Hochleistungspolymere als Material für definitive Versorgungen geeignet sind, ob sie eine Alternative zur Keramik darstellen und welche Indikationen und Limitationen es gibt, wird im folgenden Artikel diskutiert. Dabei werden die grundlegenden Materialuntergruppen beleuchtet und mögliche Anwendungsgebiete anhand klinischer Fallbeispiele präsentiert.

Überblick: Materialien

Bei Polymer-basierten CAD/CAM-Materialien handelt es sich um Werkstoffe, die im Gegensatz zu direkten, plastischen Füllungsmaterialien unter industriellen Bedingungen hergestellt werden. Diese industrielle Fertigung ermöglicht optimale Herstellungsbedingungen (z. B. konstante Druck- und Temperaturverhältnisse), was zu verbesserten mechanischen Eigenschaften, verglichen mit im Mund oder Labor, der chemisch oder

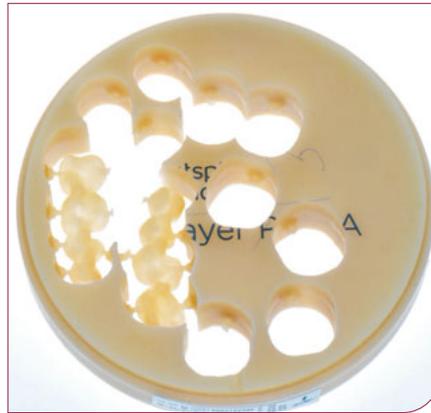


Abb. 1 Ceramil A-Temp (Fa. Amann Girrbach AG, Koblach, Österreich) Multilayer Blank mit hergestellten Restaurationen.

lichthärtend polymerisierten Materialien führt^{1,2}.

Hinsichtlich Polymer-basierter Materialien für die Herstellung indirekter Restaurationen existiert eine große Auswahl verschiedener Produkte verschiedener Hersteller. Weiter lassen sich mittlerweile Polymer-basierte Materialien, neben der subtraktiven Bearbeitung, auch additiv herstellen. Zu den Polymeren, die im subtraktiven Verfahren hergestellt werden, gehören z. B. die Polymethylmethacrylat (PMMA)-Materialien, CAD/CAM-Komposite und Polymer-infiltrierte Keramiken (PICN). Zu den additiv gefertigten Polymeren gehören die 3-D-gedruckten Hybridkeramiken.

Subtraktiv gefertigte Polymere

PMMA-Materialien

PMMA-Materialien sind in Form von Ronden oder Blöcken als monochrome Blanks oder Multilayer Blanks in diver-

sen Farben erhältlich. Das Hauptanwendungsgebiet der PMMA-Materialien ist zumeist die Herstellung langzeitprovisorischer Einzelzahnrestorationen und Brücken (meist bis maximal 2 Zwischenglieder) sowie die Verwendung als Schienenmaterial oder die Nutzung als Prothesenkunststoff. Hier sei auf die Hersteller-spezifischen Zulassungen und Indikationen hingewiesen.

Im Hinblick auf eine Nutzung als langzeitprovisorische Einzelzahnversorgung orientiert sich die Befestigung von PMMA-Zahnersatz an der restlichen geplanten Behandlungstrecke. Bei einer geplanten Verweildauer von mehreren Monaten, bei defektorientierter Präparation mit geringer Retention oder bei Non-Prep-Versorgungen, beispielweise zur Bisshebung- und Stabilisierung, können mit entsprechender Vorbehandlung auch PMMA-Restaurationen adhäsiv befestigt werden. Die PMMA-Versorgungen werden dann bei der Umsetzung in definitiven Zahnersatz im Rahmen der Präparation, ggf. auch rotierend, entfernt.

Bei kürzerer geplanter Tragezeit, beispielsweise als provisorische Versorgung überkronungsbedürftiger Zähne vor Parodontaltherapie, kann bei retentiver Präparation eine provisorische Befestigung mit gängigen Materialien erfolgen.

