Hybridmaterialien – Indikation und Bewährung

Sebastian D. Horvath, Frank A. Spitznagel, Petra C. Gierthmühlen

Hybridmaterialien stellen ein neues Mitglied in der Familie der zahnärztlichen Materialien für computergestützt hergestellte Restaurationen dar. Ziel dieser neuen Materialgruppe ist es, Zahnärzten die Möglichkeit zu geben, Einzelzähne in einer Sitzung mit einem Material zu versorgen, das die strukturellen und physikalischen Eigenschaften gesunder Zahnhartsubstanz nachahmt. Ein Überblick über die derzeit erhältlichen Hybridmaterialien, deren klinische Eigenschaften und mögliche Limitationen.

CME auf zm-online
Interaktive Fortbildung

Das erste zahnärztliche CAD/CAM-System wurde mit dem Ziel entwickelt, Patienten in einer Behandlungssitzung mit einer langlebigen und ästhetischen Restauration zu versorgen. Seit ihrer ersten Anwendung im Jahr 1985 hat die CAD/CAM-Technologie die moderne Zahnmedizin weltweit verändert. In den Pionierjahren waren Blöcke aus Feldspatkeramik Material der Wahl, da diese am ehesten über die gewünschten physikalischen Eigenschaften verfügten. Sowohl die Technologie als auch die Materialien lieferten bei Überlebensraten von 90 Prozent nach zehn Jahren gute klinische Ergebnisse [Reiss und Walther, 2000]. Unter den Misserfolgen stellten sich Materialfrakturen als größtes Problem heraus [Donovan, 2008; Reiss und Walther, 2000].

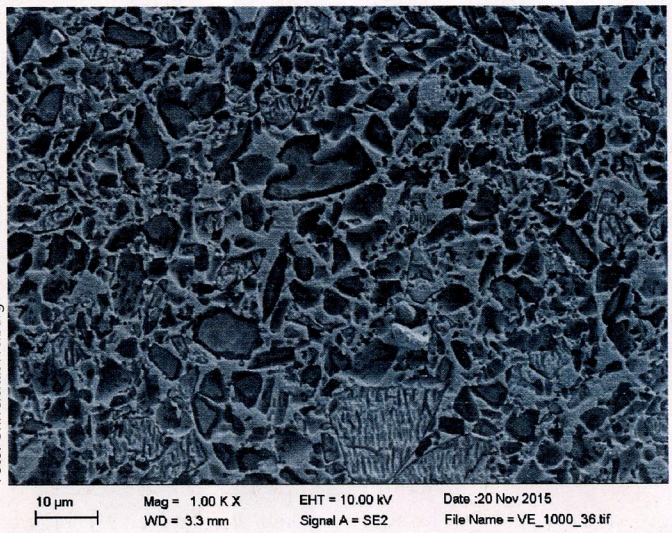


Foto: Universität Freiburg

Abbildung 1: Vita Enamic nach 60s-Ätzung mit fünf Prozent Flusssäure (1.000x-Vergrößerung): deutlich erkennbares Ätzmuster mit partiellem Herauslösen des Keramiknetzwerks (dunkler Bereich).

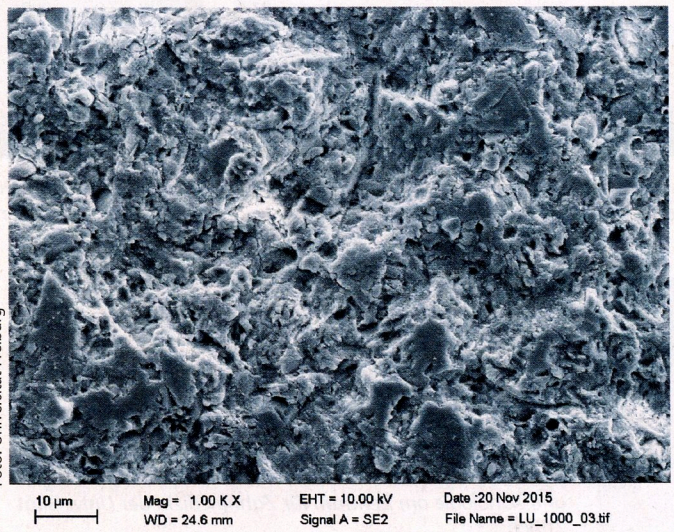


Foto: Universität Freiburg

Abbildung 2: Lava Ultimate nach Korundstrahlen mit 50 µm Al_2O_3 (1.000x-Vergrößerung): Abgebildet ist die Aufrauung der Oberfläche für bessere Benetzbarkeit.

