

Die **Zukunft** der Composite-**Technologie.**

Jetzt erhältlich.



Das **schnelle Seitenzahn-Composite**



Tetric EvoCeram® Bulk Fill

Das modellierbare Bulk-Fill-Composite

Wissenschaftliche Dokumentation

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1 Composites für die direkte Füllungstherapie	3
1.1.1 Kurzer geschichtlicher Überblick.....	3
1.1.2 Monomertechnologie.....	3
1.1.3 Füllertechnologie.....	4
1.1.4 "Bulk-Fill"-Composites.....	5
2. Tetric EvoCeram Bulk Fill	6
2.1 Monomertechnologie	6
2.2 Füllertechnologie	7
2.2.1 Füllergrösse und Polierbarkeit.....	10
2.2.2 Schrumpfungstress-Relaxator	10
2.3 Polymerisation	11
2.3.1 Der Lichtinitiator Ivocerin®	12
2.3.2 Licht-Controller.....	15
2.4 Paradigmenwechsel: Von der 2-mm- zur 4-mm-Inkrementtechnik	16
3. Technische Daten	17
4. Materialwissenschaftliche Untersuchungen / In-vitro	18
4.1 Durchhärtetiefe	18
4.2 Lichtunempfindlichkeit	25
4.3 Polymerisationsschrumpfung	26
4.3.1 Volumensschrumpfung.....	26
4.3.2 Schrumpfungskraft und Schrumpfungstress.....	28
4.3.3 Randschluss	31
4.4 Verschleiss	33
4.5 Polierbarkeit	34
5. Klinische Studien / In Vivo	36
6. Biokompatibilität	41
6.1 Zytotoxizität	41
6.2 Mutagenität	41
6.3 Irritation und Sensibilisierung	41
6.4 Schlussfolgerungen	41
7. Literatur	42

1. Einleitung

1.1 Composites für die direkte Füllungstherapie

Dentalcomposites sind in den 1960er Jahren in die Zahnmedizin eingeführt worden.¹ Ihre Entwicklung ist eng mit der Entwicklung der Dentaladhäsive verknüpft. Ursprünglich wurden Dentalcomposites hauptsächlich im Frontzahnbereich eingesetzt, wo Amalgamfüllungen aufgrund ihrer Farbe einen Nachteil darstellten. In den 1990er Jahren begannen Composites zunehmend, Amalgam als universelles Füllungsmaterial zu ersetzen - damit war der Weg für die minimalinvasive Zahnheilkunde geebnet. Da eine retentive Präparationsform wie bei Amalgamfüllungen nicht mehr notwendig war, konnte die Grösse der Kavität auf das zu exkavierende demineralisierte Gewebe beschränkt werden. Diese neue Entwicklung in der restaurativen Zahnheilkunde war jedoch nur durch die gleichzeitige Einführung von klinisch zuverlässigen Schmelz-/Dentin-Adhäsiven möglich.

Natürlich hat nicht nur der Patientenwunsch nach unsichtbaren, ästhetischen Restaurationen zur Erfolgsgeschichte der Composites beigetragen. Diese Entwicklung ist auch auf die kontinuierliche Verbesserung der physikalischen und ästhetischen Eigenschaften sowie der Verarbeitungseigenschaften von Composite-Werkstoffen und Haftvermittlern durch die Dentalindustrie zurückzuführen.

1.1.1 Kurzer geschichtlicher Überblick

Composites bestehen aus mindestens zwei unterschiedlichen Materialien. Meist handelt es sich um anorganische oder organische Füller, die in eine organische Harzmatrix eingebettet sind. Der erste Schritt in Richtung Composites wurde von Bowen im Jahr 1962 durch die Synthese des Monomers Bis-GMA gemacht, welches mit gemahlenem Quarz gefüllt wurde.¹ Zu Beginn waren jedoch nur chemisch härtende Zweikomponenten-Composite-Materialien erhältlich. Mit der Einführung der Photopolymerisation wurden zunächst UV-härtende Systeme angeboten,² bis Ende der siebziger Jahre erstmals ein Bericht über ein mit Blaulicht härtendes, zahnärztliches Füllungsmaterial veröffentlicht wurde.³ Der Einsatz von direkten Composites für grosse Seitenzahnfüllungen war am Anfang aufgrund des höheren Verschleisses dieser Materialien und ihrer Polymerisationsschrumpfung nur eingeschränkt möglich. Dies führte zur Einführung der ersten Generation von indirekten Composites in den 1980er Jahren. Diese wurden/werden modelliert und dann extraoral bei höherer Lichtintensität/Hitze, als dies im Mund möglich wäre, gehärtet/vergütet. Bulk-Fill-Composites, die speziell für grosse Seitenzahnfüllungen konzipiert wurden, stellen den Beginn einer neuen Ära in der direkten Füllungstherapie dar. Die traditionelle 2-mm-Inkrementtechnik rückt zunehmend in den Hintergrund.

1.1.2 Monomertechnologie

Monomere bilden zusammen mit Initiatoren, Katalysatoren und anderen Zusatzstoffen den reaktiven Teil eines Composite-Füllungswerkstoffes. Die Harzmatrix eines Composites besteht aus Monomeren. Diese müssen im oralen Umfeld stabil sein, sowie Farbstabilität und eine geringe Polymerisationsschrumpfung (hohes Molekulargewicht) aufweisen. Hochmolekulare, multifunktionale (hauptsächlich bifunktionale) Methacrylatverbindungen haben sich in diesem Zusammenhang am besten bewährt.

Das am häufigsten eingesetzte Monomer ist Bis-GMA (Bisphenol-A-Diglycidyl-Dimethacrylat). Es wurde erstmals in den frühen 1960er Jahren synthetisiert und eingesetzt. Durch seine Tendenz zur Wasserabsorption, die zu Aufquellen und Verfärbungen führen kann, wird es nur in relativ geringer Menge bzw. in Kombination mit anderen Methacrylaten eingesetzt. Meistens besteht die Harzmatrix daher aus einem Gemisch von verschiedenen Dimethacrylaten. Dimethacrylate sind Methacrylate mit zwei polymerisierbaren Methacrylatgruppen. UDMA (Urethan-Dimethacrylat) ist eine weitere Verbindung, die häufig eingesetzt wird. Im Vergleich zu Bis-GMA weist es eine niedrigere Viskosität auf und kann

daher unverdünnt angewendet werden. Da UDMA keine Hydroxyl-Seitengruppen (OH-Gruppen) besitzt, ist auch seine Wasseraufnahme gering. Moderne Composite-Werkstoffe bestehen aus niedrigviskosen Dimethacrylaten in Kombination mit Bis-GMA.⁴ Je nach den Eigenschaften eines Composite macht der Monomergehalt ca. 12 bis 40 % seiner Masse aus.

1.1.3 Füllertechnologie

Füller verleihen Composite-Werkstoffen die nötige Festigkeit, um den Belastungen im oralen Umfeld standhalten zu können. Ebenso stellen sie eine akzeptable Lebensdauer sicher. Basierend auf ihrer Füllerzusammensetzung werden Composite-Füllungsmaterialien in makrogefüllte, mikrogefüllte und Hybrid-Composites unterteilt. Makrogefüllte Composites enthalten überwiegend Glasfüller mit einer mittleren Teilchengröße von $>3 \mu\text{m}$. Bei mikrogefüllten Composites liegt die mittlere Teilchengröße bei unter 100 nm – daher spricht man heute auch von Nanofüllern. In Hybrid-Composites sind die Zwischenräume zwischen den groben Füllerpartikeln mit Mikrofüllern ausgefüllt. Art, Größe und Konzentration der Füller bestimmen die Eigenschaften eines Composites, wie Transluzenz, Festigkeit, Opaleszenz und Röntgenopazität, ebenso wie dessen Monomergehalt. Damit spielen Füller für die Erhöhung der Verschleissfestigkeit und Verringerung der Polymerisations-schrumpfung eine wesentliche Rolle.

Makrofüller

Die ersten Composites enthielten nur Makrofüller, die sich zwar auf Schrumpfung und Elastizitätsmodul positiv auswirkten, aber zu mangelhaften Oberflächeneigenschaften und einer geringen Verschleissfestigkeit führten. Aus diesem Grund waren diese Composites klinisch nicht erfolgreich.⁵

Mikrofüller

Im Jahr 1974 patentierte Ivoclar Vivadent ein mikrogefülltes Composite.⁶ Mikrogefüllte Composites führten zu einem Durchbruch, da sie die ersten Werkstoffe waren, die eine ausreichend hohe Verschleissfestigkeit und eine akzeptable Oberflächenqualität im Mund aufwiesen. Allerdings waren Mikrofüller nicht in der Lage, zwei wichtige Probleme zu lösen: zum einen geben anorganische Mikrofüller dem Composite nicht die gleiche Festigkeit wie Makrofüller, was eine geringe Biegefestigkeit und ein niedrigeres Elastizitätsmodul zur Folge hat. Zum anderen führt die hohe spezifische Oberfläche der Mikrofüller zu einer starken Verdickung des Materials, sodass nur beschränkte Mengen anorganischer Füller verwendet werden können. Folglich weisen mikrogefüllte Composites eine hohe Polymerisations-schrumpfung auf. Diese Nachteile – insbesondere die Polymerisationsschrumpfung – kann man weitgehend ausgleichen, indem zuerst ein mikrogefülltes Composite hergestellt wird und dieses dann fein gemahlen und dem endgültigen Werkstoff als Füller beigemischt wird. Diese organische Polymer-Füller können als „Isofillers“ bezeichnet. Bereits bei Heliomolar wurde diese Füllerart von Ivoclar Vivadent erfolgreich eingesetzt. Mikrogefüllte Composites weisen typischerweise eine höhere Verschleissresistenz auf als andere Composite-Typen, da kleinere Partikel-Größen zu geringerem Verschleiss führen.⁷

Hybride

Der nächste logische Entwicklungsschritt waren Hybrid-Composites. Wie der Name ‚Hybrid‘ bereits andeutet, werden hier verschiedenartige Füller kombiniert, um den bestmöglichen Nutzen aus den Eigenschaften aller Füllertypen zu ziehen und eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften zu erreichen. Ausserdem ermöglicht diese Technologie einen sehr hohen Füllergehalt. Das Ergebnis sind eine hohe physikalische Festigkeit und eine reduzierte Polymerisationsschrumpfung. Beispiele aus dieser Produktgruppe sind die Mikrohybride Tetric und Tetric Ceram, sowie die Nanohybride Tetric EvoCeram und Tetric EvoCeram Bulk Fill.

1.1.4 "Bulk-Fill"-Composites

Seit einigen Jahren sind spezielle Composites für die Bulk-Fülltechnik mit grösserer Durchhärtetiefe und geringerer Schrumpfung auf dem Markt. In einer von Polydorou et al.⁸ 2008 veröffentlichten In-vitro-Studie wurde die Durchhärtetiefe von zwei transluzenten Composites untersucht. Unabhängig von der verwendeten Lichtquelle (LED oder Halogenlicht) zeigte sich, dass eine ausreichende Durchhärtung der QuiXfil-Proben (Dentsply) bis zu einer Tiefe von 3,5 bis 5,5 möglich war. Im Vergleich dazu wurde mit derselben Methode bei Mikrofüller-Composites eine maximale Durchhärtetiefe von nur 2,5 mm erzielt.

Man sollte sich aber darüber im Klaren sein, dass Bulk-Fill-Composites keine einheitliche Materialklasse bilden. Während alle Materialien das Einbringen von grossen Inkrementen erlauben, sind ihre klinische Anwendung und die Füllungsstruktur unterschiedlich. In der untenstehende Tabelle sind die Eigenschaften einer Auswahl von Produkten zusammengefasst:

Produkt	Hersteller	Konsistenz	Schichtdicke	Anwendung
Tetric EvoCeram Bulk Fill	Ivoclar Vivadent	Modellierbar	4 mm	Einschichttechnik möglich
QuiXfil	Dentsply	Modellierbar	4 mm	Einschichttechnik möglich
x-tra Fil	Voco	Modellierbar	4 mm	Einschichttechnik möglich
Venus Bulk Fill	Heraeus Kulzer	Fliessfähig	4 mm	Überschichten mit konventionellem Composite notwendig
SDR	Dentsply	Fliessfähig	4 mm	Überschichten mit konventionellem Composite notwendig
SonicFill	Kerr	Fliessfähig, schallaktiviert, modellierbar	5 mm	Einschichttechnik möglich
x-tra base	Voco	Fliessfähig	4 mm	Überschichten mit konventionellem Composite notwendig
Filtek Bulk Fill	3M Espe	Fliessfähig	4 mm	Überschichten mit konventionellem Composite notwendig

Tabelle 1: Überblick über die Eigenschaften verschiedener Bulk-Fill-Composites

Bulk-Fill-Composites müssen geringen Schrumpfungsstress und damit eine gute Randqualität gewährleisten, der Kaubelastung im Seitenzahnbereich standhalten und genügend Verarbeitungszeit bei Umgebungslicht, die nötige Röntgenopazität, gute Poliereigenschaften sowie eine hohe Ästhetik bieten.

Modellierbare Materialien können in einer Schicht appliziert und anschliessend der natürlichen Zahnform entsprechend modelliert werden. Flowables eignen sich nicht für die Einschichttechnik, da mit diesen Materialien eine Oberflächengestaltung nicht möglich ist. Sie müssen mit konventionellem Composite überschichtet werden, um Höcker modellieren und eine naturnahe Oberflächenstruktur erzielen zu können.

2. Tetric EvoCeram Bulk Fill

Mit Tetric EvoCeram Bulk Fill wurde ein weiterer Meilenstein im Bereich der Composite-Technologie gesetzt. Dieses lichthärtende Nano-Hybrid-Composite für die direkte Füllungstherapie stellt eine Weiterentwicklung des klinisch bewährten Universal-Composites Tetric EvoCeram dar. Es ist auch für Klasse-V-Füllungen und die erweiterte Fissurenversiegelung anwendbar. Tetric EvoCeram Bulk Fill kann in 4-mm-Inkrementen appliziert, modelliert und in nur 10 Sekunden polymerisiert werden (Lichtintensität $>1000 \text{ mW/cm}^2$), ohne dass seine physikalischen Eigenschaften beeinträchtigt werden. Tetric EvoCeram Bulk Fill lässt sich jedoch auch mit konventionellen LED-Lichtgeräten polymerisieren. Da das Composite in 4-mm Schichten ausgehärtet wird, kann von einem Paradigmenwechsel in der Zahnheilkunde gesprochen werden. Über viele Jahre hindurch war die gängige Lehrmeinung, dass zuverlässige Composite-Restaurationen nur mit maximal 2-mm dicken, zwischengehärteten Schichten erzielbar wären, da nur diese Technik eine geringe Polymerisationsschrumpfung gewährleistete. Um diese Lehrmeinung zu entkräften, mussten die chemischen und physikalischen Parameter der Composite-Füllungswerkstoffe neu überdacht werden.⁹ Die weiterentwickelte Füllertechnologie, der Schrumpfstress-Relaxator auf Isofiller-Basis, der Lichtinitiator/ Polymerisationsbeschleuniger (Ivocerin[®]) sowie der Licht-Controller, die im neuen Tetric EvoCeram Bulk Fill zum Einsatz kommen, sind das Ergebnis dieses Prozesses.

2.1 Monomertechnologie

Tetric EvoCeram Bulk Fill enthält dieselben Dimethacrylate wie Tetric EvoCeram: Bis-GMA, Bis-EMA und UDMA. Wie bei allen Composites werden diese durch den Polymerisationsprozess zu einer Polymermatrix vernetzt. Die organische Polymermatrix von Tetric EvoCeram Bulk Fill macht 21% seiner Masse aus. Bis-GMA, Bis-EMA und UDMA zeigen eine geringe Volumensschrumpfung. Sowohl Tetric EvoCeram als auch Tetric EvoCeram Bulk Fill bestehen aus einer ausgewogenen, optimierten Kombination von Monomeren und Füllern.