CAD/CAM-Komposite/ Hybridkeramiken

Subtraktiv gefertigte CAD/CAM-Komposite (oder Hybridkeramiken) bestehen aus organischen Polymeren (z. B. Bis-GMA, UDMA etc.) und anorganischen Füllstoffen (z. B. Siliziumoxid, Kieselsäure etc.). Der Anteil der anorganischen Füllstoffe ist bei diesen Werkstoffen

deutlich höher als bei PMMA-Materialien und die Zusammensetzung ist vergleichbar mit der direkter Füllungsmaterialien.

Es existieren diverse Produkte auf dem Markt, die in diese Materialgruppe einzuordnen sind. Abhängig von der prozentualen Zusammensetzung von Polymeren und Füllkörpern gilt dabei grundsätzlich, dass ein höherer Füllstoffanteil zu einer verbesserten Abrasionsbeständigkeit, geringeren Wasseraufnahme und einer geringeren Schrumpfung führt³⁻⁵.

Trotz ähnlicher Zusammensetzung wie direkte Füllungsmaterialien liegt der entscheidende Unterschied zu diesen in der industriellen Polymerisation der subtraktiv gefertigten CAD/CAM-Komposite. Dies bewirkt eine geringere Schrumpfung durch den Wegfall der intraoralen Polymerisation, einen höheren Vernetzungsgrad der einzelnen Polymere sowie einen geringeren Restmonomergehalt⁶⁻⁹.

Durch die gute Vernetzung und den hohen Polymerisationsgrad ist die Reaktivität dieser Materialgruppe jedoch eingeschränkt, was in einer geringeren chemischen Anbindung zu Befestigungskompositen resultiert¹⁰. Um dies zu kompensieren, sollte bei der Eingliederung den spezifischen Herstellerangaben – insbesondere bezüglich der Vorbehandlung – gefolgt werden. Klinische Dreijahresdaten weisen eine Überlebensrate von CAD/CAM-Kompositen im Bereich von 87,9 % und Erfolgsraten im Bereich von 55,6 % auf¹¹.

Polymerinfiltrierte Keramiken

Die Struktur der PICN besteht aus einem keramischen Anteil, welcher ca. bei 86 Vol.-% liegt, sowie aus organischen Stoffen.

Das einzige, aktuell auf dem Markt verfügbare Material, welches dieser Kategorie zugeordnet werden kann, ist die PICN-Keramik Vita Enamic (Fa. Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad



Abb. 2 Exemplarische Darstellung verschiedener fräsbarer CAD/CAM-Polymere, von links nach rechts: Cerasmart 270 (GC Corporation, Tokyo, Japan), Vita Enamic (Fa. Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckigen), Lava Ultimate (3M Corporation, Minnesota, Vereinigte Staaten).

Säckigen). Diese PICN ist als mono- und multichrome Variante und in 3 Transluzenzstufen erhältlich. Vita Enamic ist zur Herstellung von definitiven Einzelzahnrestorationen (Inlay, Onlay, Teilkronen, Kronen) freigegeben. Dabei werden in der Literatur Schmelz- und Dentin-ähnliche Eigenschaften des Materials (Biegefestigkeit, Härte, E-Modul) beschrieben^{12,13}, die 3-Jahres-Überlebensraten liegen im Bereich von 93 %¹⁴. Bisher existieren jedoch noch keine klinischen Langzeitdaten zum intraoralen Verbleib und zur Performance der PICN.

Additiv gefertigte Polymere

3-D-gedruckte Hybridkeramiken

Das Indikationsspektrum 3-D-gedruckter Polymere ähnelt – individuell nach Zusammensetzung und Hersteller – weitgehend dem subtraktiv verarbeiteter CAD/CAM-Komposite. Im Gegensatz zur subtraktiven Fertigung von CAD/CAM-Kompositen wird durch die additive Fertigung der 3-D-gedruckten Polymere ein optimierter Materialverbrauch ermög-

licht. Ziele sind dabei eine Ressourcenoptimierung und eine Erhöhung der Kosteneffizienz¹⁵.