Grundsätzliches zu Keramikmaterialien

Keramiken sind stabile, jedoch spröde Materialien mit einer geringen Frakturresistenz und einer hohen Anfälligkeit für Misserfolge, sollten Risse im Material vorhanden sein [Ruse und Sadoun, 2014]. Um dieses Problem zu lösen, wurden in den vergangenen Jahren zwei diametral entgegengesetzte Lösungsansätze verfolgt.

■ Eine Entwicklungsrichtung bestand darin, immer festere Materialien, beispielsweise Lithium-Disilikat-Glaskeramiken, die bessere Überlebensraten als Feldspatkeramiken zeigen [Guess et al., 2013], zur Verfügung zu stellen. Die erhöhte Biegefestigkeit macht es jedoch erforderlich, dass diese Materialien in einem vor-gesinterten Zustand geschliffen werden. Der folgende Sinterungsvorgang erfordert aber zusätzliches Equipment für die Zahnarztpraxis (Brennofen) und erschwert wiederum die Fertigstellung der Restauration in einer Behandlungssitzung. Darüber hinaus ist jede manuelle Bearbeitung eine mögliche Fehlerquelle, die

Zusammensetzung von Hybridmaterial-CAD/CAM-Blöcken entsprechend Herstellerangaben*

Produkt	Hersteller	Typ	Monomer	Füller	Fülleranteil in Prozent
Block HC	Shofu	CAD/CAM-Kompositmaterial	UDMA, TEGDMA	Silikat, Zr-Silikat	61
Cerasmart	GC	CAD/CAM-Kompositmaterial	Bis-MEPP, UDMA, DMA	Silikat, Bariumglas	71
Lava Ultimate	3M ESPE	CAD/CAM-Kompositmaterial	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	SiO_2, ZrO_2, zusammengesetzte ZrO_2/SiO_2-Cluster	80
Vita Enamic	Vita	Hybridkeramik	UDMA, TEGDMA	Feldspatkeramik angereichert mit Aluminiumoxid	86

Tabelle 1
**Daten von Lauvahutanon et al., 2015*

die Qualität des finalen Produkts herabsetzen kann.

■ Die andere Möglichkeit, Frakturen zu vermeiden, ist die Verwendung eines flexibleren Materials. Den Entwicklungen in diese Richtung liegen polymerbasierte Kompositmaterialien zugrunde, die in ihrer konventionellen Handhabung als Füllungswerkstoffe jedoch Probleme wie Polymerisationsschrumpfung, geringere mechanische Eigenschaften und eine verstärkte Abnutzung aufweisen [He und Swain, 2011].

Die Hybridmaterialien

Die zahnärztliche Literatur und die Hersteller bezeichnen diese neue Materialgruppe mit einer Vielzahl unterschiedlicher Begriffe. Die Gründe hierfür können in der unterschiedlichen materialspezifischen Zusammensetzung und Herstellung sowie in der relativen Neuheit dieser Materialgruppe gesehen werden. Die Kombination von Keramik- und Polymermaterialien – mit dem Ziel, die positiven Eigenschaften der beiden Materialgruppen zu vereinen – wird in diesem Artikel als „Hybridmaterialien" bezeichnet. Des Weiteren kann diese neue Werkstoffgruppe je nach Schwerpunkt in kunststoffbasierte Materialien, in der Folge „CAD/CAM-Kompositmaterialien", und in Werkstoffe mit hauptsächlich keramischem Anteil, in der Folge „Hybridkeramiken", aufgeteilt werden.