	<p>Bis-GMA Bisphenol-A-Diglycidyl-Dimethacrylat</p>
	<p>UDMA Urethan-Dimethacrylat</p>
	<p>Bis-EMA Ethoxyliertes Bisphenol-A-Dimethacrylat</p>

Tabelle 2: Strukturformeln der in Tetric EvoCeram Bulk Fill verwendeten Monomere

2.2 Füllertechnologie

Die Füllertechnologie von Tetric EvoCeram Bulk Fill basiert auf jener des klinisch bewährten Tetric EvoCeram. Um die gewünschten Composite-Eigenschaften zu erhalten, kommen in Tetric EvoCeram Bulk Fill verschiedene Füller zum Einsatz (Barium-Aluminium-Silikatglas mit zwei verschiedenen mittleren Teilchengrößen, Isofiller, Ytterbiumfluorid und sphärisches Mischoxid). Tetric EvoCeram Bulk Fill enthält etwa 61 (Vol-)% Standardfüller und 17% Isofiller. Die Aufnahmen unten zeigen die verschiedenen Füller, die in Tetric EvoCeram Bulk Fill zur Anwendung kommen:

Glasfüller

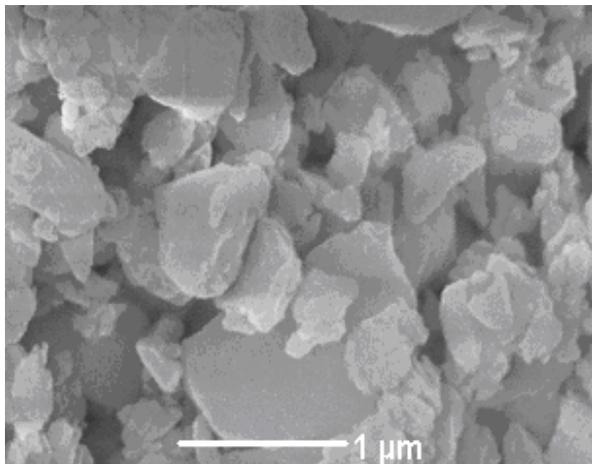
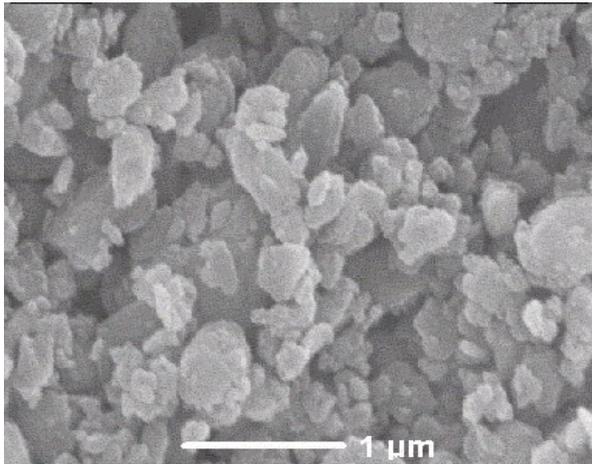


Abb. 1a,b: Barium-Aluminium-Silikatglasfüller mit einer mittleren Teilchengröße von 0.4 μm (linkes Bild) und 0.7 μm (rechtes Bild), wie sie in Tetric EvoCeram Bulk Fill zum Einsatz kommen.

Isofiller

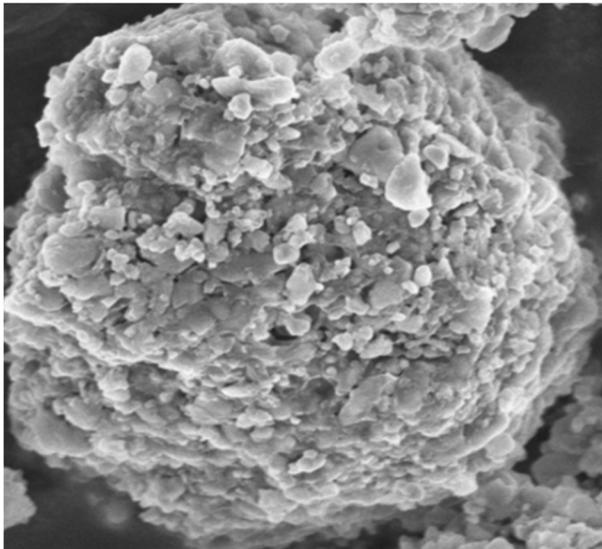


Abb. 2: *Isofiller* aus polymerisierten Dimethacrylaten, Glasfüller und Ytterbiumfluorid

Ytterbiumfluorid

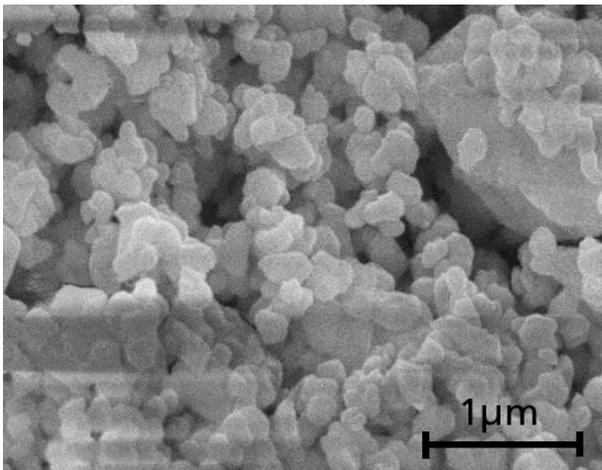


Abb. 3: Ytterbiumfluorid mit einer mittleren Teilchengröße von 200 nm

Sphärisches Mischoxid

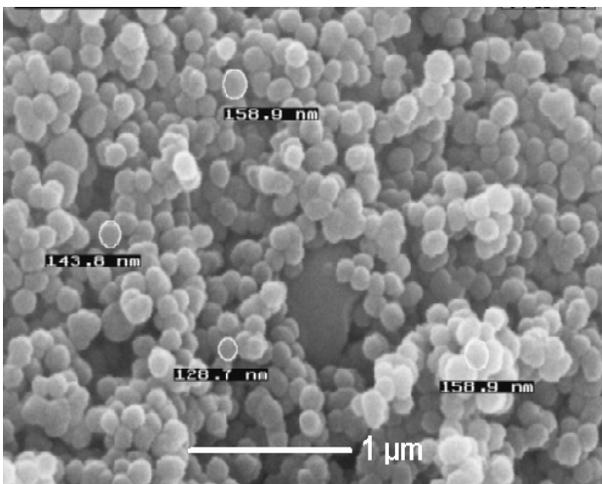


Abb. 4: Mischoxid mit einer mittleren Teilchengröße von 160 nm

Die Glasfüller sorgen für einen geringen Verschleiss und günstige Poliereigenschaften, wie geringe Oberflächenrauigkeit und hohen Glanz. Der Isofiller-Füllertyp ist für eine reduzierte Polymerisationsschrumpfung und den geringeren Schrumpfstress verantwortlich. In Tetric EvoCeram Bulk Fill kommt ein spezielles Isofiller als Schrumpfstress-Relaxator zum Einsatz, das in Punkt 2.2.2 näher beschrieben wird. Ytterbiumfluorid trägt wesentlich zur guten Röntgenopazität bei und kann Fluorid freisetzen. Sphärisches Mischoxid ist die Grundlage für reduzierten Verschleiss und eine gute Konsistenz. Die Kugelform der Partikel ist ideal für einen möglichst geringen Verdickungseffekt, da hiermit größtes Volumen bei gleichzeitig kleinster Oberfläche erreicht werden kann. Primärpartikel, d.h. einzelne Teilchen, und Sekundärpartikel (in Form von Agglomeraten) ergeben in Kombination eine ideale Konsistenz. Mischoxide sorgen zudem für eine hohe Ästhetik, da ihr Lichtbrechungsindex auf den der Polymermatrix abgestimmt ist, sodass das Licht ungehindert hindurch kann. Dies ermöglicht eine unauffällige, praktisch unsichtbare Restauration.



Abb. 5: Illustration der Wirkung von unterschiedlichen und gleichen Lichtbrechungsindizes: Glasstab in Wasser (links) und in einer Monomermischung mit abgestimmtem Lichtbrechungsindex (rechts).

Abb. 5 illustriert die Wirkung eines abgestimmten Lichtbrechungsindex von Füller und Polymermatrix. Das linke Glas enthält Wasser mit einem Lichtbrechungsindex von 1,33, während das rechte Glas eine Monomermischung enthält, die denselben Lichtbrechungsindex wie der Glasstab aufweist. Entspricht der Brechungsindex der Füller demjenigen der Matrix, wird das Licht nicht unterschiedlich gebrochen. Daher werden Strukturen unsichtbar wie beim rechten Glas.

Die folgenden Bilder illustrieren das ästhetische Ergebnis, das mit Tetric EvoCeram Bulk Fill erzielbar ist: Abb. 6 b zeigt die Füllung, die von der natürlichen Zahnschubstanz praktisch nicht zu unterscheiden ist.

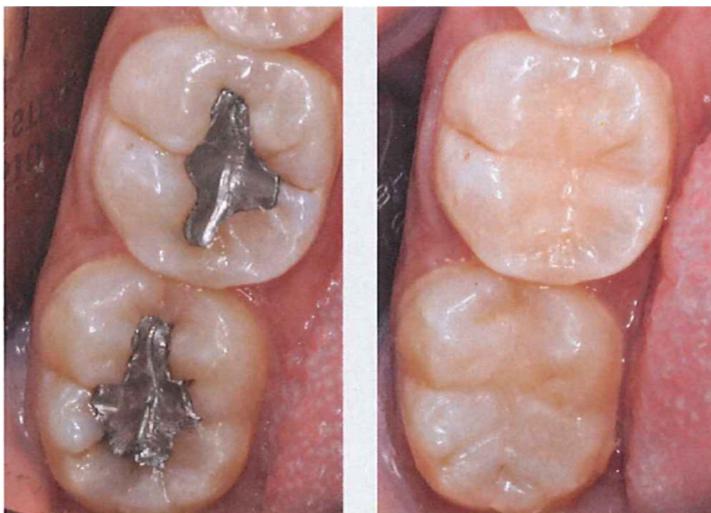


Abb. 6 a, b: Ersatz von Amalgamfüllungen im Seitenzahnbereich: Ausgangssituation (links) und Versorgung mit Tetric EvoCeram Bulk Fill (rechts).

Dr Eduardo Mahn, Las Condes, Santiago, Chile

2.2.1 Füllergrosse und Polierbarkeit

Der Anteil und die Grösse der verschiedenen Füller sorgen für eine gute Polierbarkeit und den hohen Glanz von Tetric EvoCeram Bulk Fill. Das Composite enthält vergleichsweise kleine Füller, da sich mit grossen Füllern nicht die gleiche glatte und glänzende Oberfläche erzielen lässt wie mit kleinen Füllern. Die folgenden rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen (REM) zeigen deutlich die Unterschiede zwischen den in Tetric EvoCeram Bulk Fill (oben links) und anderen Composite-Werkstoffen verwendeten Füllern.

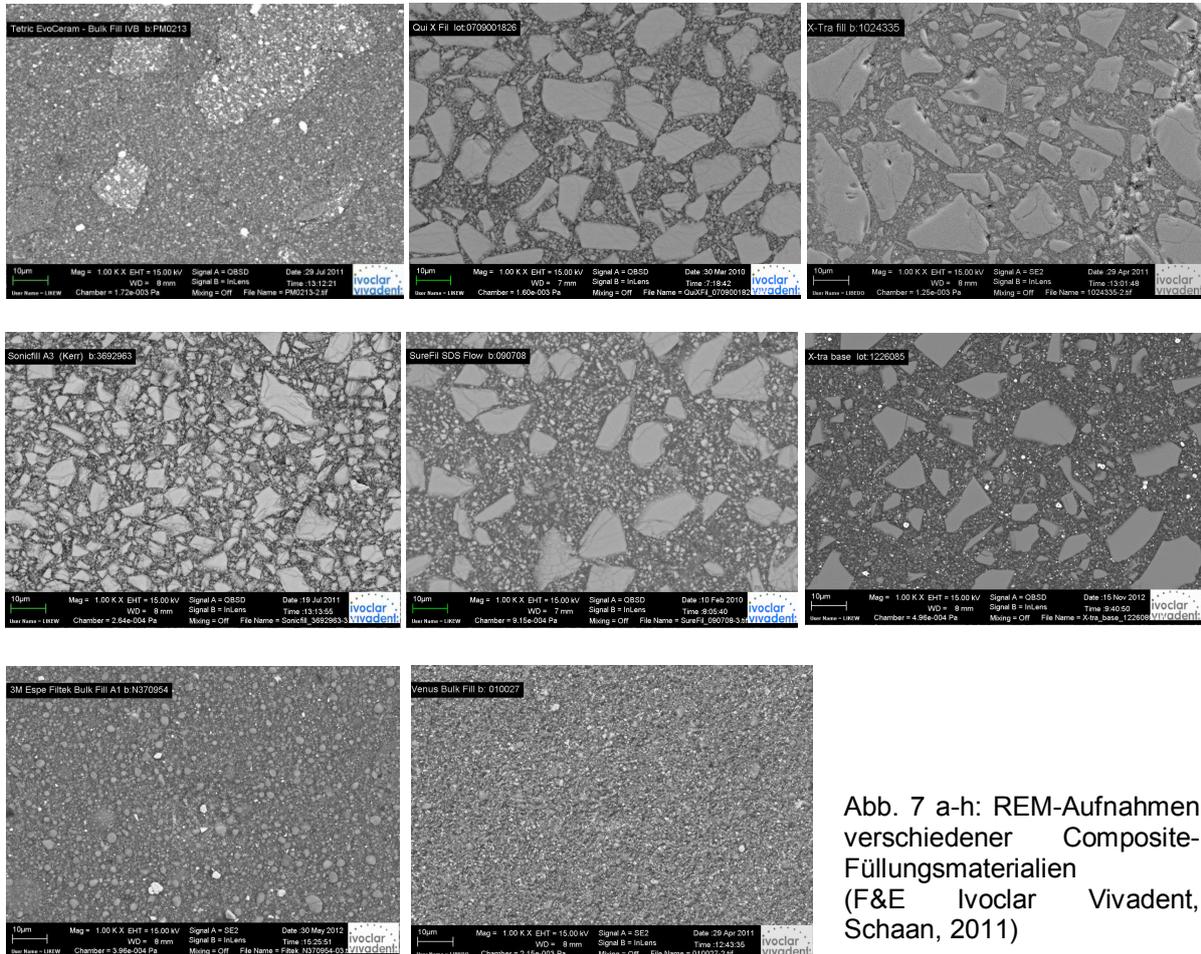


Abb. 7 a-h: REM-Aufnahmen verschiedener Composite-Füllungsmaterialien (F&E Ivoclar Vivadent, Schaan, 2011)

Abgesehen von Filtek Bulk Fill/3M Espe (unten links) und Venus Bulk Fill/Heraeus Kulzer (unten Mitte), enthalten alle dargestellten Materialien relativ grosse Füller. Dies korreliert mit den in Abschnitt 4.5 beschriebenen Polierergebnissen.

2.2.2 Schrumpungsstress-Relaxator

Tetric EvoCeram Bulk Fill kann in 4-mm-Schichten appliziert werden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass das Composite eine geringe Polymerisationsschrumpfung aufweist. Die Schrumpfung während der Polymerisation war in der Vergangenheit der Grund für die Anwendung der 2-mm-Schichttechnik mit Zwischenhärtung. Aus der Polymerisationsschrumpfung resultierende Probleme sind unter anderem Randverfärbung, Randspaltbildung, Sekundärkaries, Frakturen und Hypersensibilität. Der bei der Polymerisation von Tetric EvoCeram Bulk Fill auftretende Schrumpungsstress ist minimal. Ein spezieller, patentierter Füller, der teilweise durch Silane funktionalisiert ist, wirkt als Schrumpungsstress-Relaxator. Die folgende Graphik illustriert die Wirkung dieses Relaxators:

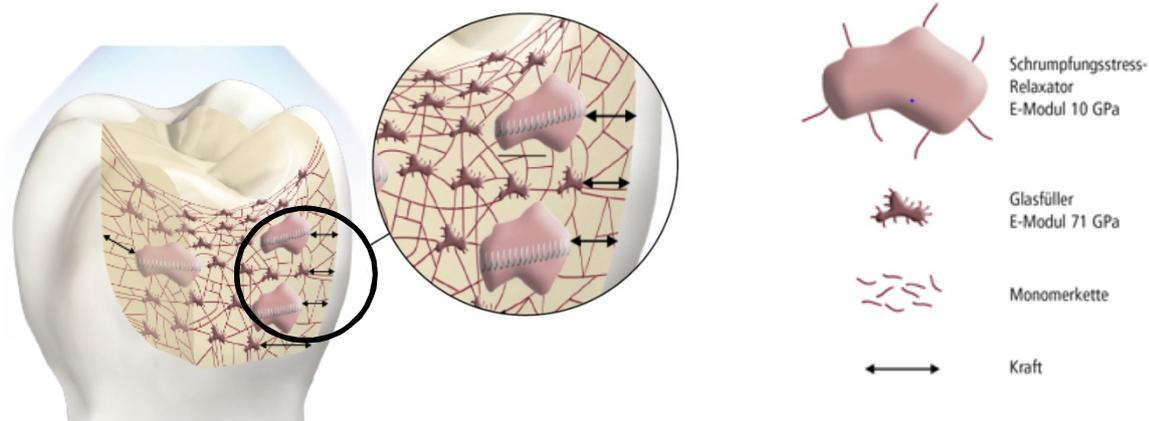


Abb. 8: Schematische Darstellung des in Tetric EvoCeram Bulk Fill enthaltenen Schrumpfstress-Relaxators. Er wirkt während der Polymerisation wie eine mikroskopische Feder und vermindert damit den Schrumpfstress.

