

DENTISTA FOKUS

NEUE MATERIALIEN UND TECHNIKEN

Liebe Leserinnen,

in der ersten Dentista-Ausgabe im Jahr 2021 möchten wir uns mit neuen Materialien und Techniken beschäftigen. Dazu haben wir einige Aspekte für Sie ausgewählt und in den Fokus gestellt. Komposite sind in der Praxis das täglich Brot. Seit einigen Jahren und mit zunehmender Digitalisierung spielen nun auch die indirekten Kom-

posite eine wichtige Rolle. Wir schauen einmal, wie sie klinisch eingesetzt werden können und welche werkstoffkundlichen Eigenschaften sie mitbringen. Ein eher spezielles Material ist Glas. Wir gehen in diesem Zusammenhang der Frage nach, wie bioaktives Glas in der Zahnmedizin Verwendung finden kann?

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen und Informationsgewinn beim Lesen.



Ihre
Susann Lochthofen
Redaktion

Indirekte Komposite aus klinischer und werkstoffkundlicher Sicht

Indirekte Komposite lassen sich als zahnfarbene, definitive Restaurationsmaterialien mittels CAD/CAM verarbeiten. Sie bestehen aus Duroplasten, anorganischen Füllkörpern, Silan sowie Additiven und werden industriell bei großem Druck und hohen Temperaturen polymerisiert. Erhältlich sind sie sowohl in Ronden- als auch in Blockform und in verschiedenen Transluzenzstufen. Die Präparationsanforderungen ähneln denen der Keramiken und machen eine okklusale Mindestschichtstärke von 1,2 bis 1,5 mm notwendig. Aufgrund einer Biegefestigkeit von 120 bis 200 MPa ist eine adhäsive Befestigung zwingend erforderlich und der Indikationsbereich eingeschränkt. CAD/CAM-Komposite können im Chairside-Verfahren mit ge-

ringerem Zeit- und Materialaufwand als bei den Vollkeramiken verarbeitet werden. Derzeit sind nur wenige klinische Studien über diese Werkstoffe verfügbar. Untersuchungen mit Beobachtungszeiträumen von bis zu 5 Jahren ergaben gute Überlebenswahrscheinlichkeiten von Versorgung aus CAD/CAM-Kompositen.

Einleitung

Das orofaziale Erscheinungsbild einer Person ist geprägt durch die individuelle Empfindung des Betrachters⁸. Für ästhetische Versorgung werden meist Restaurationsmaterialien mit transluzenten Eigenschaften gewählt, da sie

sich besser in den Zahnbogen einfügen können als opake Alternativen. Dieses als Chamäleoneneffekt bekannte Phänomen ist besonders bei Silikatkeramiken ausgeprägt, denn sie besitzen einen hohen Glasanteil. Dennoch weisen dentale Keramiken auch Limitationen auf. So erfordert die Charakterisierung mit keramischen Malfarben eine labortechnische Ausrüstung, die intraorale Reparatur gestaltet sich bisher meist umständlich und ist techniksensitiv, und die meisten Keramiken sind gemäß Herstellerangaben bei Bruxismus kontraindiziert. Seit einigen Jahren rücken Komposite, die für indirekte, definitive Versorgung entwickelt wurden, als interessante Alternative zu den dentalen Keramiken in den Vordergrund. Ähnlich wie die Keramiken

können auch sie mittels CAD/CAM verarbeitet werden. Der vorliegende Beitrag gibt eine Übersicht über die klinische Anwendbarkeit und Bewährung sowie die werkstoffkundlichen Grundlagen der CAD/CAM-Komposite.

Was sind CAD/CAM-Komposite?

CAD/CAM-Komposite sind fräsbare Verbundwerkstoffe, die aus einem industriell vorgefertigten Polymer Netzwerk, aus darin eingebetteten anorganischen Füllkörpern und einer Vielzahl von Nebenbestandteilen bestehen. Das Polymer Netzwerk fungiert als „Kleber“ und verbindet die voneinander isolierten anorganischen Füllkörper. Damit unterscheiden sich die CAD/CAM-Komposite von den Keramiken. Als Hybridkeramiken sollten im engeren Sinne nur polymerinfiltrierte keramische Netzwerke („polymer-infiltrated ceramic network“, PICN) wie z. B. Vita Enamic (Fa. Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) bezeichnet werden, welche aus einer Kombination von keramischen (anorganischen) und polymeren (organischen) Netzwerken bestehen und dementsprechend auch mit Flusssäure zu ätzen sind.