Das erste kommerziell erhältliche Hybridmaterial war Paradigm MZ100 (3M ESPE). Das Material wurde über die industrielle Polymerisation des Z100-Kompositmaterials hergestellt. Die kombinierte Polymerisation mittels Licht und Hitze führt zu einer signifikanten Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Kompositmaterialien [Suh, 2003; Nguyen et al., 2012]. Folgerichtig zeigt Paradigm MZ100 bessere physikalische Eigenschaften als Z100 [Ruse und Sadoun, 2014; Nguyen et al., 2012]. Das Material wurde später durch Lava Ultimate (3M ESPE) ersetzt, das über leicht verbesserte Materialeigenschaften verfügt [Johnson et al., 2014]. Lava Ultimate und die beiden neuesten Mitglieder in der Gruppe der Hybridmaterialien, GC Cerasmart (GC) und Shofu Block HC (SHOFU Dental), bestehen aus Nanokeramik-Partikeln, die in eine hochgehärtete Kunststoffmatrix eingebettet sind [Lauvahutanon et al., 2014; Koller et al., 2012].

Basierend auf dem Wissen über glasinfiltrierte Keramiksysteme entwickelte die Firma Vita Zahnfabrik die erste Hybridkeramik Vita Enamic (VITA Zahnfabrik). Hierbei handelt es sich um ein Material, das durch die Infiltration eines Feinstrukturkeramiknetzwerks mit einer Acrylpolymermischung gewonnen wird. Durch diesen Prozess lässt sich ein im Vergleich zu anderen Hybridmaterialien höherer Volumenanteil an Füllermaterialien erzielen, was wiederum zu verbesserten mechanischen Eigenschaften führt [Coldea et al., 2013b].

Zusammensetzung und Eigenschaften: Die Zusammensetzung derzeit erhältlicher Hybridmaterialien ist in Tabelle 1 dargestellt. Ausgewählte mechanische Eigenschaften von Hybridmaterialien, einer Lithium-Disilikat-Glaskeramik, adhäsiver Zemente, von menschlichem Dentin und von menschlichem Schmelz sind in Tabelle 2 dargestellt.

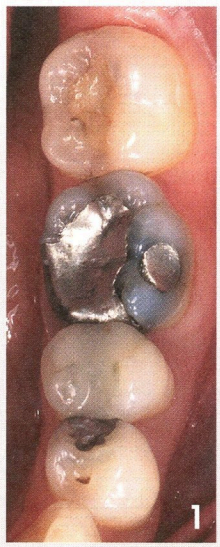
Der Biegemodul von Vita Enamic ist dem von menschlichem Dentin ähnlich. Wohingegen das Feldspatkeramik-Material und die Lithium-Disilikat-Glaskeramik einen ähnlichen Biegemodul wie beim menschlichen Schmelz aufweisen. Da der Biegemodul von Hybridmaterialien näher an dem von Dentin und dem adhäsiver Zemente liegt, ist eine einheitlichere Stressverteilung im System für Restaurationen aus Hybridmaterialien zu erwarten [Ausiello et al., 2004; Coldea et al., 2013a]. Die Biegefestigkeit von Hybridmaterialien ist höher als die von derzeit entwickelten nanogefüllten Kompositmaterialien [Takahashi et al., 2011]. Dies kann auf den industriellen Polymerisationsprozess zurückgeführt werden.

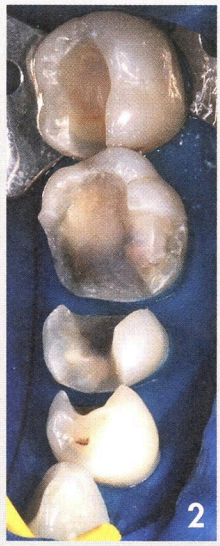
Eine Untersuchung der Härte von Vita Enamic zeigte ebenfalls Werte, die näher an denen von Dentin liegen als an denen von Schmelz und traditionellen Verblendkeramiken [Coldea et al., 2013b]. Daraus ergibt sich, dass bei diesem Material keine übermäßige Abnutzung der Antagonisten zu beobachten ist [Mörmann et al., 2013], was wiederum vor allem bei angerauter Oberfläche auftreten kann [Heintze et al., 2008].