Wenn das Composite belichtet wird beginnt der Vernetzungsprozess der Monomerketten, die sich mit den Silanen auf den Füllern befinden. Es beginnen Kräfte zwischen den einzelnen Füllern zu wirken, was entlang der Kavität wand zu Stress führt. Dieser Stress ist von der Volumenschrumpfung und dem Elastizitätsmodul des Composites abhängig. Ein hohes Elastizitätsmodul bedeutet Inelastizität, ein niedriges höhere Elastizität. Durch sein niedriges Elastizitätsmodul (10 GPa) wirkt der in Tetric EvoCeram Bulk Fill enthaltene Schrumpfstress-Relaxator wie eine mikroskopische Feder zwischen den Standardfüllern, die ein höheres Elastizitätsmodul von 71 GPa aufweisen: er dehnt sich leicht aus, wenn die während der Polymerisation zwischen den Füllern wirkenden Kräfte grösser werden. Gemeinsam mit der Matrix und dem Adhäsiv unterstützt er damit den Verbund zur Kavität wand.⁹ Die an die Füller gekoppelten Silane verbessern den Verbund zwischen der anorganischen Phase (Glas- und Quarzpartikel) und der Monomermatrix, da sie in der Lage sind, eine chemische Verbindung zwischen Glasoberfläche und Matrix aufzubauen. Zusätzlich weist Tetric EvoCeram Bulk Fill eine verringerte Volumenschrumpfung und geringeren Schrumpfstress während der Polymerisation auf, sodass das Einbringen von 4-mm-Schichten möglich ist, ohne die Randdichtigkeit zu beeinträchtigen.

2.3 Polymerisation

Lichthärtende Composites härten durch freie radikalische Polymerisation aus. Die Photonen aus dem Licht-Gerät werden von den Photoinitiatoren absorbiert. Diese absorbierte Energie regt die Moleküle an, was die Bildung von freien Radikalen begünstigt (wenn ein oder mehrere Aktivator vorhanden sind). Dies löst die Polymerisation aus. Je dunkler und/oder opaker ein Material ist, desto geringer ist seine Durchhärte tiefe, da weniger Licht die sich im Composite befindlichen Initiatoren erreichen kann. Dicke Schichten können oft nur zuverlässig ausgehärtet werden, wenn das Material hochtransluzent ist oder einen eingeschränkten Anteil an lichtbrechenden Füllern aufweist. Konventionelle Initiatorsysteme alleine sind nicht in der Lage, Schichten von mehr als 2 mm Stärke zuverlässig auszuhärten.

Initiatormoleküle können nur Photonen eines bestimmten Spektralbereiches absorbieren. Campherchinon, ein Initiator, der in der Polymersynthese häufig angewendet wird, absorbiert Licht in einem Wellenlängenbereich von 390 – 510 nm mit einem Maximum bei 470 nm. Campherchinon reagiert auf sichtbares Licht im blauen Bereich. Da es aufgrund seiner Absorptionseigenschaften eine intensive gelbe Farbe hat, werden für Bleach-Farben oder farblose Schutzlacke häufig andere Initiatoren eingesetzt wie z.B. Lucirin TPO, ein Acylphosphinoxid, das nach der Polymerisation vollständig ausbleicht. Das Absorptionsmaximum von Lucirin TPO liegt beträchtlich niedriger als jenes von Campherchinon.

2.3.1 Der Lichtinitiator Ivocerin®

In Tetric EvoCeram Bulk Fill kommt neben den bereits genannten Initiatoren Campherchinon und Acylphosphinoxid das neuentwickelte, patentierte Ivocerin® zum Einsatz. In der Zahnmedizin werden Composites standardmässig in der 2-mm-Schichttechnik angewendet, da bei dickeren Schichten eine vollständig Durchhärtung nicht gewährleistet ist. Um eine grössere Durchhärtetiefe zu erreichen, müssen alle sie beeinflussenden Faktoren, wie Transluzenz, Farbe, Initiatorart und -konzentration sowie Aushärtezeit und Lichtintensität, miteinbezogen werden. Der neue Lichtinitiator Ivocerin® - ein Dibenzoyl-Germaniumderivat^{20,21} - spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Durch ihn wird die Applikation von bis zu 4-mm Inkrementen im Seitenzahnbereich möglich, ohne die optischen Eigenschaften des Composites wie Transluzenz oder Farbe zu beeinträchtigen.

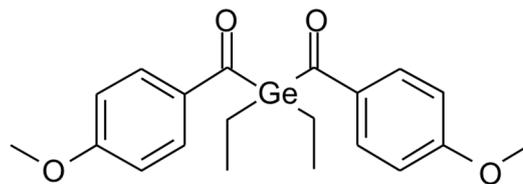


Abb. 9: Strukturformel des Germanium-basierten Photoinitiators Ivocerin®

Ivocerin® und Lichtabsorption

Standardinitiatorsystem und Ivocerin® sorgen dafür, dass das Absorptionsmaximum des Materials etwa zwischen 370 und 460 nm liegt.⁸ Die Absorptionsspektren der verschiedenen Initiatoren sind in Abbildung 10 und 11 dargestellt.

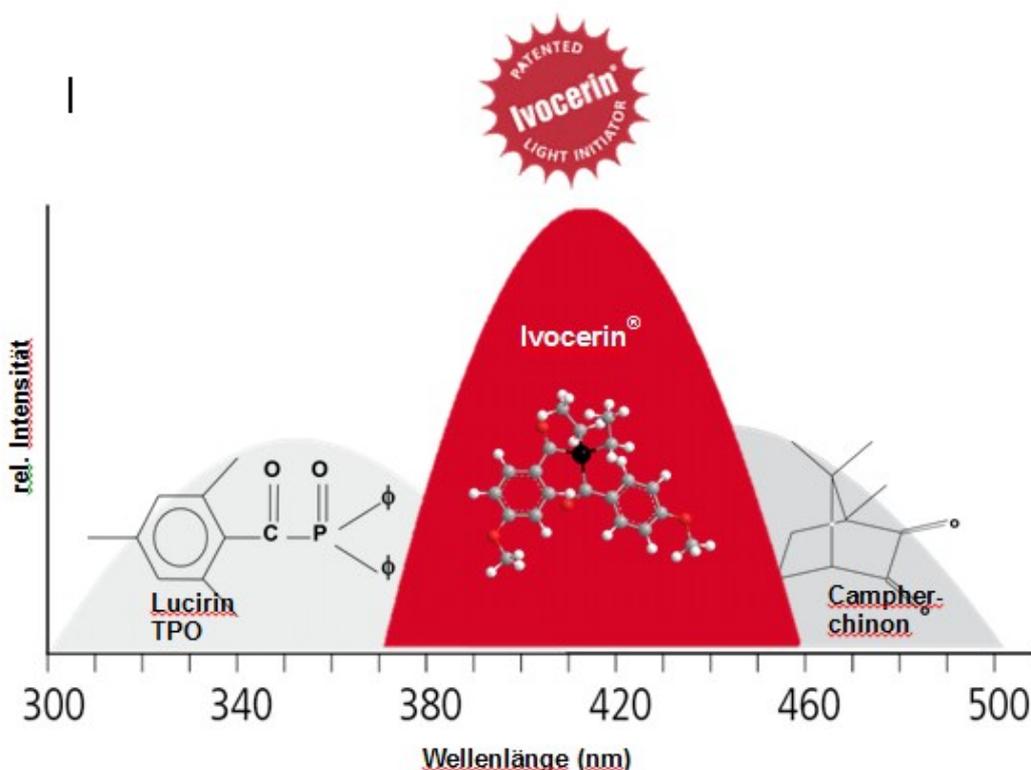


Abb. 10: Schematische Darstellung der Absorptionsspektren von Lucirin TPO, Campherchinon und Ivocerin®

Ivocerin® besitzt einen hohen Absorptionskoeffizienten (höher als Campherchinon), seine Quanteneffizienz ist daher höher. Da der Initiator wesentlich lichtreaktiver als Campherchinon oder Lucirin TPO ist, härtet das Material schneller aus und erreicht eine grössere Durchhärtetiefe. Seine Wirkung ist also die eines Polymerisationsbeschleunigers.

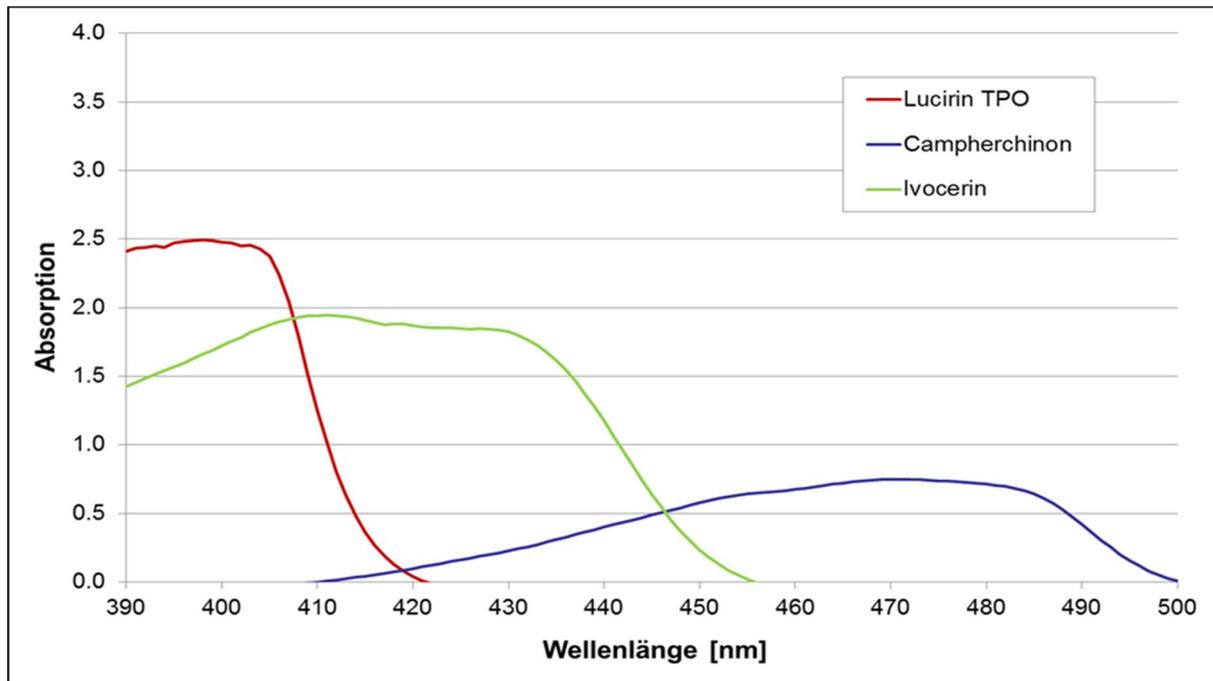


Abb. 11: Die im Labor gemessenen Absorptionsspektren von Lucirin TPO, Campherchinon und Ivocerin® (F&E Ivoclar Vivadent 2012).

Ivocerin® und Ästhetik

Alle Standardinitiatoren sind gelb, da dies die Komplementärfarbe zu blau, der Farbe des Polymerisationslichtes ist, das für die Aushärtung von Standardcomposites verwendet wird. Obwohl die gelbe Farbe während der Polymerisation weitgehend verschwindet, bleibt eine leichte Gelbfärbung. Diese ist jedoch akzeptabel, da natürliche Zähne auch eine leichte Gelbfärbung aufweisen. Lucirin TPO absorbiert weitgehend Licht im UV-Bereich, sodass es nur eine sehr geringe Gelbfärbung aufweist. Daher ist dieser Initiator speziell für Bleach-Farben geeignet.

Ivocerin®



Lucirin TPO



Campherchinon



Abb. 12 a-c: Die in Tetric EvoCeram Bulk Fill enthaltenen Lichtinitiatoren in reiner Form

Ivocerin® hat ebenfalls eine gelbe Farbe, kann aber aufgrund seiner hohen Reaktivität in relativ kleinen Mengen verwendet werden. Daher können seine positiven Eigenschaften

genutzt werden, ohne die optischen Qualitäten zahnfarbener Pasten mit schmelzartiger Transluzenz zu beeinträchtigen.

In der nachfolgenden Graphik ist die optimierte Transluzenz von Tetric EvoCeram Bulk Fill im Vergleich zu verschiedenen anderen Bulk-Fill-Composites dargestellt. Um eine Dentinverfärbung zu simulieren, wurde der leicht erhöhte mittlere Bereich des Kavitätenbodens mit IPS Empress Direct Color Grau eingefärbt. Der approximale Bereich wurde nicht eingefärbt. Die linke Füllung, für die Tetric EvoCeram Bulk Fill (15 % Transluzenz) verwendet wurde, weist die höchste Ästhetik auf, die graue Verfärbung wurde vollständig maskiert, und das Composite gliedert sich perfekt in das „natürliche“ Umfeld ein. Im Gegensatz dazu ist die Restauration mit Venus Bulk Fill (mittlerer Zahn) sichtbar transparenter (Transluzenz 38.3 %).



Abb. 13: Vergleich verschiedener Bulk-Fill-Composites mit unterschiedlicher Transluzenz und entsprechend unterschiedlicher Ästhetik (F&E Ivoclar Vivadent 2013).

Ivocerin® und Durchhärtetiefe

Durch den Polymerisationsbeschleuniger Ivocerin® kann die Transluzenz von Tetric EvoCeram Bulk Fill auf schmelzähnliche 15 % eingestellt werden. Die enthaltene Menge ist jedoch immer noch ausreichend, um eine zuverlässige Aushärtung zu gewährleisten, wenn mit einem Hochleistungspolymerisationslichtgerät wie Bluephase Style gearbeitet wird. Obwohl die Anzahl der Photonen, die den Kavitätenboden erreichen, signifikant geringer ist als die an der Oberfläche, reicht diese aus, um mit Ivocerin® die Polymerisation in 4 mm Tiefe auszulösen.



Abb.14: Wirkung des Polymerisationsbeschleunigers Ivocerin[®] während des Polymerisationsprozesses ($10 \text{ s} \geq 1000 \text{ mW/cm}^2$)

2.3.2 Licht-Controller

Ein Füllungsmaterial, das in 4-mm-Schichten eingebracht und modelliert wird, muss ausreichend Verarbeitungszeit bieten, ehe die Polymerisation einsetzt. Je länger die Verarbeitungszeit, desto anwenderfreundlicher ist das Produkt. Da Composite-Füllungswerkstoffe Photoinitiatoren enthalten, die auf Blaulicht reagieren, kann durch die Blaulichtanteile von Umgebungs- und Operationslicht eine vorzeitige Polymerisation ausgelöst werden.

Tetric EvoCeram Bulk Fill enthält einen patentierten Licht-Controller, der eine solche vorzeitige Polymerisation verhindert. Entsprechend beträgt die Verarbeitungszeit unter definierten Lichtbedingungen von 8000 lux^9 mehr als 3 Minuten (siehe Abschnitt 4.2, Abb. 19).

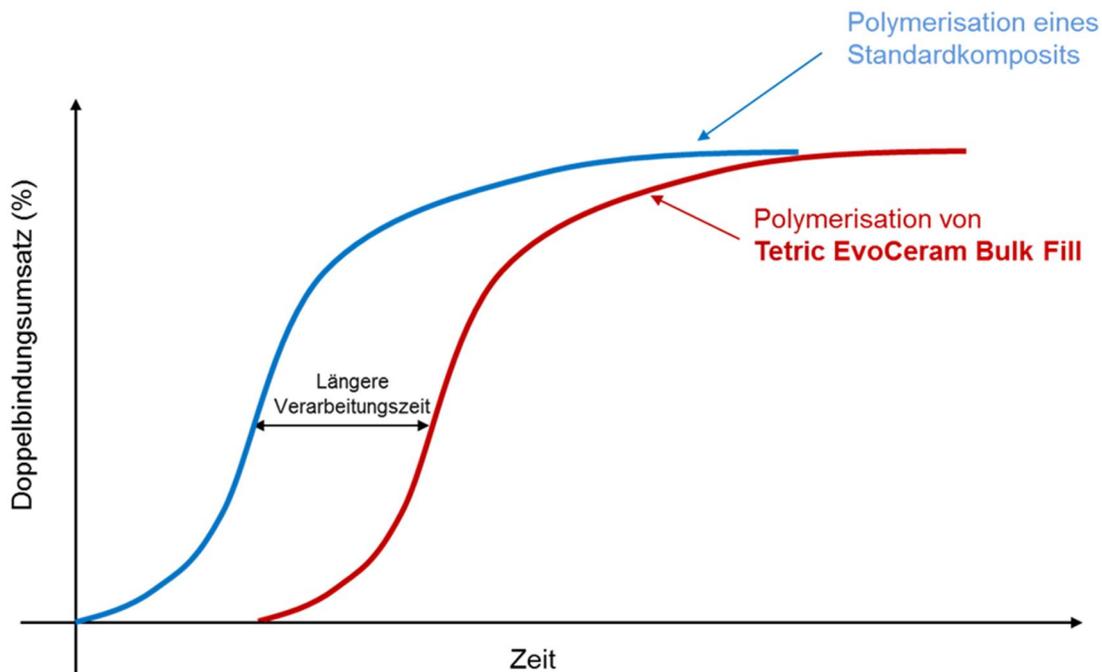


Abb. 15: Schematische Darstellung: Der Licht-Controller verzögert die Polymerisation bei Umgebungslicht

Obwohl dieser Stabilisator/Inhibitor eine Polymerisation bei geringer Blaulichtintensität verzögert, verhindert er nicht die Aushärtung mit intensivem Blaulicht, das vom Polymerisationslichtgerät ausgesendet wird.