Polymeres Netzwerk

Die in den CAD/CAM-Kompositen eingesetzten Polymere gehören zur Gruppe der Duroplaste (auch als Duromere bezeichnet) und basieren auf Dimethacrylat (DMA)-Monomeren. Im Unterschied zu Thermoplasten, deren Vertreter beispielsweise als Polycarbonate (PC), Polyurethane (PE) oder Polyaryletherketone (PAEK) bekannt sind und eine lineare, kettenförmige Struktur ohne Quervernetzung aufweisen, bestehen Duroplaste aus einer engmaschigen Netzstruktur. Die Monomere von Duroplasten zeichnen sich durch zwei endständige Di-

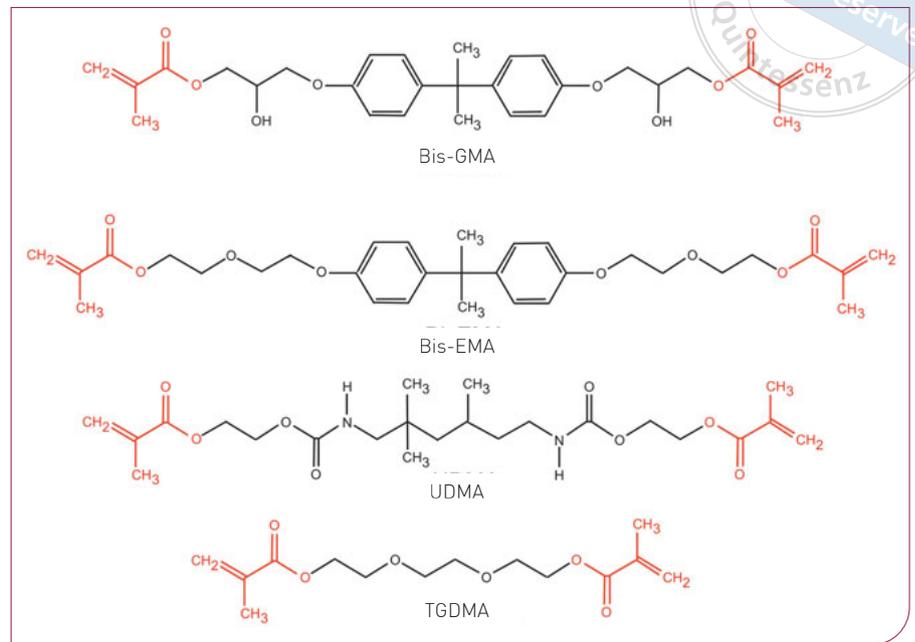


Abb. 1 Molekulare Struktur der Duroplast-Monomere mit Dimethacrylatgruppen (DMA, orange) an den Kettenenden und variablem Mittelbau (schwarz).

methacrylatgruppen und einen variablen Aufbau in der Mitte aus (Abb. 1). Aus diesem variablen molekularen Aufbau resultieren unterschiedliche Werkstoffeigenschaften.

Bisphenol-A-Diglycidylether [Bis-GMA] ist das aktuell am meisten verwendete Dimethacrylat (DMA)- Monomer. Aufgrund seiner großen Molmasse und Kettenlänge sowie der Möglichkeit, Wasserstoffbrückenbindungen zu bilden, besitzt das Monomer eine sehr hohe Viskosität und Wasseraufnahmefähigkeit (Abb. 1). Um die Verarbeitbarkeit zu verbessern und gleichzeitig den anorganischen Füllkörperanteil zu erhöhen, werden verdünnende aliphatische Co-Monomere wie Triethylenglycoldimethacrylat (TEGDMA) und Ethylenglycoldimethacrylat (EGDMA) hinzugeben. Die damit einhergehende Abnahme der Molmasse führt jedoch zu einer verstärkten Polymerisations-schrumpfung. Wegen dieses Effektes wird Urethandimethacrylat (UDMA) unverdünnt oder in Kombination mit anderen DMA-Monomeren in CAD/CAM-Kompositen eingesetzt³. Problematisch ist

einzig die im Vergleich zu EGDMA und TEGDMA erhöhte Wasseraufnahmefähigkeit (Tab. 1). Als Alternative wurde OH-freies Bis-GMA wie ethoxyliertes Bisphenol-A-Dimethacrylat (Bis-EMA) synthetisiert, welches aufgrund fehlender Wasserstoffbrückenbindungen eine geringe Viskosität aufweist.

Die Polymerisation der CAD/CAM-Komposite erfolgt bei hohen Temperaturen und großem Druck. Diese industrielle Verfahrensweise hat den Vorteil, dass ein im Vergleich zu Füllungskompositen höherer Polymerisationsgrad und ein dichteres Gefüge ohne Fehlstellen realisiert werden können.

Füllkörper

Bei dem volumetrisch größten Anteil in den CAD/CAM-Kompositen handelt es sich um anorganische Partikel, die homogen dispergiert im polymeren Netzwerk eingebunden sind. Mit ihrer Zugabe wird der Anteil an Polymeren reduziert. Dadurch werden u. a. nachfolgende Eigenschaften positiv beeinflusst¹⁷:

Tab. 1 Charakteristische Eigenschaften (37 °C) von DMA-Monomeren.