Fallbeispiel Restauration mit Hybridkeramik

Eine 44-jährige Patientin stellte sich in der Klinik für Zahnärztliche Prothetik des Universitätsklinikums Freiburg zur Behandlung vor. Die klinische Untersuchung ergab insuffiziente Amalgam- und Kompositfüllungen an den Zähnen 34 bis 37 (Abbildung 1). Alle Zähne waren vital. Nach erfolgter Lokalanästhesie wurde das zu behandelnde Arbeitsfeld mit Kofferdam isoliert (OptraDam, Ivoclar Vivadent). Anschließend wurden die insuffizienten Restaurationen entfernt und die Zähne für minimalinvasive Inlays und Onlays defektbezogen präpariert. Dabei wurde auf einen weichen Präparationsverlauf und abgerundete Innenkanten geachtet. Approximale Schmelzüberhänge wurden mit oszillierenden Instrumenten (Sonicsys, KaVo) entfernt (Abbildung 2). Nach erfolgter Präparation wurde der Bereich mit einer Intraoralkamera (Cerec Omnicam, Sirona) digital abgeformt (Abbildung 3). Als Restaurationsmaterial wurde die Hybridkeramik VITA Enamic gewählt. Die Restaurationen wurden digital konstruiert (Abbildung 4) und anschließend gefräst (Cerec MC XL, Sirona).

Abbildung 5 zeigt die fertiggestellten Inlays und Onlays. Die Oberfläche der Hybridkeramik wurde zuerst für 60 Sekunden mit Flusssäure konditioniert (VITA Ceramics Etch) und anschließend silanisiert (Monobond S, Ivoclar Vivadent). Die adhäsive Eingliederung der Restaurationen erfolgte mit dem Syntac Classic System (Ivoclar Vivadent) und Variolink II (Ivoclar Vivadent) gemäß Herstellerangaben unter Kofferdam (Abbildung 6). Abbildung 7 zeigt dann schließlich die eingegliederten hybridkeramischen Versorgungen einige Tage später beim Kontrolltermin. ■





Fotos: Horvath

Abbildung 1: Ausgangssituation: Insuffiziente Kunststoff- und Amalgamfüllungen an den Zähnen 34 bis 37

Abbildung 2: Präparation der Zähne für minimalinvasive Inlays und Onlays

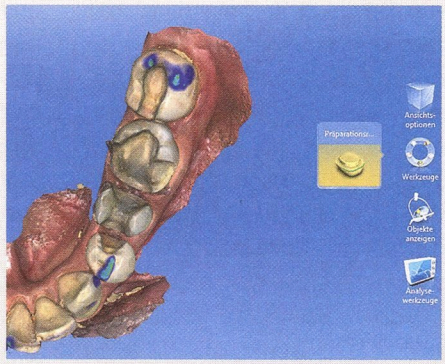


Abbildung 3: Digitaler Scan der Präparationen

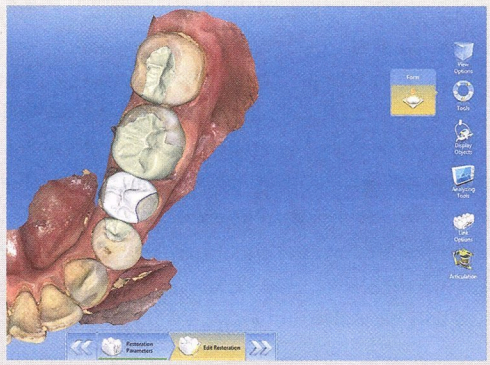
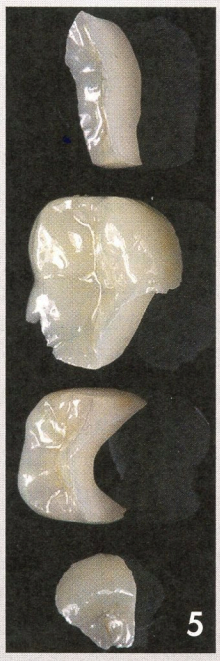
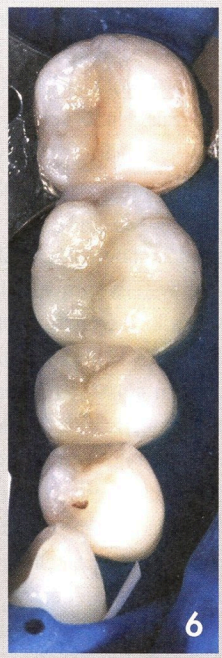