Die Herstellung 3-D-gedruckter Polymere erfolgt in der Regel mithilfe der Stereolithografie (SLA), des „Digital light processing“ (DLP), der „PolyJet“-Technik oder des Filamentdrucks. Die Wahl des Verfahrens richtet sich dabei nach der entsprechenden Indikation. Während die SLA, das DLP und der „PolyJet“ feine Details abbilden, dafür aber etwas langsamer sind, ermöglicht der Filamentdruck eine schnellere Vorgehensweise mit einer geringeren Detailtreue^{16,17}.

Grundsätzlich lassen sich die additiv gefertigten Polymere ebenso – je nach Komposition – in Materialien für die provisorische und definitive Anwendung einteilen.

Auch bei dieser Materialgruppe unterscheiden sich je nach Füllkörpergehalt und Zusammensetzung die mechanischen Eigenschaften der polymeren Werkstoffe. Dies führt zu einem breiten Einsatzgebiet. Neben einer Freigabe für Einzelzahnrestorationen existieren hierbei auch Werkstoffe mit einer Herstellerfreigabe für Brücken. Trotz erster In-vitro-Studienergebnisse der

Tab. 1 Materialbeschreibungen einiger Polymer-basierter Werkstoffe, alle Informationen beruhen auf den entsprechenden Herstellerangaben.

| Eigenschaften | Cerasmart 270 * | Vita Enamic multiColor ** | Bego VarseoSmile Crown Plus *** | Ceramill A-Temp Multi-layer **** |
|----------------------|--|--|---|---|
| Fertigung | subtraktiv | subtraktiv | additiv | subtraktiv |
| Zusammensetzung | 77 Gew-% Füllstoffe (Barium-Borosilikatglas, Siliziumdioxid) | (86 Gew-% Keramiknetzwerk, 14 Gew-% Polymernetzwerk) | Keramisch gefülltes Hybridmaterial, 30–50 Massenprozent anorganische Füllstoffe | > 98 % PMMA, < 1 % MMA |
| Biegefestigkeit | 246 MPa | 15–160 MPa | > 116 MPa | > 135 MPa |
| Tragedauer | laut Hersteller möglich zur definitiven Einzelzahnversorgung | Laut Hersteller möglich zur definitiven Einzelzahnversorgung | laut Hersteller möglich zur definitiven Einzelzahnversorgung | maximal 1 Jahr laut Hersteller |
| Wasseraufnahme | 22,7 µg/mm ³ | 5,7 µg/mm ³ | 3,6 µg/mm ³ | < 25 µg/mm ³ |
| Befestigung | Adhäsive Befestigung wird vom Hersteller empfohlen. | Adhäsive Befestigung wird vom Hersteller empfohlen. | Adhäsive Befestigung wird vom Hersteller empfohlen. | provisorische Zemente, definitive Zemente, adhäsive Befestigung |
| Indikationen | Einzelkronen, Inlays, Veneers, Onlays, Implantatkronen | Einzelkronen, Inlays, Tabletops | Einzelkronen, Inlays, Onlays, Veneers im Front- und Seitenzahnbereich | temporäre Front- und Seitenzahnkronen + temp. Brücken (maximal 2 Zwischenglieder) |
| Limitationen | Brückenversorgungen | Brückenversorgungen, Bruxismus | Brückenversorgungen | definitive Restaurationen, Brücken mit mehr als 2 Zwischengliedern |
| Mindestschichtstärke | 1,5 mm | okklusal 1 mm, zirkulär 0,8 mm | 1 mm | okklusal 1,5 mm, zirkulär 0,8 mm |

* GC Corporation, Tokyo, Japan), ** (Fa. Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen), *** (Fa. Bego GmbH & Co. KG, Bremen), **** (Fa. Amann Girrbach AG, Koblach, Österreich)

jeweiligen Hersteller sei darauf hingewiesen, dass bisher keine unabhängigen Daten zum klinischen Langzeitverhalten für 3-D-gedruckte Polymere existieren.

Tabelle 1 bietet einen exemplarischen Überblick über die Materialeigenschaften einiger Polymere zur indirekten Restaurationsherstellung im additiven und subtraktiven Verfahren.