2.4 Paradigmenwechsel: Von der 2-mm- zur 4-mm-Inkrementtechnik

Bevor Bulk-Fill-Composites auf den Markt kamen, wurde standardmässig die Anwendung der 2-mm-Technik gelehrt.^{10,11} Damit sollten minimaler Schrumpfstress und eine ausreichende Durchhärtetiefe gewährleistet werden. Speziell bei tiefen Kavitäten kann diese Technik jedoch sehr zeitintensiv sein. Ausserdem steigt mit der Anzahl der eingebrachten Schichten auch das Risiko von Lufteinschlüssen.⁸

Die Entwicklung des Polymerisationsbeschleunigers Ivocerin[®], des Licht-Controllers und des Schrumpfstress-Relaxators macht einen Paradigmenwechsel in der Zahnheilkunde möglich.

Tetric EvoCeram Bulk Fill ist ein ästhetisches, zeitsparendes, direktes Füllungsmaterial, das effizient in 4-mm-Schichten appliziert werden kann.

3. Technische Daten

Tetric EvoCeram Bulk Fill

Standard-Zusammensetzung (in Gew.%)

Dimethacrylate	19.7
Präpolymer	17.0
Bariumglasfüller, Ytterbiumtrifluorid, Mischoxid	62.5
Additive, Initiatoren, Stabilisatoren, Pigmente	< 1.0

Physikalische Eigenschaften

In Übereinstimmung mit

EN ISO 4049:2009 Zahnheilkunde – Polymerbasierende Restaurationsmaterialien
(ISO 4049:2009)

		Spezifikation	Beispielwerte
Biegefestigkeit	MPa	≥ 80	120
Wasseraufnahme (7 Tage)	µg/mm ³	≤ 40	21.1
Wasserlöslichkeit (7 Tage)	µg/mm ³	≤ 7.5	< 1.0
Röntgenopazität	% Al	≥ 100	260

Andere physikalische Eigenschaften

Vickershärte HV 0.5/30	MPa	620
Biegemodul	MPa	10000
Schichtdicke (IV Methode)	mm	4.0
Transparenz (je nach Opazität)	%	15 - 17

4. Materialwissenschaftliche Untersuchungen / In-vitro

4.1 Durchhärteiefe

Setzt man eine korrekte, ausreichend lange Aushärtung mit einem funktionierenden Lichtgerät voraus, so sind es Transluzenz und Farbe, die die Durchhärteiefe am nachhaltigsten beeinflussen. Je dunkler und opaker ein Composite ist, desto geringer ist die Durchhärteiefe.¹² Werden die Herstelleranleitungen strikt befolgt, wird an der Composite-Oberfläche meist ein guter Aushärtegrad erreicht, unabhängig von Transluzenz und Farbe.¹³ Die Kontrolle der vollständigen Durchhärtung einer Restauration in vivo ist jedoch nicht möglich.

ISO 4049: Durchhärteiefe

Gemäss der international gültigen Norm ISO 4049 für Polymer-basierte Restaurationsmaterialien soll die Messung der Durchhärteiefe an 6 mm langen und 4 mm breiten Composite-Zylindern erfolgen, oder, wenn eine Durchhärteiefe über 3 mm angegeben wird, der Prüfkörper mindestens 2 mm länger als die doppelte angegebene Durchhärteiefe sein. Nach der Aushärtung gemäss Herstellerangaben ist die Probe aus der Form zu nehmen, die Inhibitionsschicht oder ungehärtetes Material abzukratzen und die Höhe des verbleibenden Zylinders zu messen. Dieser Wert, durch 2 geteilt, ist die Durchhärteiefe. Bei dieser Methode wird die Nachhärtung nach der Belichtung nicht berücksichtigt.

Vickers/Knoophärtte: Durchhärteiefe

Es gibt eine Reihe von In-vitro-Testverfahren zur Ermittlung der Durchhärteiefe. Die Erstellung von Vickers- und Knoop-Härteprofilen ist eine geeignete Methode, die sich einige Zeit nach der Aushärtung durchführen lässt und somit die Nachhärtung nach der Polymerisation miteinbezieht.

Die Härtemessung nach Vickers erfolgt mit einer gleichseitigen Diamantpyramide mit einem Öffnungswinkel von 136°, die mit einer festgelegten Prüfkraft in das Werkstück eingedrückt wird. Die Tiefe des Eindruckes beträgt etwa 1/7 der gemessenen Eindruckdiagonalen.

Bei der Härteprüfung nach Knoop wird als Eindringkörper eine langgezogene Pyramide verwendet, die einen diamantförmigen Eindruck hinterlässt. Die Eindringtiefe beträgt dabei etwa 1/30 der Eindrucklänge.

Die Prüfkörper werden meist in zylindrischen Formen ausgehärtet. Anschliessend wird die Härte an Ober- und Unterseite gemessen, um einen Einzelmesswert zu erhalten. Um ein Härteprofil über die gesamte Probe zu erstellen, wird der ausgehärtete Probekörper senkrecht in zwei Teile geschnitten. Die Schnittflächen werden poliert und die Härte wird in verschiedenen Abständen von oben nach unten ermittelt. Die Härte wird oft in Prozent der Oberflächenhärte ausgedrückt, die gleich 100 % gesetzt wird.¹³ Die Erfahrung hat gezeigt, dass die einfache Messmethode (Messung oben und unten) oft mit dem umfassenderen Härteprofil korreliert.¹⁴ Die Forschungen von Professor David Watts an der Universität Manchester, Grossbritannien, haben gezeigt, dass eine akzeptable Durchhärteiefe erreicht ist, wenn die Härte an der Unterseite der Probe mindestens 80 % der Oberflächenhärte beträgt.¹⁵

Messungen haben gezeigt, dass der Aushärtegrad ab einer Tiefe von ca. 0,5 mm kontinuierlich abnimmt. In einer Tiefe von 0,55 mm wird der höchste Aushärtegrad erreicht, da die oberste Schicht die Inhibitionsschicht ist. Tiefer als 0,55 mm nimmt die Intensität des Lichtes ständig ab, da die Füllpartikel das Licht streuen und Farbpigmente es absorbieren. Nach der Belichtung setzt sich die Polymerisationsreaktion durch verbleibende Radikale noch 24 Stunden lang fort. Dabei verringert sich auch die gelbliche Färbung, wenn das

Composite Campherchinon als Photoinitiator enthält. Daher werden Proben meist 24 Stunden gelagert, bevor Messungen der Durchhärte tiefe vorgenommen werden. Für Tetric EvoCeram Bulk Fill ist ein ausreichender Aushärtungsgrad in 4 mm Tiefe durch mehrere interne und externe Studien bestätigt worden.

Durchhärtung von Tetric EvoCeram Bulk Fill mit Bluephase und Bluephase Style im Vergleich zu anderen Kompositen. Dr. A. Rzanny, M Fachet, Universitätsklinikum Jena, Deutschland (Juli 2012)

Das Ziel der Studie von Rzanny et al war, die Leistung des Bluephase Style Lichtpolymerisationsgerätes neben Bluephase G2 durch einen Vergleich des bei verschiedenen Composite erzielten Durchhärtegrades zu überprüfen. Nach einer Lichthärtung von 10 Sekunden mit Bluephase (G2) (1200 mW/cm^2) bzw. Bluephase Style (1100 mW/cm^2) wurde der Durchhärtegrad der Composites Tetric EvoCeram (A3), Tetric EvoCeram Bulk Fill (IVA) und Venus Bulk Fill (Universal) mit einem Penetrometer gemessen und eine Vickers-härteprüfung vorgenommen.

Methode

Durchhärte tiefe

Es wurden Proben mit einem Durchmesser von 6 mm und einer Höhe von 10 mm hergestellt und 10 Sekunden lang mit beiden Polymerisationslampenbelichtet. Die Länge des ausgehärteten Probenkörpers wurde unmittelbar nach der Polymerisation bestimmt. Dazu wurde mit einem Penetrometer (AP4/3 Feinmess Dresden) die Tiefe des unausgehärteten Anteils an der Rückseite vermessen. Die Längendifferenz wurde gemäss der Norm DIN EN ISO 4049 durch zwei geteilt.

Vickershärte

Jedes Composite wurde in eine 4 mm hohe und 8 mm breite Teflonform appliziert und oben und unten mit einer Folie bedeckt. Der Lichtleiter der entsprechenden Polymerisationslampe wurde direkt auf die Folie gesetzt und das Composite 10 Sekunden lang belichtet. Die Vickershärte an der Ober- und Unterseite des Prüfkörpers wurde bei 23°C mit einem Zwick 3212 Prüfgerät (Last 5 kg über 20 Sekunden) ermittelt, sowohl unmittelbar nach der Lichthärtung, als auch nach 24 Stunden und 7 Tagen.

Ergebnisse

Durchhärte tiefe (nach ISO 4049)

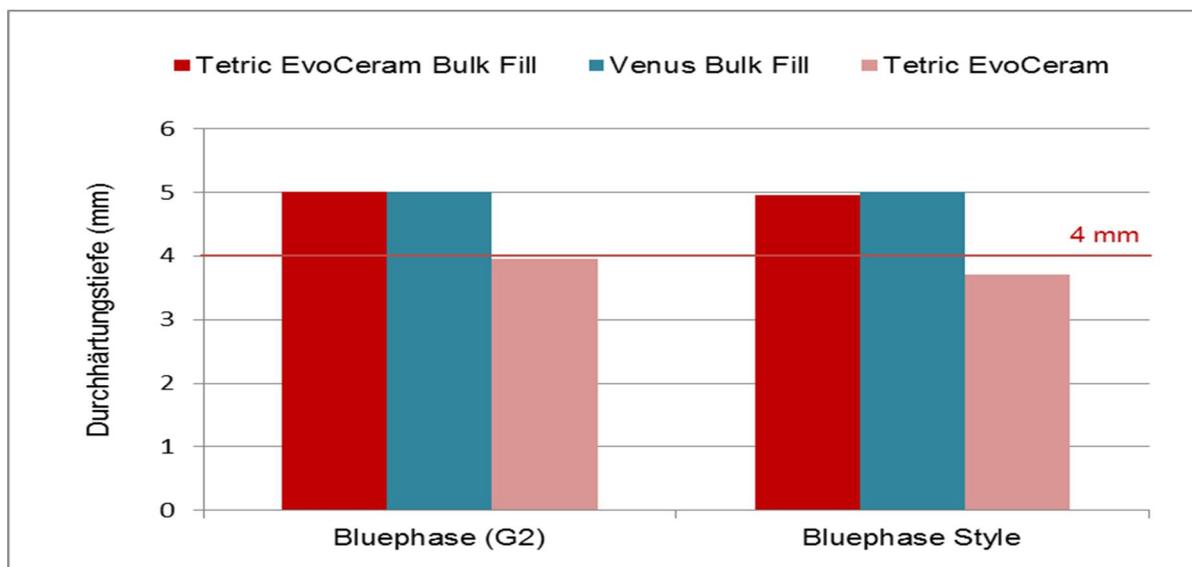


Abb. 16: Durchhärte tiefe von verschiedenen Composites, die mit der Bluephase (G2) und Bluephase Style 10 Sekunden lang lichtgehärtet wurden. Dr. A. Rzanny, Universitätsklinikum Jena, Deutschland

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Lichtgeräten für keines der Composites. Bei den beiden Bulk-Fill-Composites Tetric EvoCeram Bulk Fill und Venus Bulk Fill überstiegen die ermittelten Werte die vom Hersteller angegebene zulässige Schichtdicke (4 mm) im Hinblick auf den Durchhärungsgrad bei weitem. Tetric EvoCeram ist kein „Bulk Fill“ Composite und ist für die 2-mm-Schichttechnik indiziert.

Vickershärte

Es gilt als allgemein akzeptiert, dass die Aushärtungsbedingungen erfüllt sind, wenn in 4 mm Tiefe 80 % der maximalen Oberflächenhärte erreicht sind.¹⁵ Alle für Tetric EvoCeram Bulk Fill ermittelten Vickershärte-Messwerte überstiegen die notwendigen 80 %. Bei der Aushärtung mit Bluephase (G2) betrug der Wert 87,6 % nach 24 Stunden und 83,6 % nach 7 Tagen. Bei Lichthärtung mit Bluephase Style lagen die Werte bei 80,3 % nach 24 Stunden und 87,5 % nach 7 Tagen.

Schlussfolgerung

Die Autoren schlussfolgern, dass sowohl Bluephase (G2) als auch Bluephase Style sich gleichermassen für die Lichthärtung der drei untersuchten Composites eignen. Nach 24-stündiger Lagerung erreichten beide Bulk-Fill-Produkte den nötigen Härtewert von 80 %.

Vickershärte von 4 mm dicken Proben in verschiedenen Farben: F&E Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein. (Juli 2011)

Interne Untersuchungen bestätigen die Ergebnisse von Rzanny et al. Die Graphiken 17a-c zeigen die für die drei Bulk-Fill-Farben IVA, IVB und IVW gemessenen Werte an der Oberseite und in 4 mm Tiefe. Die Oberflächenwerte wurden gleich 100 % gesetzt und die bei 4 mm gemessenen Werte in Relation dazu angegeben. Es wurde bei verschiedenen Lichtintensitäten gemessen, wobei die Belichtungszeiten entsprechend angepasst wurden um einen ähnlichen Licht-Output zu erreichen. Bei allen Farben überstieg der bei 4 mm gemessene Wert 80 % der Oberflächenhärte bei allen unterschiedlichen Belichtungsparametern.