Abbildung 4: Digitale Konstruktion der geplanten Restaurationen





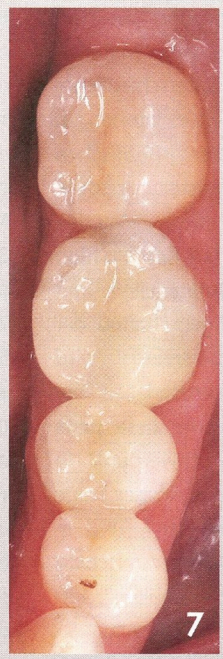


Abbildung 5: Fertiggestelle Restaurationen

Abbildung 6: Adhäsive Zementierung der Restaurationen unter Kofferdam

Abbildung 7: Eingegliederte Restaurationen

Mechanische Eigenschaften von Hybridmaterialien, einer Feldspatkeramik, einer Lithium-Disilikat-Glaskeramik, adhäsiven Zementen und von menschlichem Dentin und Schmelz*

	Zustand	Block HC	Cerasmart	Lava Ultimate	Vita Enamic	Vita Mark II	IPS e.max CAD	Adhäsiver Zement	Dentin	Schmelz
Biegefestigkeit (MPa)	Trocken	170.5 ± 10.5	242.0 ± 11.6	170.5 ± 28.7	140.7 ± 8.5	126.6 ± 8.1	353.05 ± 37.52	-	-	-
Biegefestigkeit (MPa)	Gealtert	117.6 ± 13.9	194.3 ± 14.9	120.1 ± 15.6	134.6 ± 6.7	129.0 ± 5.7	-	-	-	-
Biegemodul (GPa)	Trocken	9.6 ± 0.4	10.0 ± 0.2	14.5 ± 0.3	28.5 ± 1.1	51.5 ± 3.1	69.36 ± 6.22	6.8 – 10.8	17.7 – 29.8	72.7–105.5
Biegemodul (GPa)	Gealtert	7.2 ± 0.6	8.7 ± 0.3	12.2 ± 0.3	28.6 ± 0.8	54.9 ± 1.0	-	-	-	-

Tabelle 2
Trocken: Trockenlagerung; Gealtert: Lagerung in Wasser bei 37°C für sieben Tage gefolgt von 10.000 Thermozyklen
**Daten von [Lauvahutanon et al., 2014; Thornton und Ruse, 2015; Kinney et al., 1996; Habelitz et al., 2001; He und Swain, 2011; Boschian Pest et al., 2002]*

Mit einer CAD/CAM-Schleifeinheit hergestellte konische Probekörper aus Vita Enamic zeigten eine bessere Passung und weniger Aussprengungen als Probekörper aus traditionellen, glaskeramischen CAD/CAM-Materialien [Vita Zahnfabrik, 2012]. Dies kann auf den Polymeranteil zurückgeführt werden und ist besonders für die klinische Passung minimalinvasiver Restaurationen wichtig. Darüber hinaus erlaubt die geringere Härte des Materials eine kürzere Schleifzeit sowie weniger Abnutzung der CAD/CAM-Instrumente [He und Swain, 2011].

Aufgrund der hohen Belastbarkeit und Elastizität des Werkstoffs zeigt die Hybridkeramik ein hohes Absorptionspotenzial gegenüber auftretenden Kaukräften. Durch den Verbundcharakter des Materials weist Vita Enamic eine deutlich geringere Sprödigkeit als eine reine Keramik auf und zeigt somit eine bessere Spannungsverteilung bei Belastung [He und Swain, 2011].

Der CAD/CAM-Schleifprozess, klinische Anpassungen und die normale Benutzung können zu Rissen in Restaurationen führen. In einer Untersuchung der durch den Schleifvorgang erzeugten Festigkeitsreduktion bei CAD/CAM-Materialien zeigte Vita Enamic weniger Festigkeitsverlust als Feldspatkeramiken und als eine Lithium-Disilikat-Glaskeramik [Coldea et al., 2015].

Eine rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Risse in Vita Enamic zeigte, dass die Risse zwar durch den keramischen Anteil laufen, aber an den Polymer-Keramik-Grenzflächen abgelenkt werden. Dieses Verhalten führt zu einer Beschädigungstoleranz des Materials. Lokale Verletzungen können demnach weniger wahrscheinlich zu einem Verlust der Restauration aufgrund einer Materialfraktur führen [Coldea et al., 2013b].

Eine gute Politur von Restaurationen ist entscheidend, um die durch den Schleifprozess entstandenen Oberflächendefekte zu entfernen, einen guten Glanz sowie eine geringe Oberflächenrauigkeit der Restauration sicherzustellen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Hybridmaterialien, insbesondere die CAD/CAM-Kompositmaterialien, sich einfacher polieren lassen als klassische CAD/CAM-Materialien.