Indikationen

Das Hauptanwendungsgebiet von Polymeren in der festsitzenden Prothetik ist die Herstellung von langzeitprovisorischen Restaurationen. Diese langzeitprovisorischen Restaurationen können als Einzelzahnrestauration eingesetzt

werden, beispielsweise im Rahmen der Hygienephase vor geplanter Parodontaltherapie zur provisorischen Überkronung eines Zahns bei vorhandener, insuffizienter Restauration. Eine weitere Indikation ist die Umsetzung von Wax-ups/Mock-ups zur provisorischen Bisshebung¹⁸. Mittlerweile existieren aber auch Polymer-basierte Materialien, die zur definitiven Versorgung herstellerseitig freigegeben sind.

Befestigung

Zur Eingliederung von Restaurationen aus Polymeren können indikationsabhängig verschiedene Befestigungsmaterialien gewählt werden. Bei einer Verwendung

als provisorischer Zahnersatz sollte ein eugenolfreies Befestigungsmaterial gewählt werden, um einen möglichen adhäsiven Verbund einer nachfolgenden definitiven Restauration nicht negativ zu beeinflussen.

Bei Versorgungen aus Polymer-basierten Werkstoffen für definitiven Zahnersatz sollte eine adhäsive Befestigung erfolgen. Dies kann auch im Rahmen einer Komplettsanierung oder Bisshebung indiziert sein. Die jeweiligen Herstellerangaben sollten bei der Befestigung der Polymere stets beachtet werden¹⁹. Der entsprechende orientierende Workflow zur adhäsiven Befestigung findet sich in Tabelle 2 (bitte unbedingt ggf. abweichende Herstellerangaben beachten).

Tab. 2 Workflow zur adhäsiven Befestigung verschiedener Polymergruppen.

| adhäsive Befestigung | | | |
|--|--|--|---|
| PMMA | subtraktiv gefertigte CAD/CAM-Komposite 10 | Polymer-infiltrierte Keramiken (Vita Enamic) | |
| Vorbehandlung Werkstück | | | |
| Sandstrahlung (Aluminiumoxid, 50 µm, 1 bar) | | Ätzen mit Flusssäure (6 %) für 60 Sek. | |
| Reinigung im Ultraschallbad in aceton- und ethanolfreier Lösung | | Reinigung mit 37%iger Phosphorsäure für 60 Sek. + Abspülen mit Wasser und Ultraschallbad (aceton- und ethanolfreie Lösung) | |
| Trocknen mit dem Luftbläser | | | |
| Auftragen eines geeigneten Haftvermittlers | Auftragen eines geeigneten Haftvermittlers | Auftragen eines geeigneten Haftvermittlers | - |
| Vorbehandlung Zahn | | | |
| adäquate Trockenlegung | | | |
| Reinigung mit fluoridfreier Polierpaste und Prophylaxekegel | | | |
| selektive Schmelzätzung | selektive Schmelzätzung | selektive Schmelzätzung | |
| Anwendung eines Adhäsivsystems | | | - |
| Eingliederung | | | |
| Einbringen von Befestigungskomposit auf Restauration | | | |
| Restauration sicher positionieren, Entfernung grober Zementreste | | | |
| ggf. „tack-cure“ (1 Sek.), Entfernung Zementüberschüsse mit Scaler und Zahnseide | | | |
| Auftragen von Glycerin-Gel auf Zementfuge | | | |
| Aushärtung, 20 Sek. von jeder Seite | | | |
| Kontrolle, Politur, Auftragen von Fluorid-Gel | | | |

Fallbeispiel

Die Patientin stellte sich initial mit einer extern durchgeführten „Full-mouth“-Versorgung vor (Abb. 3). Im Bereich der Seitenzähne befanden sich PMMA-Langzeitprovisorien, wobei eine Non-Okklusion zwischen den Seitenzähnen des zweiten und dritten Quadranten bestand. Die Oberkieferfrontzähne waren mit vollkeramischen Veneers versorgt, an den Eckzähnen zeigten sich dabei dezementierte Veneers, sodass keine suffiziente Front-/Eckzahnführung vorhanden war. Eine eingehende Diagnostik und Funktionsanalyse leiteten die präprothetische Vorbehandlungsphase ein, in der Zahn 26 extrahiert wurde, insuffiziente Füllungen erneuert wurden und eine Physiothera-