Polymer	Nomenklatur (IUPAC)	Chemische Formel	Molare Masse (g/mol)	Viskosität (h•Pa)	Wasseraufnahmefähigkeit (%)	Schrumpfung (%)
Bis-GMA	2,2-bis-4-2-(hydroxi-3-metacril-oxiprop-1-oxi)propane	C ₂₉ H ₃₆ O ₈	512 ⁷	500–800 ¹² 1.200 ⁷	13,30 ¹⁹	6,1 ¹²
Bis-EMA	2,2-bis-4-(2-Methacryloxypropoxy)-phenylpropane	C ₃₉ H ₄₄ O ₈	540 ⁷	0,9 ⁷	6,61 ¹⁹	-
TEGDMA	Triethylene glycol dimethacrylate	C ₁₄ H ₂₂ O ₆	286 ⁷	0,1 ¹² 0,01 ⁷	7,84 ¹⁹	14,3 ¹²
UDMA	1,6-bis-(metacriloxi-2-etoxi-carbolamino)-2,4,4-trimethylexane	C ₂₃ H ₃₈ N ₂ O ₈	470 ⁷	5–10 ¹² 23 ⁷	12,00 ¹⁹	6,7 ¹²

- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, E-Modul, Abrasionsbeständigkeit),
- Reduktion des Wärmeausdehnungskoeffizienten,
- Verringerung der Polymerisations-schrumpfung und Wasseraufnahme,
- Verbesserung der Polierbarkeit und Ästhetik sowie
- Erhöhung der Röntgenopazität.

Daher kommt den Füllkörpern eine besondere Bedeutung zu. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Menge,

Größe, Form und Zusammensetzung. In den aktuellen CAD/CAM-Kompositen beträgt der Füllanteil zwischen 60 und 85 Mol-%. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen, dass es im Hinblick auf die Verteilung und die Form der Füller zwischen den CAD/CAM-Kompositen teilweise deutliche Unterschiede gibt (Abb. 2a bis d). Bei den als Füllkörper eingesetzten Materialien handelt es sich in der Regel um Gläser und vereinzelt um teilkristallines Zirkonoxid oder Siliciumoxid. Die Füllkörper haben einen ähnlichen Brechungsindex wie das um-

liegende polymere Netzwerk. Die Transluzenz wird zusätzlich durch den Einsatz von Nanofüllkörpern verstärkt, deren Größe (< 400 nm) unter der Wellenlänge des Lichts liegt (Abb. 3). Zur Herstellung einer Röntgenopazität werden in den meist glasigen Füllkörpern schwere Elemente wie Barium (z. B. in Form von Bariumglas) und Yttrium (in Form von Yttrium-Fluorid-Glas) eingesetzt.

Nebenbestandteile

Um einen sehr guten Verbund zwischen dem organischen polymeren Netzwerk (hydrophob) und den anorganischen Füllkörpern (hydrophil) herzustellen, werden organofunktionelle Silane als Haftvermittler eingesetzt. Diese Silane wie z. B. γ -Methacryloxypropyltrimethoxysilan (γ -MPS) bestehen aus einer organofunktionellen Gruppe, die für die Haftung zur organischen Matrix verantwortlich ist, und einer siliciumfunktionellen Gruppe, die eine Haftung am Füllkörper bewirkt (Abb. 4). Neben den Haftvermittlern werden weitere Additive wie etwa UV-Stabilisatoren, Pigmente oder Initiatoren sowie Inhibitoren zugesetzt.

Werkstoffverhalten im Vergleich zu Vollkeramiken

Die mechanischen Eigenschaften der CAD/CAM-Komposite (Tab. 2) gestatten

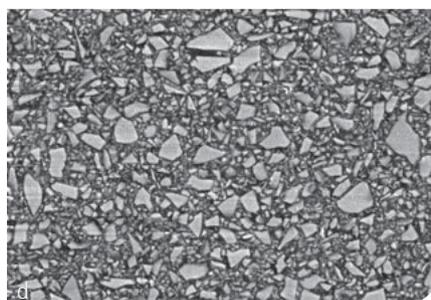
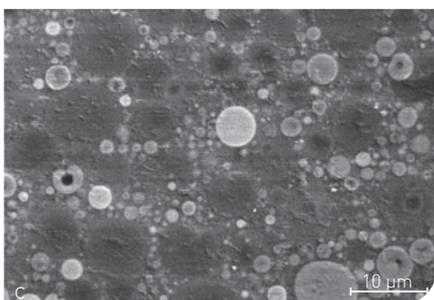
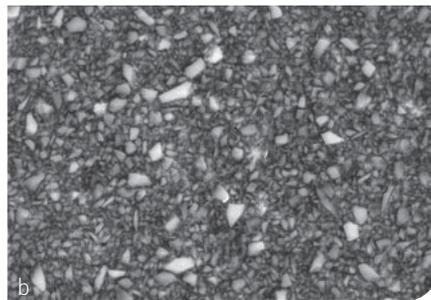
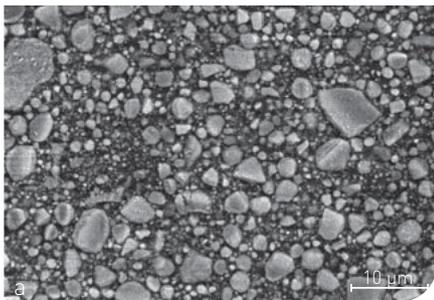


Abb. 2a bis d asterelektronische Aufnahmen von CAD/CAM-Komposit-Anschliffen. a: Lava Ultimate; b: GC Cerasmart; c: Shofu HC; d: Grandio.