Ähnlich den Glaskeramiken können sich auch Hybridmaterialien der Farbe der darunterliegenden Zahnsubstanz anpassen. Dieser Chamäleoneffekt führt zu einer guten ästhetischen Integration. Derzeit sind lediglich monolithische CAD/CAM-Hybridkeramikblöcke verfügbar, so dass das ästhetische Ergebnis dem von laborgefertigten, geschichteten Restaurationen indikationsbezogen unterlegen ist. Eine Individualisierung der Materialien mit speziellen, meist lichthärtenden Kompositmaterialien oder Malfarben ist jedoch möglich.

Im Gegensatz zur Vielzahl an verfügbaren CAD/CAM-Materialien, die in einem vorgesinterten Zustand bearbeitet werden und somit noch einen Brennvorgang benötigen, werden Hybridmaterialien in ihrem Endzustand geschliffen. Da diese Restaurationen an einem einzigen Behandlungstermin fertiggestellt werden können, finden die Materialien vor allem bei der Indikation der Einzelzahnrestauration Anwendung. Bisher wurden Hybridmaterialien für Inlays, Onlays, Veneers, Vollkronen und implantatgetragene Einzelkronen von den Herstellern freigegeben. Seit Ende 2015 ist das Material Lava Ultimate aufgrund einer erhöhten Dezementierungsrate für die Indikation Vollkronen nicht mehr freigegeben [3M ESPE]. Eine mögliche Erklärung ist, dass bei Markteinführung die Oberflächenvorbehandlung mittels Korundstrahlen der Restaurationen vor dem Zementieren noch nicht vorgeschrieben war.

Der adhäsive Verbund der Restauration mit dem Zahn ist ein Schlüsselfaktor für den Langzeiterfolg zahnfarbener Restaurationen. Das genaue Einhalten der Zementierungsprotokolle und Herstellerangaben ist hierbei essenziell. Aufgrund der relativen Neuheit der Hybridmaterialien sind in der Literatur derzeit nur wenige Angaben zu der Vor-

behandlung dieser Materialien zu finden. Aus den derzeit verfügbaren Daten lässt sich ableiten, dass CAD/CAM-Kompositmaterialien vor dem Zementieren korundgestrahlt und silanisiert werden sollten. Hybridkeramiken hingegen können aufgrund ihrer keramischen Struktur durch Ätzen mit Flusssäure und Silanisierung vorbehandelt werden [Spitznagel et al., 2014].

Klinisches Verhalten: Klinische Daten zum Langzeitverhalten von Hybridmaterialien liegen derzeit noch nicht vor. Die vielversprechenden Materialeigenschaften wurden in In-vitro-Untersuchungen belegt und werden zu einer vermehrten Anwendung dieser Werkstoffe in zahnärztlichen Praxen führen. Unabhängige Studien, die das klinische Verhalten dieser Materialien beschreiben, sind daher dringend nötig. Zu beachten ist, dass die folgenden Untersuchungen auf Hybridmaterialien mit CAD/CAM-Anwendung beschränkt sind. (Ergebnisse, die das Verhalten von manuell hergestellten, indirekten Kompositrestaurationen beschreiben, wurden in dieser Übersichtsarbeit nicht erwähnt, da sich die Materialien signifikant von den neuen CAD/CAM-Werkstoffen unterscheiden.)

In-vitro-Studien konnten zeigen, dass okklusale Veneers aus CAD/CAM-Kompositmaterial (Paradigm MZ100) eine signifikant bessere Überlebensrate als solche aus verstärkten Glaskeramiken (IPS Empress und e.max CAD) [Magne et al., 2010; Schlichting et al., 2011] haben sowie dass diese eine erhöhte Ermüdungsresistenz endodontisch behandelter Zähne im Vergleich zu solchen aufweisen, die mit Feldspatkeramik versorgt waren (Vita Mark II) [Magne & Knezevic, 2009].

Die maximalen Belastungen für die Fraktur von CAD/CAM-Kompositmaterial (Lava Ultimate) übersteigen menschliche Kaukräfte selbst bei einer Dicke von 0,3 mm [Johnson et al., 2014].