pie durchgeführt wurde. Anschließend wurde eine Unterkiefer-Zentrikschiene aus PMMA hergestellt (Optimill crystalign, Fa. Dentona AG, Dortmund), um die Vertikaldimension um 2 mm (inzisal) anzuheben und eine harmonische Okklusion mit Front-/Eckzahnführung zu etablieren sowie funktionelle Beschwerden zu therapieren (Abb. 4). Erst nach einer sechsmonatigen Phase mit deutlicher Beschwerdereduktion wurde die Behandlung fortgeführt. Für die weitere Versorgung wurde die Vertikaldimension auf ästhetischen Wunsch der Patientin um einen zusätzlichen Millimeter angehoben. Diese „neue“ Vertikaldimension wurde nach Herstellung eines Zentriregistrats in finaler Höhe mithilfe eines Vestibulär-Scans mit dem Intraoralscan

festgehalten. Basierend auf den gedruckten 3-D-Modellen fertigte das Dentallabor ein Wax-up (Abb. 5) an, welches intraoral als Mock-up (Abb. 6) evaluiert und nach Feinjustierung als Vorlage für die langzeitprovisorische prothetische Restauration diente. Mit Beginn der prothetischen Behandlungsphase wurden die Seitenzahnrestorationen entfernt, die Zahnstümpfe konservierend versorgt und entsprechend den Anforderungen für die neuen Versorgungen präpariert. Nach einem Intraoralscan erfolgte die Herstellung der Langzeitprovisorien für den Seitenzahnbereich in der neu bestimmten Vertikaldimension (Abb. 7). Als Material wurde hierbei PMMA (Ceramill A-Temp) verwendet. Die Eingliederung der Langzeitprovisorien erfolgte adhä-



Abb. 3 Ausgangszustand, Teilverlust der Vertikaldimension + insuffiziente Restaurationsränder, Zustand nach Ex 26. (Bildrechte verbleiben beim Autorenteam.)



Abb. 4 Unterkieferschiene, Probephase der neuen Vertikaldimension. (Bildrechte verbleiben beim Autorenteam.)



Abb. 5 Wax-up auf 3-D-gedruckten Modellen. (Bildrechte verbleiben beim Autorenteam.)



Abb. 6 Mock-up. (Bildrechte verbleiben beim Autorenteam.)



Abb. 7 Umsetzung der neuen Vertikaldimension mithilfe von langzeitprovisorischen Restaurationen. (Bildrechte verbleiben beim Autorenteam.)



Abb. 8 Die Unterkieferfront wurde mithilfe von Kompositaufbauten der Schneidekanten versorgt. (Bildrechte verbleiben beim Autorenteam.)

siv, da ein längerer intraoraler Verbleib zu erwarten war. Anschließend wurde die Unterkieferfront, ebenfalls gemäß der neuen Vertikaldimension mit direkten, plastischen Kompositfüllungen (Filtek Supreme, 3M Corporation, Minnesota, Vereinigte Staaten) versorgt (Abb. 8).

Im nächsten Schritt wurden die bestehenden keramischen Veneers in der Oberkieferfront [13–23] entfernt, die Zähne aufgrund des Zerstörungsgrades für 360°-Veneers präpariert und Restaurationen aus einem subtraktiv gefertigten CAD/CAM-Komposit (Brilliant

Crios [Fa. Coltène, Altstätten, Schweiz], hergestellt (Abb. 7). Die Eingliederung der Veneers erfolgte adhäsiv (Vario-link Esthetic DC, Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Die definitive Überführung in Keramikrestorationen wird erst nach mehrmonatiger Be-

schwerdefreiheit und positiver Evaluation der Ästhetik und Funktion durch die Patientin vorgenommen.