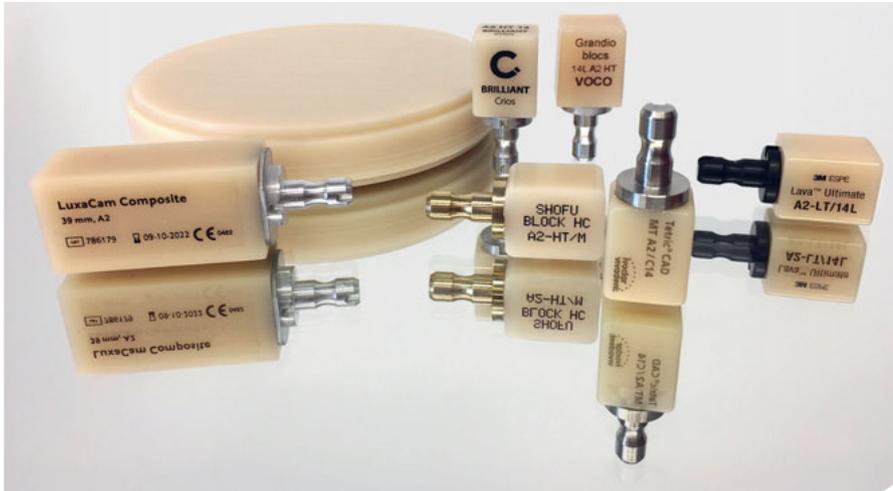


Abb. 5 Die CAD/CAM-Komposite sind als Blockmaterialien und vereinzelt als Ronden verfügbar.



Abb. 6 Vergleich der niedrig- (LT), mittel- (MT) und hochtransluzenten (HT) Materialien verschiedener Firmen in der Farbe A2. Oben: Coltène (LT/HT), 3M (LT/HT), Voco (LT/HT), DMG; unten: Shofu (LT/HT), GC (LT/HT), Ivoclar Vivadent (MT/HT), Katana (LT).

den Einsatz für provisorische und permanente kleinere Versorgung (vgl. Tab. 3). Aufgrund der geringen Biegefestigkeit ist anders als bei den Lithiumdisilikat- und Oxidkeramiken eine adhäsive Befestigung zwingend erforderlich. Der industrielle Polymerisationsprozess der indirekten Komposite hat einen geringen Restmonomergehalt zur Folge, welcher eine gute Biokompatibilität ermöglicht, aber gleichzeitig die Bindungsoptionen für das definitive Befestigen erschwert. Der dentinähnliche E-Modul trägt dazu bei, dass das Kaugefühl mit Versorgung aus CAD/CAM-Compositen häufig als komfortabel wahrgenommen wird, und kann besonders bei implantatgetragenen Zahnersatz die Kräfteinwirkung abdämpfen. Die im Vergleich zur Keramik geringe Sprödigkeit lässt eine gute Verarbeitung zu.

Handelsformen der CAD/CAM-Komposite

Die CAD/CAM-Komposite sind als Blockmaterialien in verschiedenen Größen und mittlerweile auch vereinzelt als Ronden verfügbar (Abb. 5). Das Farbspektrum bezieht sich dabei auf Vita-Classic-Farben und wird je nach Hersteller in unterschiedlicher Vielfalt angeboten. Neben dem klassischen Farbspektrum werden Bleachfarbtöne vertrieben. Ähnlich wie bei den Keramiken sind auch CAD/CAM-Komposite in verschiedenen Transluzenzstufen erhältlich (Abb. 6). Die Firma Shofu Dental (Ratingen) bietet außerdem Blöcke als 2-schichtige Multilayer-Varianten an. In Tabelle 3 ist eine Übersicht über einige in Deutschland verfügbare Materialien zusammengestellt. Vor der Auswahl des CAD/

CAM-Kompositmaterials sollte geprüft werden, ob es in der Konstruktionssoftware der CAD/CAM-Einheit angelegt ist, und ggf. Rücksprache mit dem Hersteller gehalten werden.