In einer Untersuchung hatte eine siebentägige Lagerung in Wasser mit Temperaturwechseln einen negativen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von CAD/CAM-Kompositmaterial-Blöcken, wohingegen ein Hybridkeramik-Material und ein Glaskeramik-Material nicht beeinflusst wurden (Tabelle 2) [Lauvahutanon et al., 2014]. Wasser drang in die Kunststoffmatrix ein, was wiederum zu einer Quellung und zur Erweichung des Polymers führte. Darüber hinaus könnte das absorbierte Wasser zu einer Hydrolyse des Silan-Haftvermittlers geführt haben. Der Effekt war am größten bei Materialien, die Zirkonoxid als Füllpartikel verwenden. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass Zirkonoxid aufgrund des hohen Kristallgehalts nicht silanisiert werden kann [Druck et al., 2015].

Abrasives Zähneputzen reduziert den Glanz und erhöht die Oberflächenrauigkeit von Zahnschmelz sowie restaurativen Materialien. Hybridmaterialien zeigen dabei mehr Glanzverlust und eine vermehrte Zunahme an Oberflächenrauigkeit als klassische Keramikmaterialien. Die Werte überstiegen dennoch die von menschlichem Schmelz [Mörmann et al., 2013].

In einer laufenden klinischen Untersuchung wurden 103 Zähne mit minimalinvasiven Restaurationen aus Hybridkeramik (Vita Enamic) versorgt. Nach einer Beobachtungszeit von einem Jahr betrug die Überlebensrate 100 Prozent. Randpassung und Randverfärbung waren bei allen Restaurationen klinisch zufriedenstellend [Vuck et al., 2014].

Zusammenfassung

Die neue vielversprechende Materialgruppe der Hybridkeramiken – mit zahnähnlichen Eigenschaften – stellt eine zeit- und kosteneffiziente Versorgung für Einzelzahnrestaurationen dar. In einer einzigen Behandlungssitzung können ästhetische, minimalinvasive Restaurationen hergestellt werden. Die ersten In-vitro- und die ersten klinische Ergebnisse sind vielversprechend. Es besteht jedoch dringender Bedarf an klinischen Langzeitstudien, die dies bestätigen.

Dr. med. dent. Sebastian D. Horvath
Frank A. Spitznagel
Prof. Dr. Petra C. Gierthmühlen
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Universitätsklinikum Düsseldorf
Moorenstr. 5
40225 Düsseldorf
sebastian.horvath@drhorvath.de
sowie
Dr. med. dent. Sebastian D. Horvath
Privatpraxis, Jestetten, Deutschland
sowie
Adjunct Assistant Professor, Department of Preventive and Restorative Sciences
University of Pennsylvania School of Dental Medicine, Philadelphia, PA, USA

Danksagung und Interessenkonflikt:

Die Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Department für Zahn, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Freiburg erhält Forschungsförderung der Firmen Vita Zahnfabrik, Ivoclar Vivadent und Sirona.

Zahntechnikermeisterin Sonja Ganz, Reichel Zahntechnik, Hermeskeil, Deutschland, gilt unser Dank für die gute Zusammenarbeit.

Dr. Sebastian D. Horvath

2003 bis 2008 Zahnmedizinstudium in Freiburg,
2008 Promotion,
von 2009 bis 2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abteilung für ZÄ Prothetik des Uniklinikums Freiburg,
Adjunct Assistant Professor of Restorative Dentistry am Department of Preventive and Restorative Sciences, University of Pennsylvania, Philadelphia (USA) sowie Gastwissenschaftler der obigen Abteilung in Freiburg.
Dr. Horvath ist Spezialist für Prothetik der DGPro.
Schwerpunkt: ästhetisch-restaurative Zahnheilkunde in freier Praxis in Jestetten

zm Leser service

Die Literaturliste kann auf www.zm-online.de abgerufen oder in der Redaktion angefordert werden.