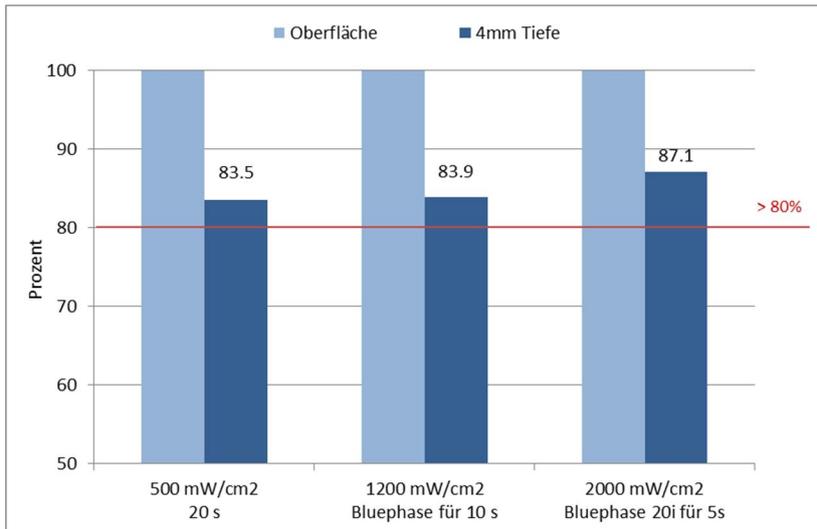


Abb. 17a: Tetric EvoCeram Bulk Fill **Farbe IVA**: Oberflächenhärte und prozentuale Härte in 4 mm Tiefe bei unterschiedlichen Lichtintensitäten

(F&E, Ivoclar Vivadent)

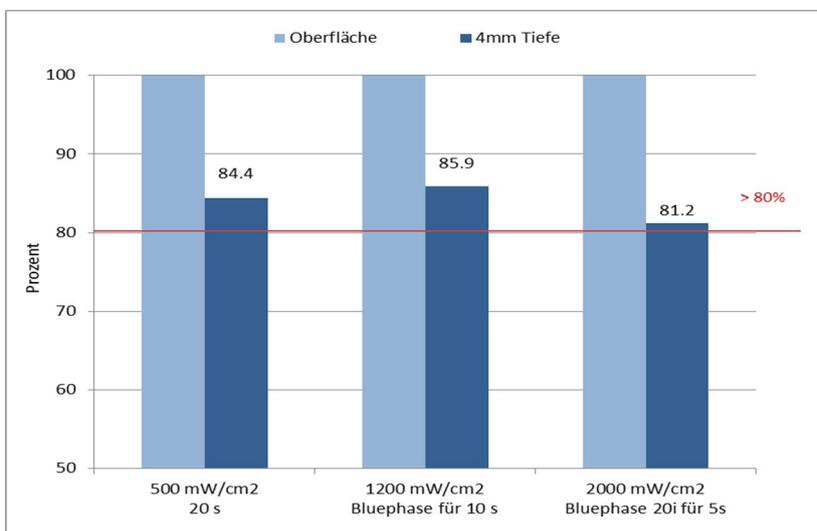


Abb. 17b: Tetric EvoCeram Bulk Fill **Farbe IVB**: Oberflächenhärte und prozentuale Härte in 4 mm Tiefe bei unterschiedlichen Lichtintensitäten

(F&E, Ivoclar Vivadent)

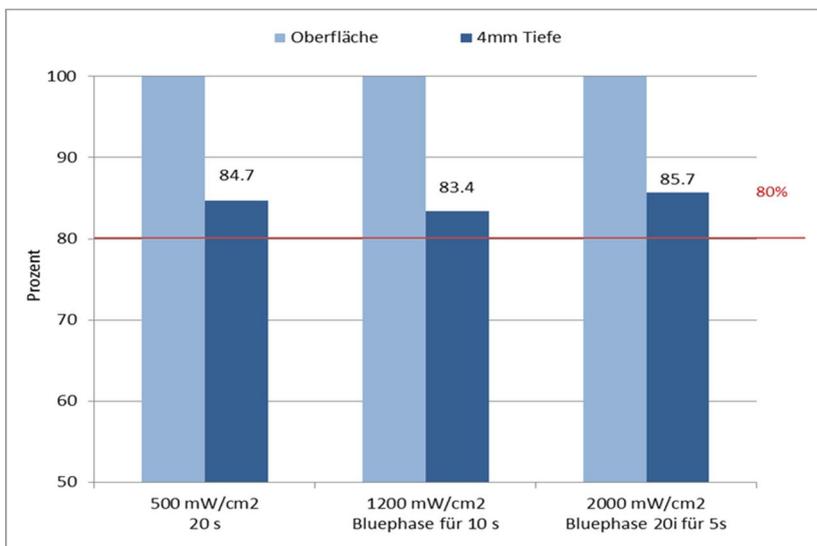


Abb. 17c: Tetric EvoCeram Bulk Fill **Farbe IVW**: Oberflächenhärte und prozentuale Härte in 4 mm Tiefe bei unterschiedlichen Lichtintensitäten

(F&E Ivoclar Vivadent)

Untersuchung der Durchhärte tiefe und Mikro-Oberflächenhärte eines neuen Bulk-Fill-Composite-Systems. Sabatini C. Dental Biomaterials Research Laboratory, State University of New York at Buffalo, USA, Oktober 2012.

Sabatini untersuchte die Durchhärte tiefe und Mikro-Oberflächenhärte von Tetric EvoCeram Bulk Fill sowie x-tra fil/VOCO und Sonic Fill/KERR, beides ebenfalls Bulk-Fill-Materialien. Tetric EvoCeram diente als Kontrolle.

Untersuchungsmethode

Zwei verschiedene Lichtgeräte wurden verwendet: Bluephase G2 (1200 mW/cm²) und Bluephase 20i Turbo (2000 mW/cm²), die Belichtungszeiten waren jeweils 10 bzw. 5 Sekunden. Damit ergaben sich insgesamt 8 Untersuchungsreihen. Es wurden jeweils 10 Proben hergestellt (n=80).

	x-tra fil	Sonic Fill	Tetric EvoCeram Bulk Fill	Tetric EvoCeram
Bluephase G2	XF-G2 n=10	SF-G2 n=10	TB-G2 n=10	TEC-G2 n=10
Bluephase 20i	XF-20i n=10	SF-20i n=10	TB-20i n=10	TEC-20i n=10

Tabelle 3: Darstellung der 8 Untersuchungsreihen mit den entsprechenden Abkürzungen und der verwendeten Probenanzahl (n=80). Sabatini, Oktober 2012

Die Prüfkörper wurden in einer standardisierten Form (6 x 6 mm) hergestellt. Die Aushärtung erfolgte gemäss Herstellerangaben. Bei der Entfernung aus der Form wurde Sorge getragen, die Inhibitionsschicht an der Oberfläche nicht zu zerstören. Unpolymerisiertes Material an der Unterseite wurde abgekratzt. Anschliessend wurden die Proben 24 Stunden lang in einem dunklen Raum bei 37° C und 100% Luftfeuchtigkeit gelagert. Dann erfolgte die Prüfung der Mikro-Oberflächenhärte.

Die Härteprüfung nach Knoop an der Ober- und Unterseite der Proben wurde mit einem Leco M-400 Härtetestgerät und einer Prüflast von 300 g vorgenommen. Die Proben wurden horizontal in Acryl-Kunststoff eingebettet, dann auf die Hälfte ihres Durchmessers zurückgeschliffen und die Innenflächen poliert. Alle Arbeitsschritte erfolgten unter kontrollierten Lichtbedingungen. Die Knoop-Härteprüfung wurde jeweils im Abstand von 0.5 mm von oben nach unten durchgeführt. Mit dem 4-mm-Wert von x-tra fil und Tetric EvoCeram Bulk Fill, dem 5-mm-Wert von Sonic Fill und dem 2-mm-Wert von Tetric EvoCeram wurde eine Kennzahl (von oben nach unten) errechnet, mit deren Hilfe beurteilt wurde, ob das Composite-System das allgemein akzeptierte Härteniveau von 80 %, also eine angemessene Aushärte tiefe, erreichte.

Ergebnisse

Die zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) ergab keinen Unterschied zwischen den durchschnittlichen Härtewerten im Hinblick auf die verwendeten Lichtpolymerisationsgeräte. Jedoch ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen einzelnen Composite-Füllungswerkstoffen, die mit demselben Lichtgerät ausgehärtet wurden (p < 0.001).

	x-tra fil (4mm)	Sonic Fill (5mm)	Tetric EvoCeram Bulk Fill (4m)	Tetric EvoCeram (2mm)
Bluephase G2	70,6 %	47,1 %	85,7 %	85,1 %
Bluephase 20i	69,4 %	55,6 %	86,9 %	81,4 %

Tabelle 4: Durchschnittliche Härtewerte der einzelnen Materialien bei empfohlener Schichtdicke. Sabatini, Oktober 2012

Bei Polymerisation mit Bluephase G2 wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen x-tra fil, Tetric EvoCeram Bulk Fill und Tetric EvoCeram festgestellt. Aber alle unterschieden sich signifikant von Sonic Fill. Bei Polymerisation mit der Bluephase 20i ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen x-tra fil, Tetric EvoCeram Bulk Fill und Tetric EvoCeram, die Werte von Sonic Fill waren signifikant niedriger als jene von Tetric EvoCeram Bulk Fill und Tetric EvoCeram, aber nicht signifikant niedriger als jene von x-tra fil. Zu bemerken ist, dass Tetric EvoCeram Bulk Fill bei 4 mm und Tetric EvoCeram bei 2 mm das Watts-Kriterium von 80% bei allen Messungen überschritten.

Die folgende Graphik zeigt die in verschiedenen Tiefen gemessenen Knoop-Härtewerte von Tetric EvoCeram Bulk Fill, wenn mit den beiden angegebenen Lichtgeräten ausgehärtet wurde.

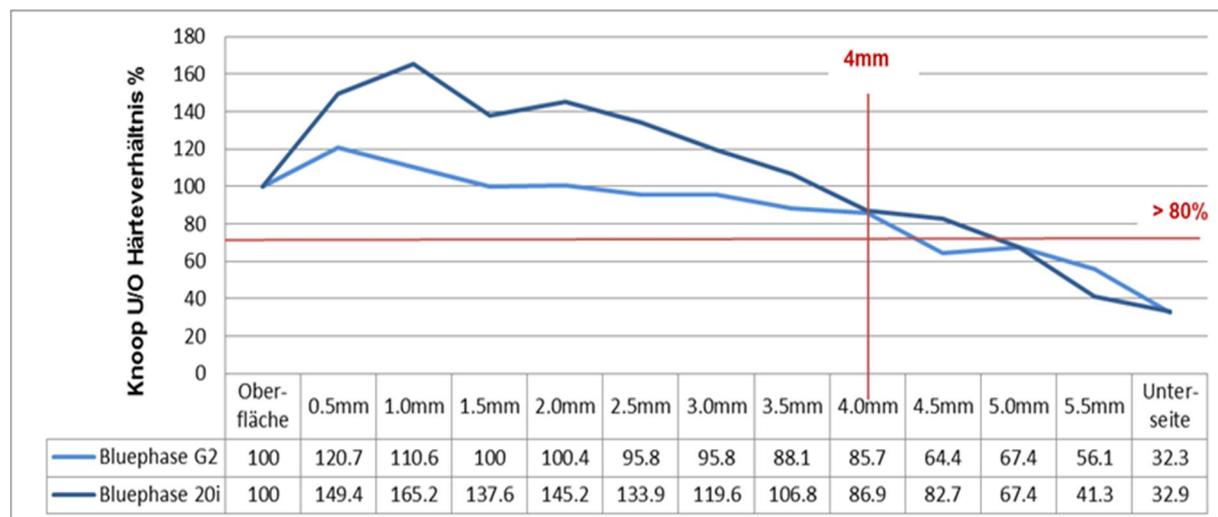


Abb. 18: Knoop-Härtewerte von Tetric EvoCeram Bulk Fill, gemessen in Abstand von 0,5 mm von oben nach unten. *Sabatini, Oktober 2012*

Schlussfolgerung

In einer Tiefe von 4 mm überstieg der Knoop-Härtewert von Tetric EvoCeram Bulk Fill die notwendigen 80 % bei weitem, unabhängig von der Lichtquelle. Tetric EvoCeram zeigte dieselben Ergebnisse bei 2 mm. Die von Tetric EvoCeram Bulk Fill erreichten Härtewerte waren signifikant höher als jene von Sonic Fill/KERR.

Auswirkungen von Belichtungsdauer auf Durchhärtetiefe und Elastizitätsmodul von Composite-Füllungswerkstoffen. S. Zawawi, N. Brulat und Prof. D. Nathanson, Restorative Sciences and Biomaterials, Boston University, Boston, MA, USA. (2012) ¹⁶

Diese In-vitro-Studie wurde durchgeführt, um den Einfluss der Belichtungsdauer auf die Durchhärtetiefe und den Elastizitätsmodul von Bulk-Fill-Composites zu untersuchen.

Methode

Composite-Zylinder (4 x 8 mm) wurden aus den Materialien Tetric EvoCeram Bulk Fill, Surefil SDR/Dentsply und Venus Bulk Fill/Heraeus Kulzer hergestellt. Für die Lichthärtung wurde die Bluephase 16i (1600 mW/cm²) verwendet. Die Belichtungszeit betrug 10 bzw. 40 Sekunden. Die Proben wurden der Länge nach zerschnitten und poliert. Mit Hilfe der Vickershärteprüfung (100 g, 20 Sekunden) wurde die Härte in 2, 4 und 6 mm Tiefe ermittelt. Für jeden Testparameter wurden 16 Messungen vorgenommen. Zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls wurden Stäbe hergestellt (4 mm x 25 mm x 2 mm) und in einem Instron-Gerät einer Biegeprüfung unterzogen. Mit den ermittelten Ergebnissen wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt.

Ergebnisse

Die ermittelten Vickershärte werte an der Oberfläche und in einer Tiefe von 2, 4 und 6 mm bei einer Belichtungszeit von 10 bzw. 40 Sekunden sind in Abb. 19 dargestellt. Tetric EvoCeram Bulk Fill zeigte eine höhere Mikrohärtigkeit als SureFil SDR und Venus Bulk Fill unabhängig von Messtiefe und Belichtungszeit.

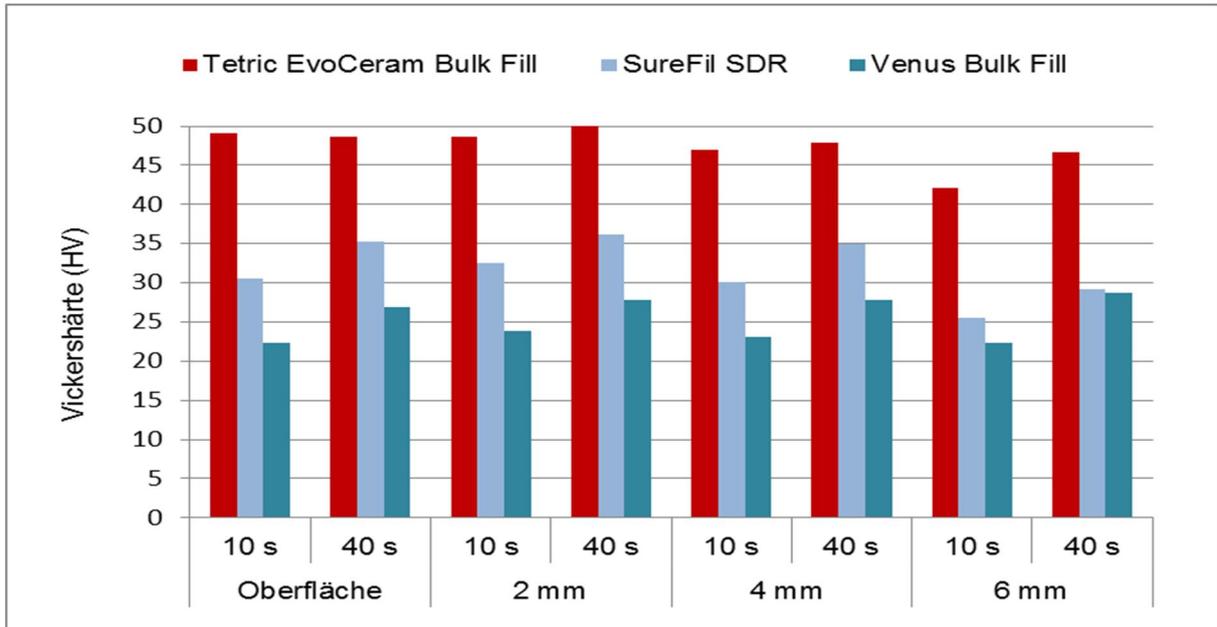


Abb. 19: Mikrohärtigkeit (HV) von verschiedenen Composites, gemessen in verschiedenen Tiefen und bei verschiedenen Belichtungszeiten. S. Zawawi, Boston University, USA

Der mittlere Elastizitätsmodul jedes Bulk-Fill-Composites nach 10 bzw. 30 Sekunden Belichtungszeit wurde ebenfalls ermittelt. Bei Tetric EvoCeram Bulk Fill ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen 10 und 40 Sekunden lang belichteten Proben. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Materialien waren jedoch sowohl bei 10 als auch bei 40 Sekunden Belichtungszeit signifikant ($p < 0.5$). Während die Belichtungsdauer den Elastizitätsmodul von Tetric EvoCeram Bulk Fill nicht signifikant beeinflusste, war das bei SureFil SDR und Venus Bulk Fill anders – es wurden klare Unterschiede bei einer Belichtung von 10 und 40 Sekunden (Erhöhung) erkennbar.