Verarbeitung der CAD/CAM-Komposite

CAD/CAM-Komposite lassen sich sowohl im Chairside- als auch im Labside-Verfahren verarbeiten (Abb. 7a bis g). Sie dürfen anschließend nicht gebrannt werden, sondern erlangen durch gründliche Politur die finale Oberfläche (Abb. 7c). In einer aktuellen Studie zeigten Poliersysteme aus dem Laborbereich dabei ähnlich gute Ergebnisse wie Polierer für die Anwendung im Winkelstück¹¹. Unabhängig davon, ob die Politur chairside



Abb. 7a bis g Für die Versorgung des Zahnes 46 soll eine CAD/CAM-Kompositkronen im Chairside-Verfahren hergestellt werden. Die Präparation wird digital abgeformt (a und b), das Werkstück gefräst, poliert (c) und sandgestrahlt (d), mit einem Haftvermittler vorbereitet (e) und adhäsiv befestigt (f und g).

oder labside erfolgte, lagen die Rauigkeitswerte der Oberfläche in der Studie unter $0,2 \mu\text{m}$. Eine Überschreitung dieses Grenzwertes kann in einer vermehrten Biofilmanlagerung resultieren²².

Aufgrund ihrer geringen Biegefestigkeit können CAD/CAM-Komposite lediglich in einem eingeschränkten Indikationsspektrum genutzt werden, welches generell partielle Restaurationen

im Front- und Seitenzahnggebiet umfasst. Fast alle Firmen geben die Materialien auch für die Anfertigung von Vollkronen frei, jedoch nur wenige für Brücken. Im Gegensatz zu den meisten Vollkeramiken sind viele CAD/CAM-Komposite gemäß Herstellerangaben speziell für die Anwendung bei Bruxismus-Patienten indiziert bzw. nicht explizit kontraindiziert und können somit das Spektrum der

zahnfarbenen Materialien in diesem Einsatzgebiet erweitern.

Präparationsanforderungen

Die Geometrie der Pfeilerzähne für die Aufnahme einer Restauration aus CAD/CAM-Kompositen sollte ähnlich wie bei den dentalen Keramiken vorbereitet werden. Das Präparieren erfolgt möglichst

weich ohne Ecken und Kanten, wobei es ratsam ist, Formen zu schaffen, die mit der minimalen Größe des Schleifinstruments im Rahmen der Fertigung der Restauration hergestellt werden können. Das Auslaufen eines Präparationsrandes im Bereich okklusaler Stopps sollte vermieden werden. Aufgrund der guten Kantenstabilität lassen sich CAD/CAM-Komposite mit deutlich dünnerem Rand als bei Keramiken gestalten. Seitens der Hersteller werden eine Hohlkehhlpräparation und ein Präparationswinkel mit einem Gesamtwert von 6 bis 12° empfohlen. In-vitro-Versuche zu im Labor geschichteten Kompositkronen haben gezeigt, dass geringere Konvergenzwinkel von 4° teilweise bessere Widerstände gegen Frakturen boten als Winkel von insgesamt 11°¹³. Die Mindestschichtdicken sollten eingehalten und nach dem okklusalen Adjustieren vor dem Einsetzen noch einmal geprüft werden. Je nach Hersteller und Restaurationstyp liegen die geforderten Mindestschichtdicken okklusal zwischen 1,2 und 1,5 mm, inzisal zwischen 1,5 und 2,5 mm sowie zirkulär bei 0,8 mm. Veneers ohne Fassung der Schneidekante haben einen Platzbedarf von 0,3 bis 0,8 mm.

Befestigungsmöglichkeiten

Aufgrund der geringen Biegefestigkeitswerte (120 bis 200 MPa) sollten die CAD/CAM-Komposite ausschließlich adhäsiv befestigt werden, da erst ein Grenzwert von 350 MPa eine konventionelle Befestigung ermöglicht¹⁰. Für einen besseren adhäsiven Verbund wird im Rahmen der Vorbereitung empfohlen, die Innenfläche der Kompositrestaurationen durch Abstrahlen anzurauen¹⁶ (Abb. 7d). In der Literatur werden für das Sandstrahlen Korngrößen zwischen 25 und 50 µm sowie ein Druck von 0,5 bis 3 bar angegeben. Dabei sollte das Anrauen kurz vor dem Weiterverarbeiten erfolgen, da angenommen wird, dass das Kompositmaterial im

Vorfeld Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufnehmen kann, wodurch sich der Haftverbund verschlechtert¹. Zur Reinigung der Restauration sollte diese nur kurz in Alkohol geschwenkt werden, denn die polymeren Bestandteile können beim Kontakt mit alkoholischen Substanzen in Lösung gehen. Im Anschluss wird das Reinigen im Ultraschallbad empfohlen²⁰. Danach erfolgt die Applikation eines Haftvermittlers (Abb. 7e), wobei verschiedene chemische Bindungswege infrage kommen: zum einen über Methacrylatmonomere, zum anderen aber auch über Silan oder Phosphatmonomere (MDP)^{12,17}. Bei In-vitro-Versuchen hat sich gezeigt, dass Haftvermittler auf Methylmethacrylatbasis den besten Verbund ermöglichen können¹⁶. Die Problematik der richtigen Wahl eines Haftvermittlers kann durch Verwendung eines Universaladhäsivs bzw. -primers vereinfacht werden, da hierin alle genannten Haftvermittler enthalten sind. Dabei ist es ratsam, die Herstellerempfehlungen zu beachten²¹.