ZM-ONLINE: QR-CODE 46643
Hybridmaterialien

Für eine erfolgreich gelöste Fortbildung erhalten Sie 2 CME-Punkte der BZÄK/DGZMK.

zm Zahnärztliche Mitteilungen

LESERSERVICE

Leserservice zm Nr. 10/2016, S. 56-62

Titel: Neue Gesichtspunkte der restaurativen Zahnmedizin
Hybridmaterialien – Indikation und Bewährung

Sebastian D. Horvath, Frank A. Spitznagel, Petra C. Gierthmühlen

Literatur

- 3M ESPE, Lava™ Ultimate CAD/CAM Restorative from 3M ESPE. Available at: http://www.3m.com/3M/en_US/Dental/Products/Lava-Ultimate/ [Accessed September 13, 2015].
- Ausiello, P. et al., 2004. Stress distributions in adhesively cemented ceramic and resin-composite Class II inlay restorations: a 3D-FEA study. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 20(9), pp.862–872.
- Coldea, A. et al., 2015. Damage tolerance of indirect restorative materials (including PICN) after simulated bur adjustments. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 31(6), pp.684–694.
- Coldea, A., Swain, M.V. & Thiel, N., 2013a. In-vitro strength degradation of dental ceramics and novel PICN material by sharp indentation. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 26(C), pp.34–42.
- Coldea, A., Swain, M.V. & Thiel, N., 2013b. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 29(4), pp.419–426.
- Donovan, T.E., 2008. Factors essential for successful all-ceramic restorations. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 139 Suppl, pp.14S–18S.
- Druck, C.C. et al., 2015. Adhesion to Y-TZP ceramic: study of silica nanofilm coating on the surface of Y-TZP. *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials*, 103(1), pp.143–150.
- Guess, P.C. et al., 2013. Prospective clinical split-mouth study of pressed and CAD/CAM all-ceramic partial-coverage restorations: 7-year results. *The International journal of prosthodontics*, 26(1), pp.21–25.
- He, L.-H. & Swain, M., 2011. A novel polymer infiltrated ceramic dental material. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 27(6), pp.527–534.
- Heintze, S.D. et al., 2008. Wear of ceramic and antagonist--a systematic evaluation of influencing factors in vitro. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 24(4), pp.433–449.

- Johnson, A.C. et al., 2014. Fracture strength of CAD/CAM composite and composite-ceramic occlusal veneers. *Journal of Prosthodontic Research*, 58(2), pp.107–114.

- Koller, M. et al., 2012. Lava ultimate resin nano ceramic for CAD/ CAM: customization case study. *International journal of computerized dentistry*, 15(2), pp.159–164.

- Lauvahutanon, S. et al., 2014. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dental materials journal*, 33(5), pp.705–710.

- Magne, P. & Knezevic, A., 2009. Simulated fatigue resistance of composite resin versus porcelain CAD/CAM overlay restorations on endodontically treated molars. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*, 40(2), pp.125–133.

- Magne, P. et al., 2010. In vitro fatigue resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic posterior occlusal veneers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 104(3), pp.149–157.

- Mörmann, W.H. et al., 2013. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: Two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 20(C), pp.113–125.

- Nguyen, J.-F. et al., 2012. Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 28(5), pp.529–534.

- Reiss, B. & Walther, W., 2000. Clinical long-term results and 10-year Kaplan-Meier analysis of Cerec restorations. *International journal of computerized dentistry*, 3(1), pp.9–23.

- Ruse, N.D. & Sadoun, M.J., 2014. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *Journal of Dental Research*, 93(12), pp.1232–1234.

- Schlichting, L.H. et al., 2011. Novel-design ultra-thin CAD/CAM composite resin and ceramic occlusal veneers for the treatment of severe dental erosion. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 105(4), pp.217–226.

- Spitznagel, F.A. et al., 2014. Resin Bond to Indirect Composite and New Ceramic/Polymer Materials: A Review of the Literature. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]*, 26(6), pp.382–393.

- Suh, B.I., 2003. New concepts and technology for processing of indirect composites. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995)*, 24(8 Suppl), pp.40–42.

- Takahashi, H. et al., 2011. Comparative evaluation of mechanical characteristics of nanofiller containing resin composites. *American journal of dentistry*, 24(5), pp.264–270.

- Vita Zahnfabrik, 2012. Vita Enamic - Technisch-Wissenschaftliche Dokumentation. pp.1–28. Available at: https://www.vita-zahnfabrik.com/de/VITA-ENAMIC-27588,27568,85233.html [Accessed September 13, 2015].

- Vuck, A., Strub, J.R. & Guess, P.C., 2014. Minimal Invasive CAD/CAM Hybrid-Ceramic Restorations. *XXXIII International AIOP Congress*, pp.1–1.