Aktuelle Studiendaten – Limitationen und Ausblick

Zurzeit sind diverse Polymer-basierte Werkstoffe zur Herstellung indirekter Restaurationen auf dem Markt verfügbar. Im Hinblick auf eine Nutzung dieser Werkstoffe als Material für definitiven, festsitzenden Zahnersatz besteht aktuell allerdings nur eine limitierte Studienlage. Eine In-vitro-Studie untersuchte die mechanischen Eigenschaften von subtraktiv gefertigten CAD/CAM-Kompositen, PICN- und Lithiumdisilikatkeramiken im Hinblick auf eine Nutzung als definitive, festsitzende Einzelzahnrestauration. Dabei zeigten sich für alle drei Materialgruppen akzeptable Ergebnisse, die eine Erfüllung der ISO-Norm für vollkeramische Einzelzahnrestaurationen nachwiesen, allerdings mit besseren Ergebnissen für Lithiumdisilikatkeramik²⁰.

Bezüglich klinischer Erfolgs- und Überlebensraten subtraktiv gefertigter CAD/CAM-Komposite zeigten Vanoorbeek et al. in einer klinischen Studie, dass diese nach 3 Jahren lediglich eine Erfolgsrate von 55,6 % und eine Überlebensrate im Bereich von 87,9 % aufwiesen¹¹. Verglichen mit in der Literatur beschriebenen Daten für Lithiumdisilikat- und Zirkoniumdioxidkeramiken deutet dies bisher auf deutlich geringere klinische Überlebens- und Erfolgsraten von subtraktiv gefertigten CAD/CAM-Kompositen hin²¹.

Ähnliche Daten wurden von weiteren Autoren erhoben²². Die Abrasionsbeständigkeit subtraktiv gefertigter CAD/CAM-Komposite bei „Full-mouth“-Restaurationen wurde von Güth et al. untersucht²³. Dabei zeigten sich erhöhte Abrasionsraten für CAD/CAM-Komposite

verglichen mit Lithiumdisilikatkeramikrestaurationen.

Auch für PICN besteht aktuell nur eine dünne Datenlage. Für Vita Enamic werden 3-Jahres-Überlebensraten im Bereich von 93,9 % angegeben¹⁴, was ebenfalls auf eine verminderte klinische Performance der PICN verglichen mit Daten für Lithiumdisilikat- oder Zirkoniumdioxidkeramiken hindeutet²¹. Dabei zeigen einige Studien jedoch ein geringeres Verschleißverhalten von PICN an antagonistischem Schmelz, als dies bei Lithiumdisilikat- oder Zirkoniumdioxidkeramiken der Fall ist²⁴.

Für 3-D-gedruckte Materialien existieren zurzeit ebenfalls keine abgeschlossenen klinischen Studien, die das Langzeitverhalten dieser Polymere untersuchen²⁵. Weitere klinische Untersuchungen bezüglich des Langzeitverhaltens sind somit dringend zu fordern. Herstellerfreigaben und bisherige Studien zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass viele der am Markt verfügbaren Polymer-basierten Werkstoffe im Hinblick auf festsitzenden Zahnersatz nur als langzeitprovisorische Versorgung herstellerseitig freigegeben sind. Sind Materialien für definitive, festsitzende Prothetik zugelassen, so sind deren Indikationen meist auf Einzelzahnrestaurationen limitiert.

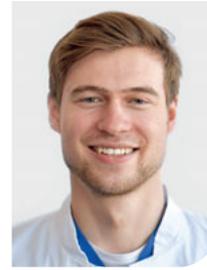
Die bisher eingeschränkte Indikationsbreite deutet bereits an, dass Polymer-basierte Werkstoffe bisher nicht als universelle Alternative zu Keramiken verstanden werden können, sondern ihr Einsatz individuell fallbezogen evaluiert werden muss.