Der präparierte Zahn sollte ähnlich dem Prozedere bei einer direkten, adhäsiven Füllung vorbereitet werden. Deshalb ist für die adhäsive Befestigung eine ausreichende Trockenlegung notwendig. Danach sind verschiedene Varianten möglich:

- Konventionelle Schmelz-Dentin-Ätzung:
 - Applikation von 30- bis 40%iger Phosphorsäure für 30 Sekunden [Schmelz] bzw. 15 Sekunden [Dentin];
 - Anwendung von Primer und Bonding als Ein-Flaschen- oder Zwei-Flaschen-System.
- Selektive Schmelzätzung und selbstkonditionierendes Dentinadhäsiv:
 - Applikation von 30- bis 40%iger Phosphorsäure für 30 Sekunden [Schmelz];
 - Einsatz eines selbstkonditionierenden Dentinadhäsivs.

Nach dem Auftragen des Adhäsivsystems sollte dieses nicht lichtgehärtet werden, da sonst der sogenannte Pooling-Effekt auftreten kann. Hiermit wird die Problematik beschrieben, dass beim Applizieren eines Adhäsivs dickere Schichten aufgetragen werden können, die nach dem Aushärten das korrekte Positionieren des Werkstücks unter Umständen verhindern. Daher sind dualhärtende Adhäsivsysteme geeignet, welche ein Aushärten der Adhäsivschicht auch in den für die Polymerisationslampe schlecht zugänglichen Bereichen gewährleisten. Zusätzlich empfiehlt sich die Wahl eines dualhärtenden Befestigungskomposits, das auf diese Weise auch bei dickeren Werkstücken vollständig polymerisieren kann¹⁰.

Individualisieren von CAD/CAM-Kompositen

Wie auch im Allgemeinen gültig sollte vor der Farbauswahl des CAD/CAM-Kompositmaterials die Farbe des Zahnstumpfes bestimmt werden. Viele Firmen bieten lichthärtende Malfarben (Final Touch, Fa. Voco, Cuxhaven) oder eingefärbte Glasurflüssigkeiten (Optiglaze Color, Fa. GC Germany, Bad Homburg) an, mit deren Hilfe sich die gefrästen Werkstücke individualisieren lassen (Abb. 8a bis d). Die Farbauswahl reicht dabei von wenigen Grundfarben, die untereinander oder mit Füllungskompositen gemischt werden können, bis hin zu verschiedenen Nuancen einzelner Farben. Bei der Verwendung der Charakterisierungsmaterialien sollten die Herstellerangaben hinsichtlich der maximalen Schichtdicken und Verarbeitungshinweise beachtet werden. So erfordern einige Systeme eine Übersichtung der lichthärtenden Charakterisierungsmaterialien mit einem direkten Komposit.