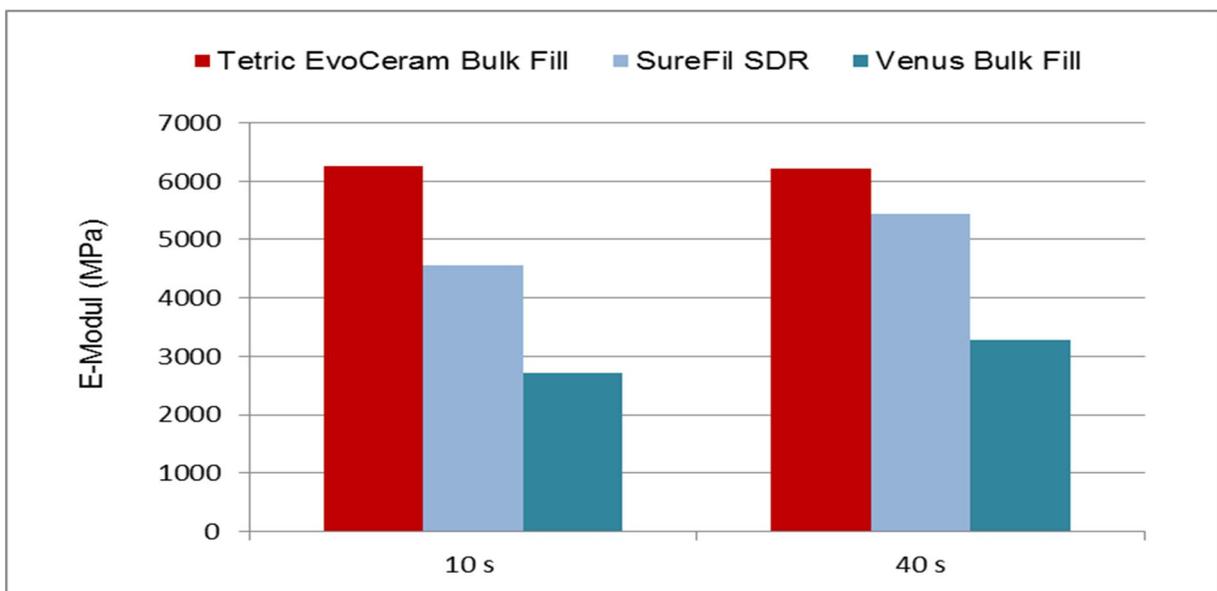


Abb. 20: Durchschnittlicher Elastizitätsmodul verschiedener Composites bei einer Belichtungszeit von 10 bzw. 40 Sekunden. S. Zawawi, Boston University, USA

Schlussfolgerung

Sowohl Vickershärte als auch Elastizitätsmodul sind von der Aushärtetiefe abhängig. Die Mikrohärtigkeit kann in verschiedenen Tiefen bestimmt werden. Je höher der Elastizitätsmodul, desto höher ist der Grad der Vernetzung, d.h. der Polymerisation. Tetric EvoCeram Bulk Fill erreicht bessere mechanische Werte als vergleichbare Produkte, und sie werden von der Belichtungszeit praktisch nicht beeinflusst (10 bzw. 40 Sekunden).

Zu bemerken ist, dass bei Tetric EvoCeram Bulk Fill die Vickershärte an der Unterseite sowohl bei 4 mm (10 Sekunden = 95,5 %, 40 Sekunden = 98,5 %) als auch bei 6 mm (10 Sekunden = 85,7 %, 40 Sekunden = 96,2 %) weit über dem allgemein akzeptierten Wert von 80% liegt.

4.2 Lichtunempfindlichkeit

Wichtig für eine angenehme Handhabung eines Compositematerials ist auch die Zeit, die dem Zahnarzt zur Applikation und zum Modellieren des Materials zur Verfügung steht, bevor das Material beginnt, auszuhärten.

Die üblicherweise in Composites eingesetzten Initiatorsysteme für die Lichtpolymerisation reagieren auf den Blaulichtanteil im Lichtspektrum. Dabei ist es unerheblich, aus welcher Lichtquelle der Blaulichtanteil stammt. Da sowohl Tageslicht als auch OP-Leuchten einen Blaulichtanteil haben, können alle diese Blaulicht-Quellen zu einer (vorzeitigen) Polymerisation beitragen. Und je höher die Beleuchtungsstärke ist, desto weniger Zeit verbleibt. Das Composite während der Applikation vollständig vor Lichtzutritt zu schützen ist unpraktisch, und angesichts der Tatsache, dass Lupenbrillen immer beliebter werden, ist eine hohe Lichtempfindlichkeit bei Composites ein klarer Nachteil.

Daher wurde in Tetric EvoCeram Bulk Fill ein patentierter Licht-Controller integriert. Dieser Licht-Controller verzögert die Polymerisation bei Vorhandensein von geringen Blaulichtanteilen, behindert aber nicht die Polymerisation unter intensivem Blaulicht, wie es von einem einwandfreien Lichtpolymerisationsgerät ausgeht.

Die Empfindlichkeit gegenüber Umgebungslicht wird üblicherweise unter den Bedingungen ermittelt, wie sie in der ISO-Norm 4049 definiert sind. Je grösser die Zeitspanne vor Beginn der Aushärtung, desto unempfindlicher das Material. Die Verarbeitungszeit von Tetric EvoCeram Bulk Fill beträgt mehr als 3 Minuten (200 Sekunden) unter definierten Lichtbedingungen von 8000 lux. Unter den untersuchten Materialien war das die längste Verarbeitungszeit.

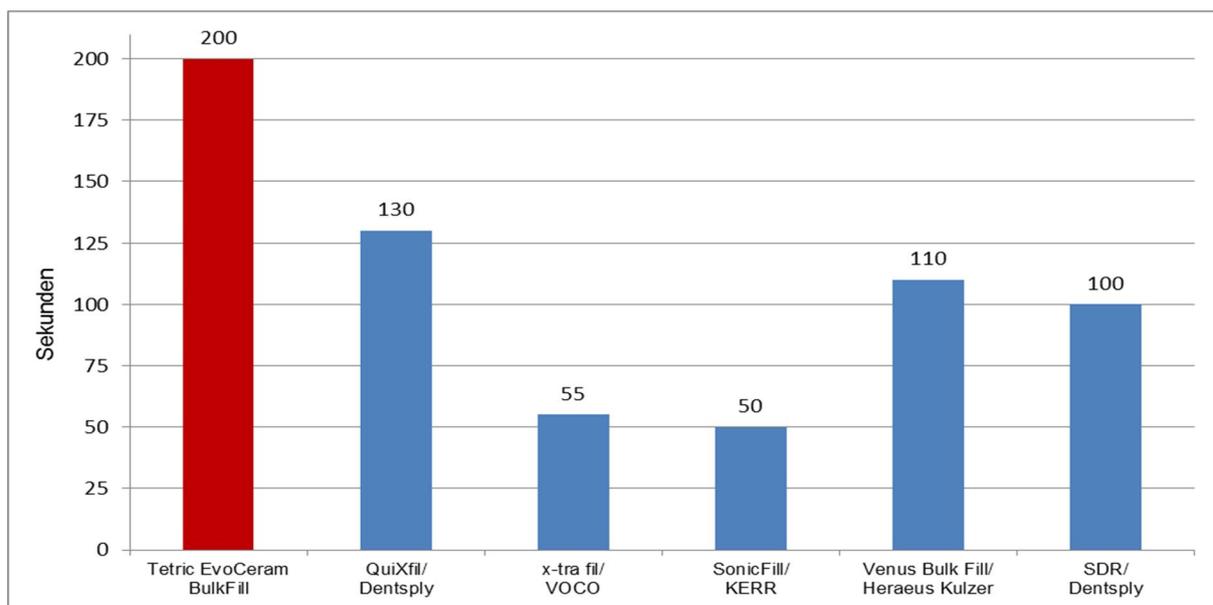


Abb. 21 Empfindlichkeit gegenüber Umgebungslicht von verschiedenen Bulk-Fill-Composite-Materialien, gemessen gemäss ISO 4049. F&E Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Juli 2011

4.3 Polymerisationsschrumpfung

Bei Materialien, die in bis zu 4 mm dicken Schichten appliziert werden, ist es besonders wichtig, den Schrumpfstress gering zu halten. Daher kommt in Tetric EvoCeram Bulk Fill ein Schrumpfstress-Relaxator mit einem niedrigen Elastizitätsmodul zum Einsatz. Er wirkt wie eine mikroskopische Feder und vermindert daher den Schrumpfstress. Geringe Schrumpfung bei der Polymerisation des Composites bedeutet weniger Belastung an der Oberfläche/des adhäsiven Verbunds und daher eine bessere Randqualität. Fließfähige Composites zeigen aufgrund des geringeren Füllergehalts eine höhere Schrumpfung. Daher ist in Abb. 22 ein Vergleich zwischen Tetric EvoCeram Bulk Fill und x-tra fil/VOCO bzw. SonicFill/KERR (modellierbare Composites) dargestellt. Im Vergleich mit fließfähigen Bulk-Fill-Produkten ist die Volumensschrumpfung von Tetric EvoCeram Bulk Fill niedriger.

4.3.1 Volumensschrumpfung

Schrumpfungstest mit Quecksilber-Dilatometer

Die Polymerisationsschrumpfung verschiedener modellierbarer Composites wurde untersucht. Die Schrumpfung der modellierbaren Bulk-Fill-Composites Tetric EvoCeram Bulk Fill, Sonic Fill, QuiXfil und x-tra fil ist unten dargestellt. Die Polymerisationsschrumpfung (Volumensänderung in %) wurde nach einer Stunde mit einem Quecksilber-Dilatometer gemessen. Die Volumensschrumpfung von Tetric EvoCeram Bulk Fill ist vergleichbar mit jener anderer Bulk-Fill-Compositematerialien. Ein 4 mm dickes Inkrement zeigte eine Volumensschrumpfung von nur 1.96%

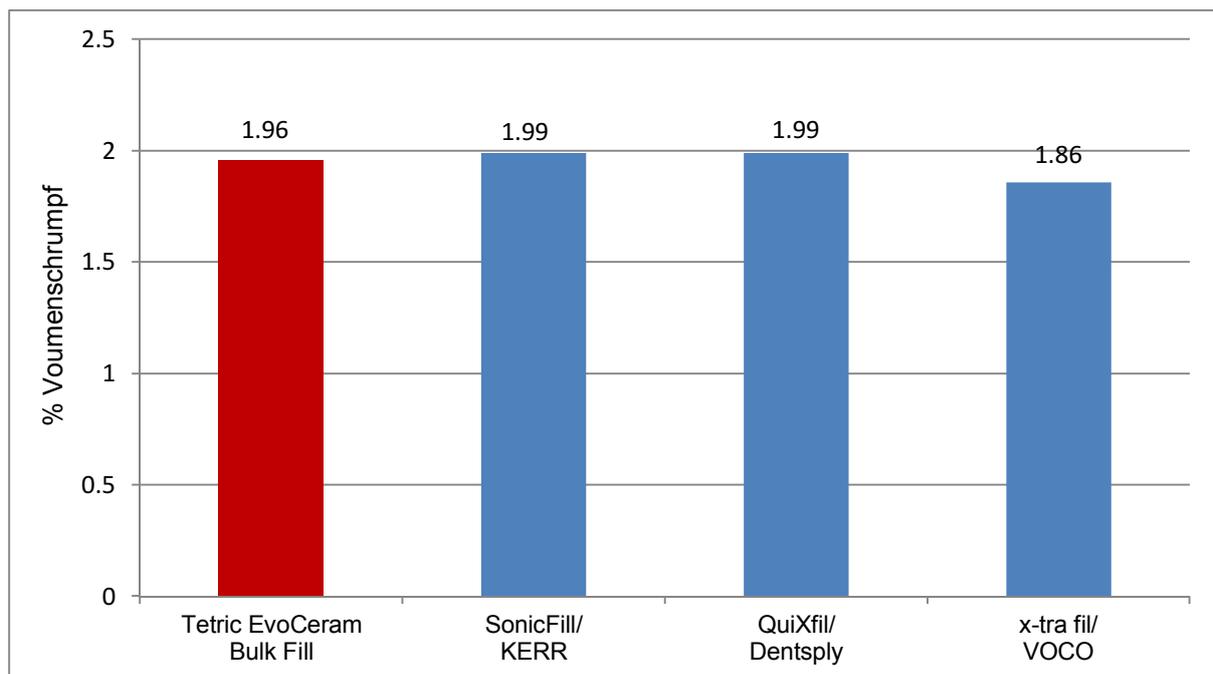


Abb. 22: Polymerisationsschrumpfung verschiedener modellierbarer Bulk-Fill-Composites im Vergleich. K. Vogel, Abstract 858, AADR Poster, Florida 2012²²

Vergleichende Schrumpfmessungen verschiedener Dentalkompositvarianten. Dr C. Koplín, Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik, IWM Bericht V351/2011

In einer externen Studie wurde die Polymerisationsschrumpfung ausserdem anhand des freien Volumenschwunds mit Hilfe der Auftriebsmethode in Silikonöl bestimmt.

Methode

Hierfür wurden Materialien in definierter Menge und Form geprüft. Vier Bulk-Fill-Füllungswerkstoffe wurden untersucht: Tetric EvoCeram Bulk Fill, SDR/Dentsply, Venus Bulk Fill/Heraeus und SonicFill/KERR. Pro Material wurden 5 Versuche gemacht, und jede Messung lief über 60 Minuten bei Raumtemperatur.

Ergebnisse

Während der Polymerisation kann zu Beginn eine Volumensexpansion beobachtet werden; sie wird verursacht von der Erwärmung durch die exotherme Polymerisationsreaktion und von der Lichteinstrahlung während der Photoinitiation. Die exponentiell verlaufende Abnahme ist nach 10 Minuten weitgehend abgeschlossen, und nach 60 Minuten kann der Endwert verlässlich ermittelt werden.

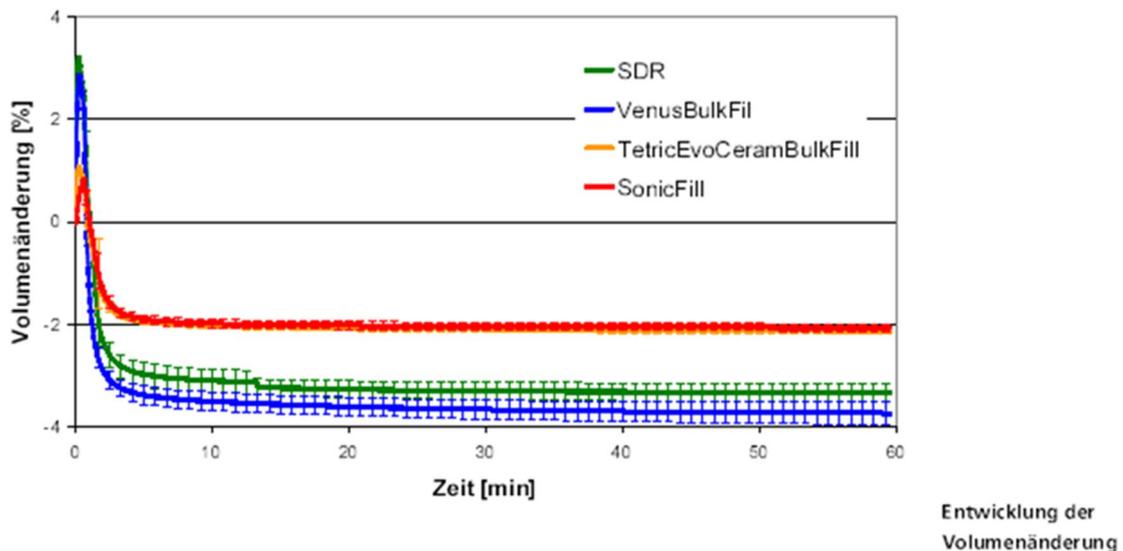


Abb. 23: Entwicklung der Volumensänderung über 60 Minuten von verschiedenen Composites. Dr C. Koplín, Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg, Germany, 2011

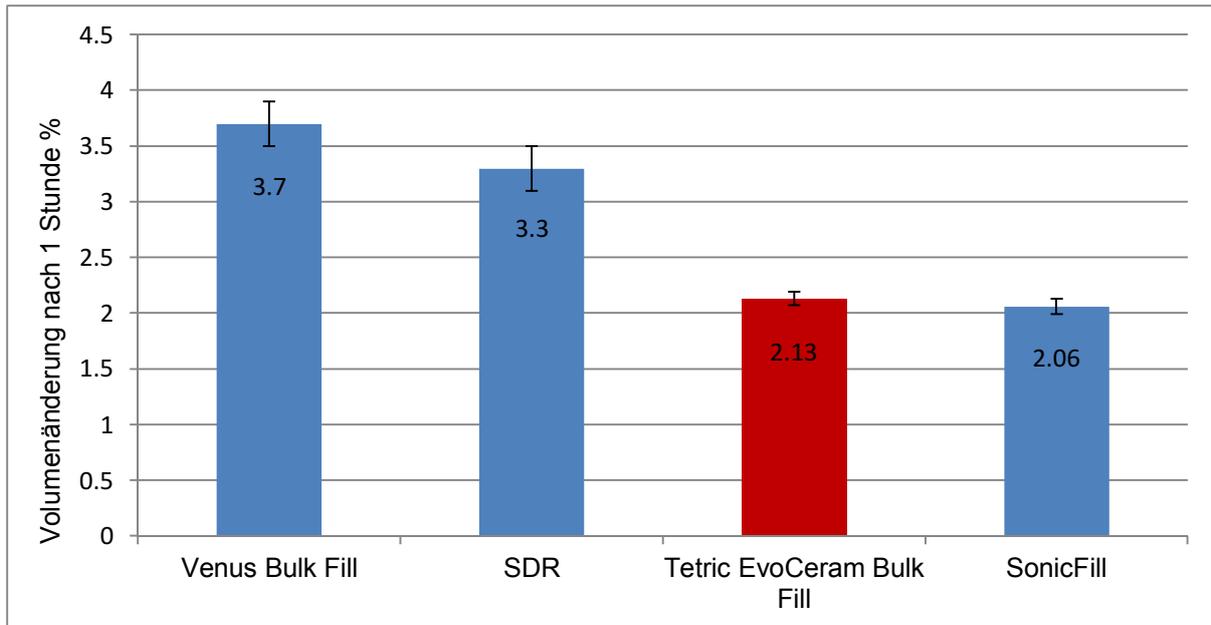


Abb. 24: Durchschnittliche Volumensänderung von verschiedenen Composites über 60 Minuten in %.
Dr C. Koplín, Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg, Deutschland, 2011

Erwartungsgemäss zeigten die beiden normalviskosen (modellierbaren) Composites Tetric EvoCeram Bulk Fill und SonicFill/KERR eine geringere Schrumpfung als die getesteten fließfähigen Bulk-Fill-Materialien Venus Bulk Fill/Heraeus Kulzer und SDR/Dentsply.