Literatur

1. Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res* 2014;93(12):1232–1234.
2. Laborie M, Naveau A, Menard A. CAD-CAM resin-ceramic material wear: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2022;S0022–3913(22)00076–2.
3. Manhart J, Kunzelmann KH, Chen HY, Hickel R. Mechanical properties of new composite restorative materials. *J Biomed Mater Res* 2000;53(4):353–361.
4. Poticzny DJ, Klim J. CAD/CAM In-office technology: Innovations after 25 years for predictable, esthetic outcomes. *J Am Dent Assoc* 2010;141 Suppl 2:5S–9S.
5. Stawarczyk B, Özcan M, Trottmann A et al. Two-body wear rate of CAD/CAM resin blocks and their enamel antagonists. *J Prosthet Dent* 2013;109(5):325–332.
6. G.nçü Başaran E, Ayna E, Vallittu PK, Lassila LVJ. Load-bearing capacity of handmade and computer-aided design-computer-aided manufacturing-fabricated three-unit fixed dental prostheses of particulate filler composite. *Acta Odontol Scand* 2011;69(3):144–150.
7. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: An overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008;204(9):505–511.
8. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: Current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 2009;28(1):44–56.
9. Polydorou O, Trittler R, Hellwig E, Kümmerer K. Elution of monomers from two conventional dental composite materials. *Dent Mater* 2007;23(12):1535–1541.
10. Reymus M, Roos M, Eichberger M et al. Bonding to new CAD/CAM resin composites: Influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. *Clin Oral Invest* 2019;23(2):529–538.
11. Vanoorbeek S, Vandamme K, Lijnen I, Naert I. Computer-aided designed/computer-assisted manufactured composite resin versus ceramic single-tooth restorations: a 3-year clinical study. *Int J Prosthodont* 2010;23(3):223–230.
12. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater* 2014;30(5):564–569.
13. Facenda JC, Borba M, Corazza PH. A literature review on the new polymer-infiltrated ceramic-network material (PICN). *J Esthet Restor Dent* 2018;30(4):281–286.



14. Spitznagel F, Scholz K, Vach K, Gierthmühlen P. Monolithic polymer-infiltrated ceramic network cad/cam single crowns: Three-year mid-term results of a prospective clinical study. *Int J Prosthodont* 2020;33(2):160–168.
15. El-Sabbagh B, Gutmann P, Holzrichter H, Güth J F, Graf T. Zahnersatz aus dem 3D-Drucker. *DFZ* 2022;9.
16. Kim SY, Shin YS, Jung HD et al. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153(1):144–153.
17. Rouzé l'Alzit F, Cade R, Naveau A et al. Accuracy of commercial 3D printers for the fabrication of surgical guides in dental implantology. *J Dent* 2022;117:103909.
18. Edelhoff D, Beuer F, Schweiger J, Brix O, Stimmelmayer M, Guth J-F. CAD/CAM-generated high-density polymer restorations for the pretreatment of complex cases: A case report. *Quintessenz Int* 2012;43(6):457–467.
19. Keul C, Müller-Hahl M, Eichberger M et al. Impact of different adhesives on work of adhesion between CAD/CAM polymers and resin composite cements. *J Dent* 2014;42(9):1105–1114.
20. Goujat A, Abouelleil H, Colon P et al. Mechanical properties and internal fit of 4 CAD-CAM block materials. *J Prosthet Dent* 2018;119(3):384–389.
21. Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dent Mater* 2015;31(6):603–623.
22. Komine F, Honda J, Kusaba K et al. Clinical outcomes of single crown restorations fabricated with resin-based cad/cam materials. *J Oral Sci* 2020;62(4):353–355.
23. Güth JF, Erdelt K, Keul C et al. In vivo wear of CAD-CAM composite versus lithium disilicate full coverage first-molar restorations: A pilot study over 2 years. *Clin Oral Investig* 2020;24(12):4301–4311.
24. Tokunaga J, Ikeda H, Nagamatsu Y, Awano S, Shimizu H. Wear of polymer-infiltrated ceramic network materials against enamel. *Materials (Basel)* 2022;15(7):2435.
25. Aini T, Herguth P, Güth JF. Polymere in der modernen Prothetik. *DFZ* 2024;68(1):60–67.



Dr. Philipp Herguth

Carolinum Zahnärztliches Universitäts-Institut gGmbH

Theodor-Stern-Kai 7, Haus 29

60596 Frankfurt am Main

E-Mail: herguth@med.uni-frankfurt.de

Dr. Kathrin Seidel

Prof. Dr. Jan-Frederik Güth

Dr. Tuba Aini

alle:

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik,
Zentrum der Zahn-,Mund- und Kiefer-
heilkunde (ZZMK-Carolinum) der Johann
Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt
am Main