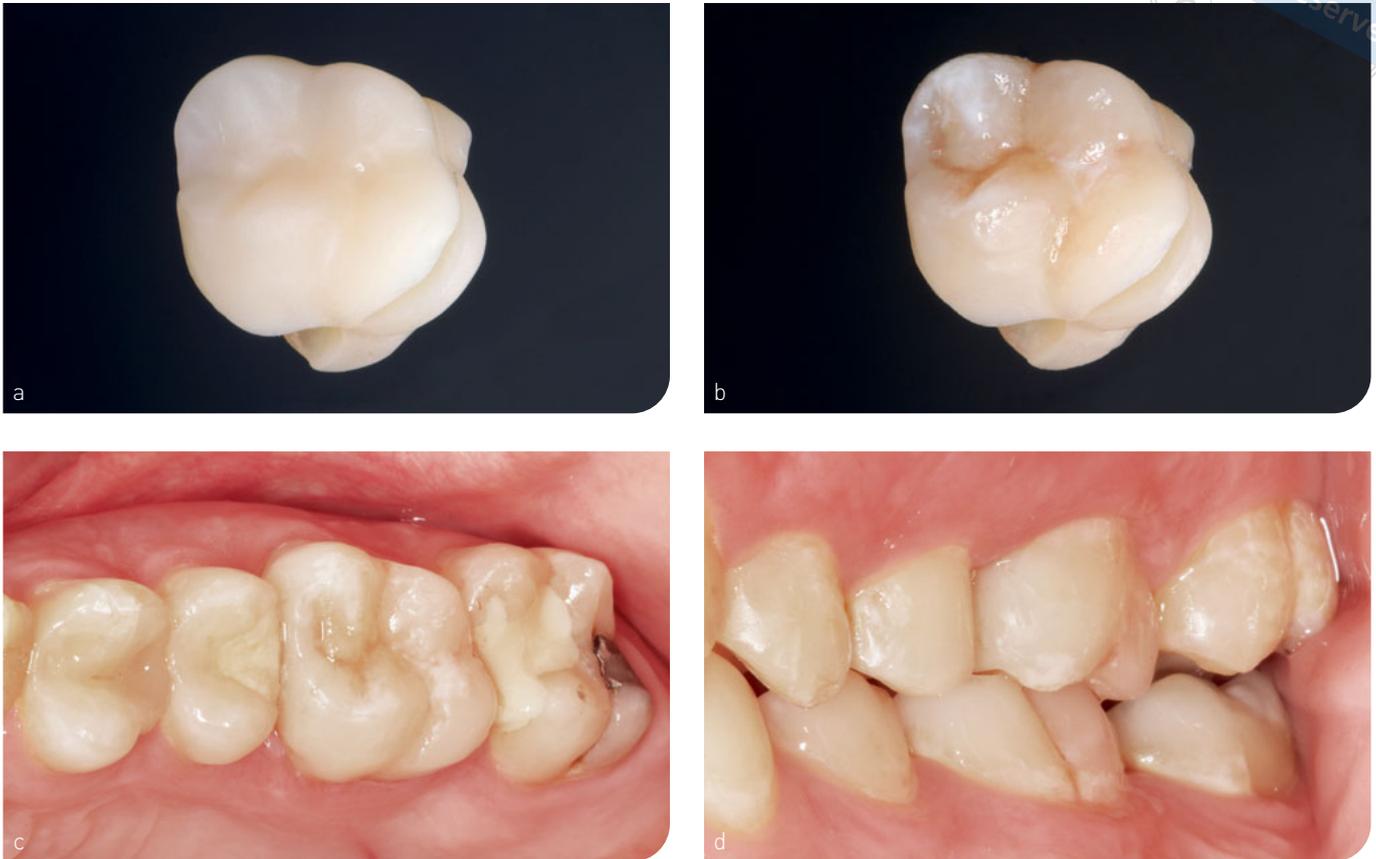


Abb. 8a bis d Eine Teilkrone (Grandio blocs A3 LT, Fa. Voco) für die Versorgung des Zahnes 26 wird im Labor mit lichthärtenden Malffarben individualisiert (a und b) und im Anschluss adhäsiv befestigt (c und d).

Klinische Bewährung

Nach Kenntnis der Autoren sind nur wenige klinische Studien zu CAD/CAM-Kompositen verfügbar. Die Forschungsgruppe um *Fasbinder* beschäftigte sich in den letzten Jahren mit Inlays und Onlays aus Paradigm (Fa. 3M Espe, Seefeld) sowie dem Nachfolgeprodukt Lava Ultimate^{5,6}. Die Inlays aus Paradigm wurden über 3 Jahre nachverfolgt. Zwei der 40 Restaurationen mussten aufgrund von Zahnhartsubstanzfrakturen neu angefertigt werden⁵. Etwas länger wurden die Onlays aus Lava Ultimate beobachtet. Nach 5 Jahren konnte eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 92 % ermittelt werden, während in einer Kontrollgruppe aus klassischer Silikatkeramik in der gleichen Nachbeobachtungszeit ein Wert von 93 % erzielt wurde⁶. Ebenfalls aus

Lava Ultimate waren die Teilkronen, die *Zimmermann et al.*²⁴ über 2 Jahre evaluierten. Hier traten an zwei Pfeilerzähnen Frakturen der Zahnhartsubstanz und drei Dezentierungen weiterer Restaurationen auf, woraus sich eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 86 % ergab.

Schlussfolgerungen

Die Anwendung von CAD/CAM-Kompositen ist im klinischen Alltag besonders für kleinere Restauraionsformen interessant. Sie lassen sich im Gegensatz zu den dentalen Keramiken mit einfachen technischen Mitteln im Chairside-Verfahren individualisieren. Ihre Biegefestigkeit ist deutlich geringer als die von Lithiumdisilikat- oder Oxidkeramiken, wodurch sie zwingend adhäsiv befestigt werden müs-

sen. Sie haben eine gute Kantenstabilität und ermöglichen eine gedämpfte Übertragung der Kaukräfte. Zurzeit fehlen noch Beobachtungen aus mittel- oder langfristigen klinischen Studien, welche eine Aussage über die Erfolgswahrscheinlichkeit und die Qualität der Restaurationen aus CAD/CAM-Kompositen erlauben würden.

Danksagung

Die Autoren danken Frau *Leonie Schmohl*, M.Sc. sowie Herrn *Florian Fuchs*, M.Sc. für den regen wissenschaftlichen Austausch und die Unterstützung bei der Erstellung dieser Publikation. Den Herstellerfirmen sei für die freundliche Bereitstellung der in Abbildung 6 gezeigten Materialien gedankt.