Schlussfolgerung

Sowohl die Schrumpfung der normalviskosen als auch der fließfähigen Materialien liegt im Rahmen der für diese Produkte üblichen Grössenordnung.

4.3.2 Schrumpfungskraft und Schrumpfungstress

Es wurden die Schrumpfungskräfte von verschiedenen Produkten in unterschiedlichen Schichtstärken untersucht. Das Composite ist durch das Adhäsiv an die Zahnschicht gebunden und kann während des Polymerisationsprozesses nicht ungehindert schrumpfen. Die Kräfte, die während der Polymerisation entstehen, wirken dem adhäsiven Verbund entgegen. Diese Schrumpfungskräfte wurden untersucht. Gemessen wurde mit einem Bioman Shrinkage Stress Messgerät (Belichtung mit Bluehase, HIP für 10 Sekunden, Messung der Schrumpfungskraft über einen Zeitraum von 30 min).

Das Ergebnis zeigt, dass Tetric EvoCeram Bulk Fill sowohl in 2 mm als auch in 4 mm Schichten geringere Schrumpfungskräfte aufweist als die universellen Bulk-Fill-Composites SonicFill/KERR und x-tra fil/VOCO in den entsprechenden Schichtdicken. Es konnte auch gezeigt werden, dass sich die Schrumpfungskräfte bei 4 mm nicht wesentlich von jenen bei 2 mm unterscheiden.

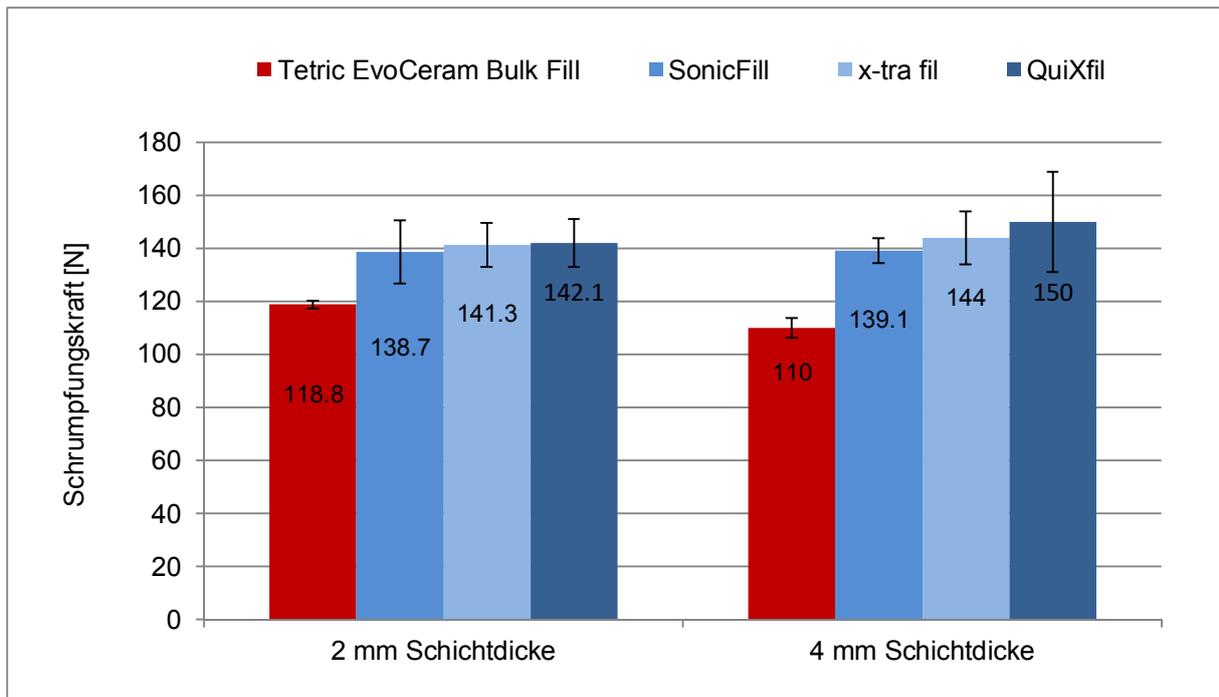


Abb. 25: Schrumpfungstress in verschiedenen, modellierbaren Bulk-Fill-Composites in Schichtdicken von 2 und 4 mm. *K. Vogel, Abstract 858, AADR Poster, Florida 2012*²²

Des Weiteren ergaben die durchgeführten Versuche, dass die Schrumpfungskräfte, die bei Tetric EvoCeram Bulk Fill in 4 mm Schichten gemessen werden, noch untern denen von anderen Composites in 2 mm Schichten liegen.

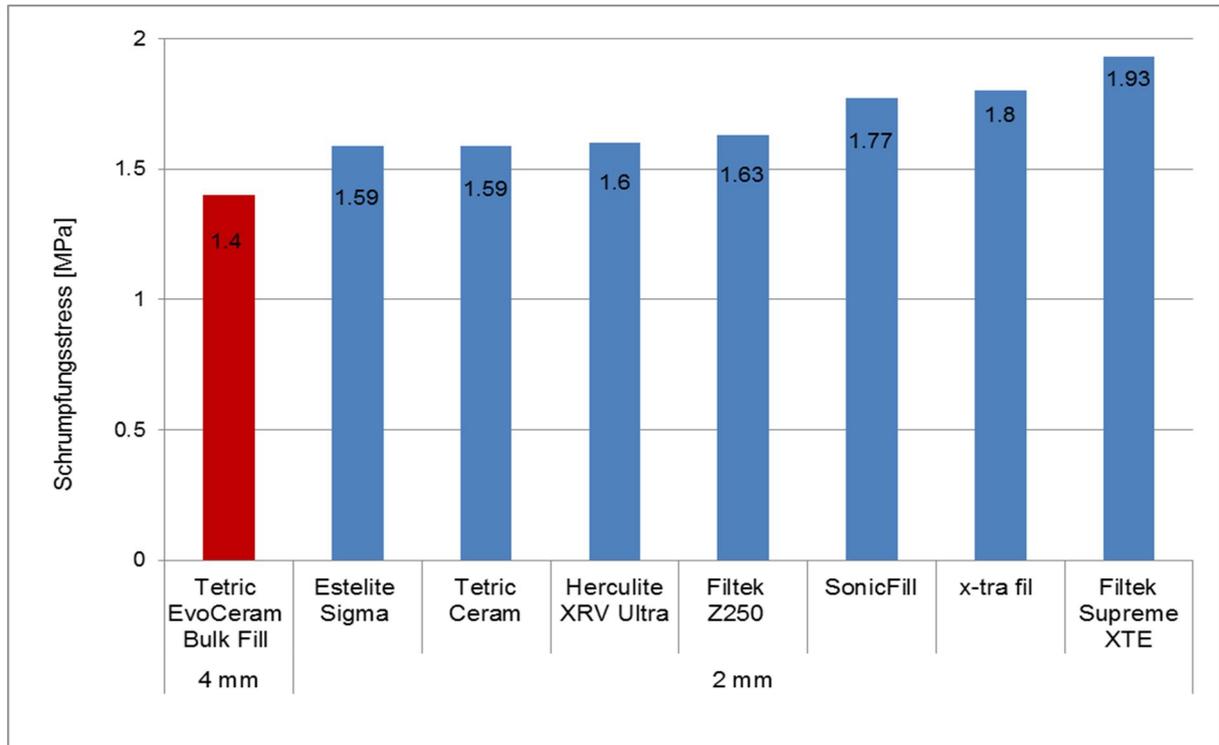


Abb. 26: Schrumpfungstress in Tetric EvoCeram Bulk Fill in Schichten von 4 mm im Vergleich zu anderen Composites in Schichtdicken von 2 mm - Messung nach Watts. *F&E Ivoclar Vivadent, Februar 2013*

Charakterisierung des Kontraktionsstresses in einem neuen Dentalcomposite im Vergleich zu vier Konkurrenzprodukten. Abschlussbericht. Dr. J. Ferracane, Department of Biomaterials and Biomechanics, OHSU School of Dentistry, Portland, Ohio, USA (November 2011)

Ferracane et al wollten den Schrumpfungs- oder Kontraktionsstress in 5 verschiedenen dentalen Composite-Füllungswerkstoffen untersuchen.

Methoden

Der Schrumpfstress wurde nach der von Prof. Watts an der Universität Manchester entwickelten sogenannten „Bioman“-Methode bestimmt.¹⁷ Das Bioman Shrinkage Stress Messgerät besteht aus einer Lastzelle, die auf einer Seite vertikal zur Lastzellenachse mit einem Stahlzylinder versehen ist. Auf der gegenüberliegenden Seite befindet sich eine entfernbare Quarzglasplatte, die während der Messung mit einer speziellen Klammer gehalten wird. Das untere Ende des Stahlzylinders wird vor der Messung mit einem Sandstrahler angeraut. Im Gegensatz zur ursprünglichen Methode wird die Oberfläche der dem Stahlzylinder gegenüberliegenden Glasplatte nicht sandgestrahlt, sondern nur silanisiert. Das Composite wird ungehärtet zwischen Glasplatte und Zylinder platziert (was einem Verhältnis von gebondeter zu nichtgebondeter Oberfläche, d.h. einer Kavitätenkonfiguration/einem C-Faktor von ca. 3 entspricht). Dann wird die Compositeprobe mit einer Höhe von 0,8 mm und einem Durchmesser von 8 mm von unten durch die feststehende Glasplatte 40 Sekunden mit einer Polymerisationslampe belichtet. Das Signal der Lastzelle wird verstärkt und an einen Computer gesendet. Um die entsprechenden Stresswerte (MPa) zu erhalten, wird die Last (N) durch die Fläche der Scheibe dividiert. Die Messung wird 10 Minuten nach der Aushärtung vorgenommen. Im vorliegenden Fall wurden pro Composite 5 Proben vermessen.

Ergebnisse

Aus den 5 Rohmesswerten wurden die durchschnittlichen Werte pro Material ermittelt.

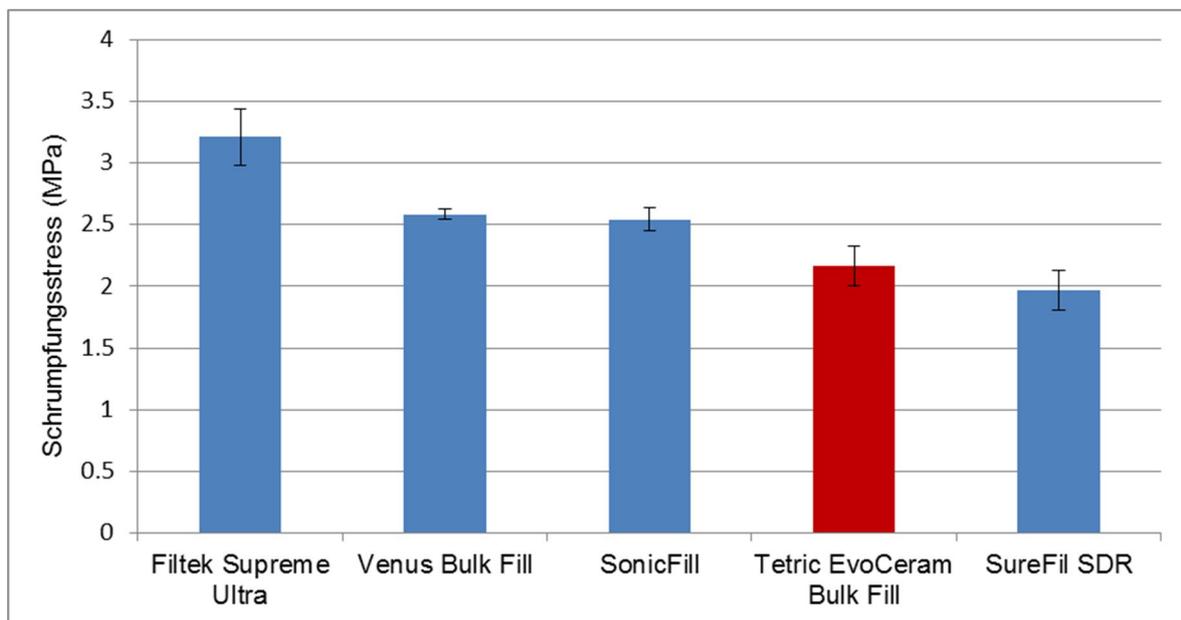


Abb. 27: Mittlerer Polymerisationsstress-/Schrumpfstresswert von 5 verschiedenen Composites im Vergleich. Ferracane, November 2011.

Schlussfolgerung

Mit Ausnahme von SureFil SDR, für das ähnliche Werte gemessen wurden, zeigte Tetric EvoCeram Bulk Fill eine signifikant niedrigere Schrumpfungsspannung alle anderen untersuchten Composites.

Sowohl aus den in internen als auch externen Untersuchungen erzielten Ergebnissen kann geschlossen werden, dass Tetric EvoCeram Bulk Fill klinisch akzeptabel ist und die Randqualität nicht beeinträchtigt sein sollte. Die 2-mm-Schichtung ist nicht notwendig – die Kavität kann in einem Schritt (in 4-mm-Inkrementen) gefüllt und ausgehärtet werden.⁹

4.3.3 Randschluss

Der mit der 2-mm- und der 4-mm-Inkrementtechnik erzielte Randschluss wurde anhand von elektronenmikroskopischen Aufnahmen verglichen. In einem Molaren wurden beidseitig zwei 4 mm tiefe MO-Kavitäten präpariert und der Haftvermittler Excite F appliziert. Eine Kavität wurde konventionell mit 2-mm-Inkrementen gefüllt. Die Aushärtung erfolgte jeweils mit dem Bluephase Style Lichtpolymerisationsgerät. Die zweite Kavität wurde mit einem einzigen 4-mm-Inkrement gefüllt und in einem Schritt mit der Bluephase Style ausgehärtet. Dann wurde der Zahn einer thermischen Wechselbelastung unterzogen (10'000 Zyklen) und anschliessend die Randqualität beider Füllungen untersucht. Bei einem Anteil von 75% perfekter Rand bei 200facher Vergrösserungen spricht man von ausgezeichneter Randqualität. Das traf in beiden Fällen zu, denn beide Restaurationen zeigten vergleichbare Ergebnisse. Der Anteil perfekter Rand von Tetric EvoCeram lag bei 79,9 %, der von Tetric EvoCeram Bulk Fill bei 79,2 %.⁹

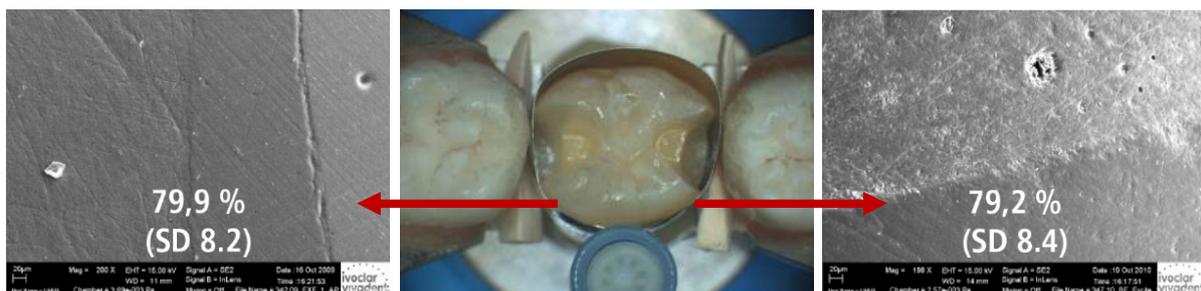


Abb. 28a-c: Randanalyse: Tetric EvoCeram (linke REM-Aufnahme) und Tetric EvoCeram Bulk Fill (rechte REM-Aufnahme)

Untersuchung von Microleakage und Randsichtigkeit bei 5 verschiedenen Composites. Burgess J, Cakir D., University of Alabama at Birmingham, USA. (2012)

Burgess et al untersuchten die Microleakage in Schmelz und Dentin von Tetric EvoCeram Bulk Fill und 4 anderen Composite-Füllungswerkstoffen.