Literatur

- Asano R, Otake S, Nozaki K, Yoshida K, Miura H. Effect of elapsed time after air abrasion on bond strength of luting agent to CAD/CAM resin blocks. *J Oral Sci* 2019;61:459–467.
- Böhner R. Moderne CAD/CAM- Kompositmaterialien – deren Materialeigenschaften und Befestigungsstrategien. Internet: www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/cad-cam/story/moderne-cadcam-kompositmaterialien--deren-materialeigenschaften-und-befestigungsstrategien-__3833.html. Abruf: 03.01.2020.
- Braden M, Clarke RL, Parker S, Nicholson J. *Polymeric dental materials*. Berlin: Springer, 1997.
- Facenda JC, Borba M, Corazza PH. A literature review on the new polymer-infiltrated ceramic-network material (PICN). *J Esthet Restor Dent* 2018;30:281–286.
- 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.
- Fasbinder DJ, Neiva GF, Heys D, Heys R. Clinical evaluation of chairside Computer Assisted Design/Computer Assisted Machining nano-ceramic restorations: Five-year status. *J Esthet Restor Dent* 2019 Aug 8 [Epub ahead of print].
- Gajewski VE, Pfeifer CS, Fróes-Salgado NR, Boaro LC, Braga RR. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. *Braz Dent J* 2012;23:508–514.
- Haralur SB, Al-Shehri KS, Assiri HM, Al-Qahtani MA. Influence of personality on tooth shade selection. *Int J Esthet Dent* 2016;11:126–137.
- Ilie N, Hickel R. Macro-, micro- and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites. *Dent Mater* 2009;25:810–819.
- Kern M. *Vollkeramik auf einen Blick: Leitfaden zur Indikation, Werkstoffauswahl, Vorbereitung und Eingliederung von vollkeramischen Restaurationen*. 6. Aufl. Ettlingen: AG Keramik, 2015.
- Matzinger M, Hahnel S, Preis V, Rosentritt M. Polishing effects and wear performance of chairside CAD/CAM materials. *Clin Oral Investig* 2019;23:725–737.
- Moszner N, Salz U. New developments of polymeric dental composites. *Progress in Polymer Science* 2001;26:535–576.
- Ohlmann B, Gruber R, Eickemeyer G, Rammelsberg P. Optimizing preparation design for metal-free composite resin crowns. *J Prosthet Dent* 2008;100:211–219.
- Plotino G, Grande NM, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Flexural properties of endodontic posts and human root dentin. *Dent Mat* 2007;23:1129–1135.
- Rees JS, Jacobsen PH, Hickman J. The elastic modulus of dentine determined by static and dynamic methods. *Clin Mat* 1994;17:11–15.
- Reymus M, Roos M, Eichberger M, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Bonding to new CAD/CAM resin composites: influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. *Clin Oral Investig* 2019;23:529–538.
- Rosentritt M, Ilie N, Lohbauer U (Hrsg). *Werkstoffkunde in der Zahnmedizin – Moderne Materialien und Technologien*. Stuttgart: Thieme, 2018.
- Rosentritt M, Kieschnick A, Stawarczyk B. Polymerbasierte CAD/CAM-Kunststoffe. Internet: www.zm-online.de/archiv/2019/03/zahnmedizin/polymerbasierte-cadcam-kunststoffe. Abruf: 03.01.2020.
- Sideridou I, Karabela M. Sorption of water, ethanol or ethanol/water solutions by light-cured dental dimethacrylate resins. *Dent Mat* 2011;27:1003–1010.
- Stawarczyk B, Liebermann A, Kieschnick A, Rosentritt M. *Werkstoffkunde-Kompendium Dentale Befestigungsmaterialien*. Berlin: Annett Kieschnick Dentale Fachkommunikation, 2019.
- Strasser T, Preis V, Behr M, Rosentritt M. Roughness, surface energy, and superficial damages of CAD/CAM materials after surface treatment. *Clin Oral Investig* 2018;22:2787–2797.
- Teughels W, van Assche N, Sliepen I, Quirynen M. Effect of material characteristics and/or surface topography on biofilm development. *Clin Oral Implants Res* 2006;17(Suppl 2):68–81.
- Vita Zahnfabrik. Vita Enamic: Technisch-wissenschaftliche Dokumentation. Internet: www.vita-zahnfabrik.com/de/vita-enamic-24969.html. Abruf: 03.01.2020.
- Zimmermann M, Koller C, Reymus M, Mehl A, Hickel R. Clinical evaluation of indirect particle-filled composite resin CAD/CAM partial crowns after 24 months. *J Prosthodont* 2018;27:694–699.

Erstveröffentlichung *Quintessenz Zahnmedizin* 2020;2:116–126.



Dr. med. dent., M.Sc. Angelika Rauch
E-Mail: angelika.rauch@medizin.uni-leipzig.de

Dr. rer. nat., Dipl.-Ing. Andreas König
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
und Werkstoffkunde
Department für Kopf- und Zahnmedizin
Universitätsklinikum Leipzig
Liebigstraße 12
04103 Leipzig