Methode

In intakte menschliche Molaren wurden jeweils zwei Kavitäten präpariert – eine okklusale Klasse I-Kavität zur Messung der Microleakage in Schmelz und eine Klasse II-Kavität (MO oder DO) zur Messung der Microleakage in Dentin. Alle Kavitäten wurden mit 37 %iger Phosphorsäure geätzt. Anschliessend wurde der Haftvermittler Excite F appliziert und mit der Bluephase 20i lichtgehärtet. Fünf verschiedene Composite-Materialien wurden untersucht: Tetric EvoCeram Bulk Fill, Venus/Heraeus Kulzer, SureFil SDR/Dentsply, SonicFill/KERR und TPH3/Dentsply. Pro Composite wurden 15 Molaren präpariert (2 Kavitäten pro Zahn) (5 Reihen, daher n=75 Molaren und n=150 Füllungen). Alle Composites wurden in 4-mm-Schichten appliziert, mit Ausnahme von TPH3, das in 2-mm-Schichten angewendet wurde. Die Prüfung der Microleakage erfolgte durch Farbpenetrationstest mit 2 %igem Methylenblau. Die Auswertung erfolgte unter einem digitalen Mikroskop bei 30facher Vergrösserung.

Ergebnisse

Zum Vergleich diente TPH3, das in der Standardtechnik in 2-mm-Schichten appliziert wurde. Sowohl in Schmelz als auch in Dentin wurden keine signifikanten Unterschiede in der Randdichtigkeit zwischen den verschiedenen Composites beobachtet.

Schlussfolgerung

Die Verwendung der Bulk-Fülltechnik führte zu keiner Erhöhung der Microleakage.

In-vitro-Untersuchung der Randqualität von Composite-Systemen für die Bulk-Fülltechnik. Abschlussbericht. Dr M. Latta, Creighton University School of Dentistry, Omaha, Nebraska, USA. (April 2012)

Adhäsivsysteme können den Randspalt an der Schnittfläche zwischen Composite und Zahn stark beeinflussen. Latta untersuchte die Randqualität von 3 Composite-Systemen unterschiedlicher Hersteller: Tetric EvoCeram in Kombination mit Excite F, SureFil SDR mit Prime & Bond NT/Dentsply und TPH3 mit Prime & Bond NT/Dentsply.

Methode

In intakten menschlichen Molaren wurden mesial und distal slotförmige Kavitäten in den Massen 4 mm (bukko-linguale Breite) x 4 mm (Tiefe) x 2 mm (in axialer Richtung) präpariert. Pro System wurden 6 Prüfkörper erstellt. Zuerst wurde das Dentaladhäsiv appliziert, dann eine Metallmatrize gelegt und die Kavitäten in der Bulk-Fülltechnik mit dem entsprechenden Material gefüllt. Die approximalen Ränder wurden mit Enhance-Finierern ausgearbeitet und mit SoffFlex-Polierscheiben poliert. Nach 24-stündiger Wasserlagerung wurden mit Polyvinyl-Siloxan eine Abformung vorgenommen. Dann wurden die Proben 2500 Zyklen einer Temperaturwechselbelastung (TC) zwischen 5 und 55 °C ausgesetzt und anschliessend erneut abgeformt. Die Zähne wurden in medio-distaler Richtung zerschnitten und die Schnittflächen poliert (Körnung 2400). Anschliessend wurde mit 37 %iger Phosphorsäure eine Minute lang geätzt und dann eine Abformung vorgenommen. Die Abformungen wurden im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Die Randqualität in Schmelz und Dentin wurde als Anteil des perfekten oder spaltfreien Randes an der Gesamtlänge des Füllungsrandes ausgedrückt.

Ergebnisse

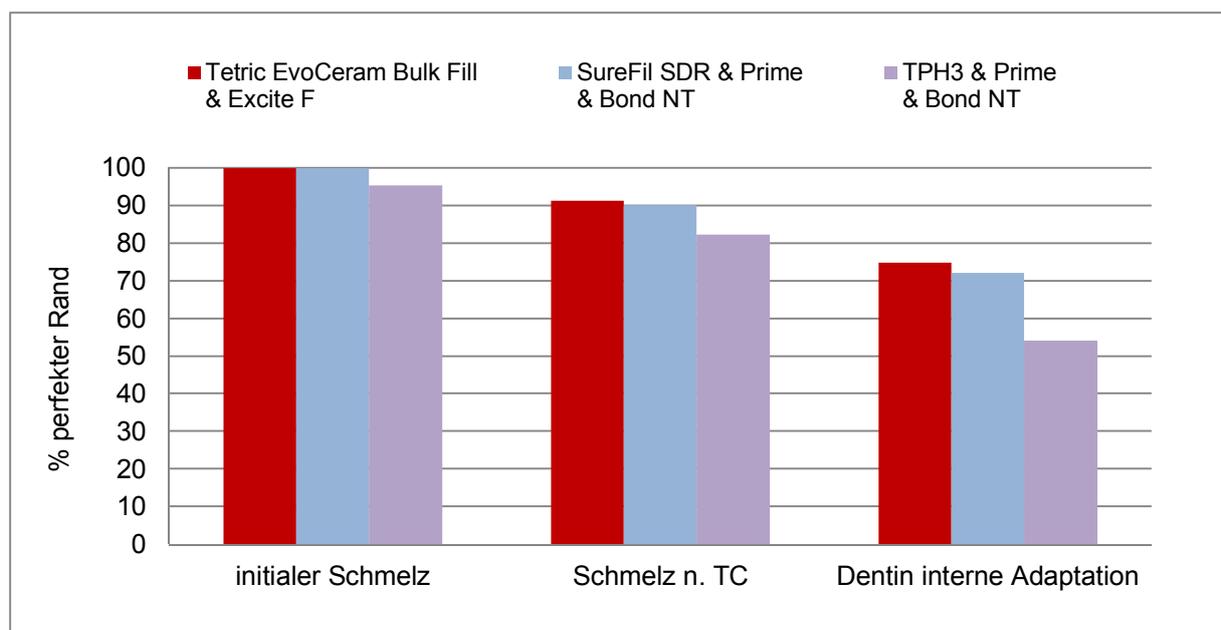


Abb. 29: Quantitativer Anteil perfekten Randes in Schmelz (initial und nach Temperaturwechselbelastung) und Dentin von drei verschiedenen Composite-Materialien. M. Latta, Creighton University School of Dentistry, Nebraska, USA, 2012

Vor der thermischen Wechselbelastung betrug der Anteil perfekten Randes in Schmelz sowohl bei Tetric EvoCeram Bulk Fill als auch bei SureFil SDH 100 %. Nach der thermischen Wechselbelastung sanken die Werte auf 91,3 % bzw. 90,1 % in Schmelz und 74,8 % bzw. 72,1 % in Dentin.

Schlussfolgerung

Tetric EvoCeram Bulk Fill wies in allen Phasen und Bereichen höhere Werte auf. Kein statistisch relevanter Unterschied war zwischen Tetric EvoCeram Bulk Fill und SureFil SDR feststellbar, beide zeigten jedoch signifikant bessere Ergebnisse als TPH3 ($p < 0.05$). Die Randqualität beider Bulk-Fill-Produkte war sowohl in Schmelz als auch in Dentin besser als die von TPH3 in Kombination mit Prime & Bond.

4.4 Verschleiss

Bei Ivoclar Vivadent wird zur Verschleissmessung eine Willytec Kaumaschine eingesetzt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wird ein möglichst standardisiertes Vorgehen gewählt. Hierfür werden standardisierte Keramik-Antagonisten (IPS Empress) verwendet und plane Prüfkörper werden 120'000 Kauzyklen bei einer Last von 50 N und einer horizontalen Bewegung von 0.7 mm ausgesetzt. Der vertikale Verschleiss wird mit einem 3D Laserscanner gemessen. Vertikaler Verschleiss von weniger als 200 μm wird als geringer Verschleiss eingestuft, der Bereich von 200 – 300 μm gilt als mittlerer Verschleiss.

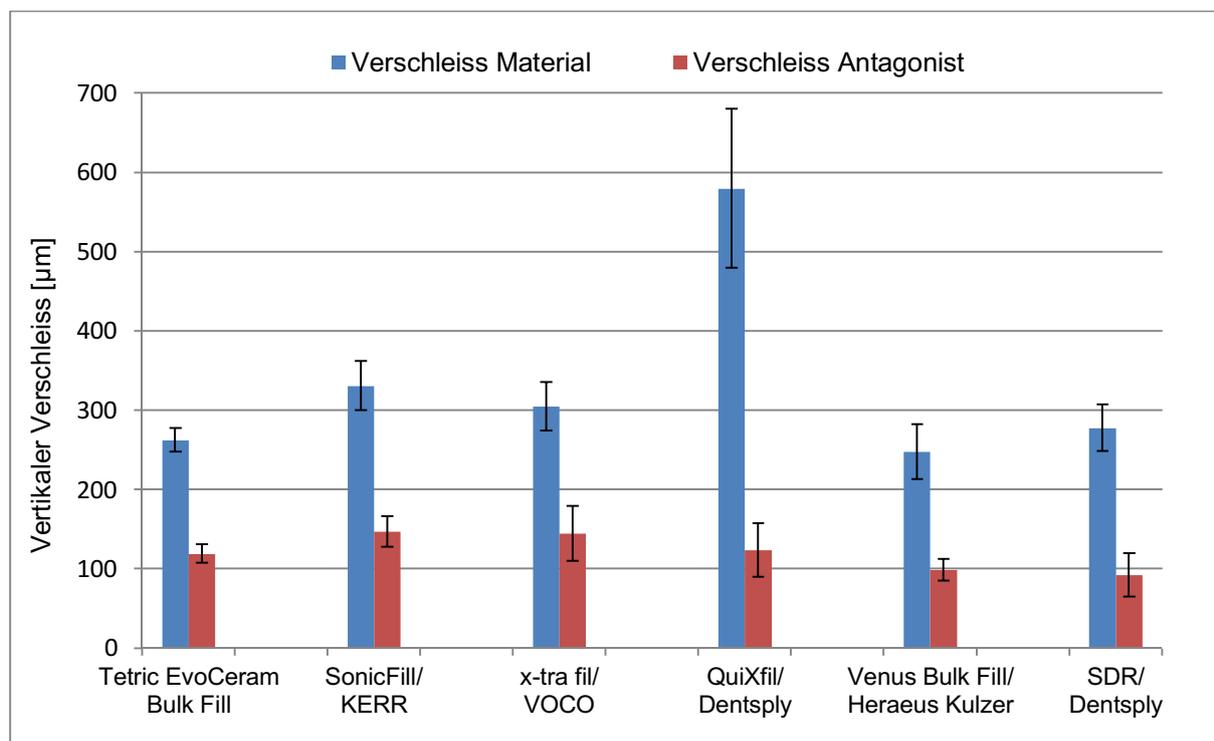


Abb. 30: Mittlerer vertikaler Verschleiss von Material und Antagonist (F&E Ivoclar Vivadent, 2011)

Den signifikant höchsten Verschleiss wiesen die Prüfkörper von QuixFil auf. Die Materialien SDR, Venus Bulk Fill und Tetric EvoCeram Bulk hatten einen vergleichbaren Materialverschleiss, jener von Quixfil und SonicFill war signifikant höher. Hinsichtlich des Antagonistenverschleisses zeigten die Prüfkörper von SonicFill und X-tra fil im Vergleich zu den anderen Materialien die signifikant höchsten Werte.

4.5 Polierbarkeit

Die Politur ist ein besonders kritischer Schritt in der direkten Füllungstherapie, da sie am Ende des Behandlungsablaufs steht. Eine gute Oberflächenpolitur ist von ausschlaggebender Bedeutung für den klinischen Erfolg und das ästhetische Erscheinungsbild einer Composite-Restauration.

Eine im Vergleich zum umgebenden Zahn zu matte Oberfläche ist nicht sehr ästhetisch und eine raue Oberfläche kann zu Verfärbungen und zu Plaqueakkumulation führen. Deswegen wurde auch bei Entwicklung von Tetric EvoCeram Bulk Fill besonderes Augenmerk auf vorteilhafte Poliereigenschaften gelegt.

Für den nachfolgend dargestellten Versuch wurden pro Material acht Proben gemäss den Angaben des Herstellers angefertigt. Die Prüfkörper wurden mit Schleifpapier (320 grit) aufgeraut, um eine definierte anfängliche Oberflächenrauigkeit zu erhalten. Nach Trockenlagerung während 24 Stunden bei 37°C wurden der Oberflächenglanz mit einem novo-curve Glanzmessgerät und die Oberflächenrauheit mit einem FRT MicroProf bestimmt.

Die Prüfkörper wurden mit dem Einschnitt-Polierer OptraPol Next Generation mit einem Anpressdruck von 2 N bei einer Umdrehungszahl von 10'000 U/min unter Wasserzufuhr poliert. Die Prüfkörper werden während insgesamt 30 Sekunden poliert, die Messung des Oberflächenglanzes wird hierbei in Intervallen von jeweils 10 Sekunden durchgeführt. Als Referenzmaterial diente schwarzes Glas mit einem Glanzindex von 92,6.

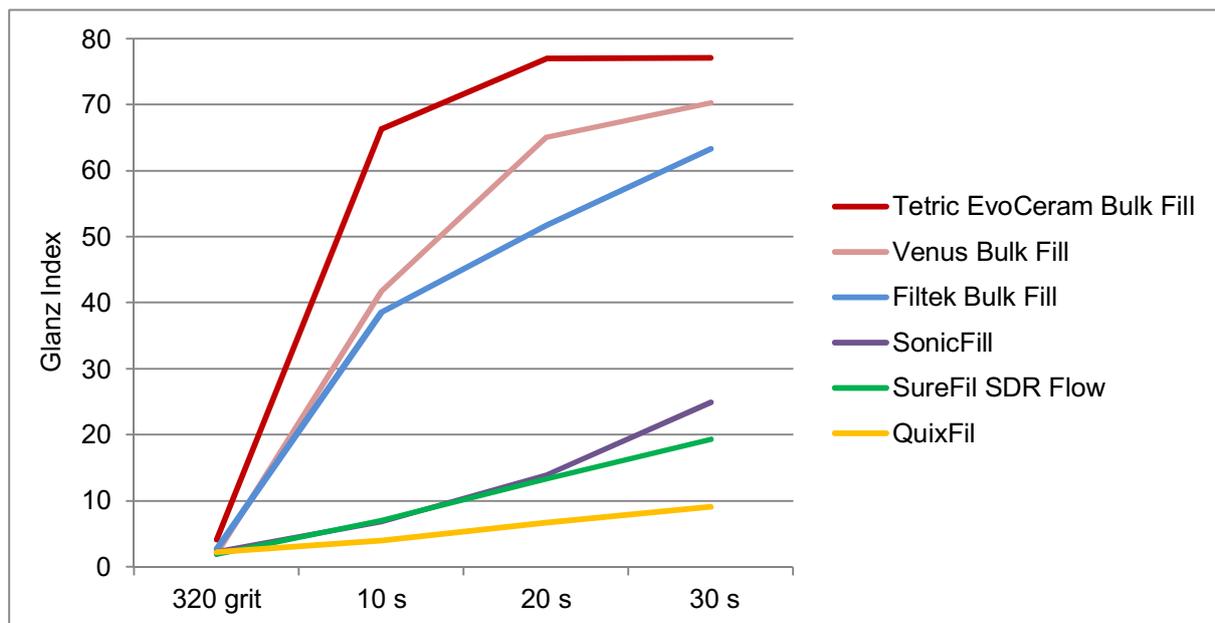


Abb. 31: Mittlerer Oberflächenglanz von verschiedenen Composite-Materialien im Vergleich zu Tetric EvoCeram Bulk Fill nach Politur mit OptraPol Next Generation in Abhängigkeit von der Polierzeit. *Präklinik, F&E Ivoclar Vivadent, Schaan, August, 2011*

Über die gesamte Polierzeit von 30 Sekunden konnte bei den Prüfkörpern aus TetricEvoCeram Bulk Fill mit OptraPol Next Generation im Vergleich zu den untersuchten Materialien ein statistisch signifikant höherer Oberflächenglanz erzielt werden (ANOVA, $p < 0,05$).

Die Rauheit wurde nach 10, 20 und 30 Sekunden bestimmt. Nachfolgend sind die Mittelwerte gezeigt. Je geringer die Werte für die Oberflächenrauheit sind, desto besser ist die Polierbarkeit des Materials. Eine mittlere Oberflächenrauheit von $< 0.1 \mu\text{m}$ wird als sehr gute Polierbarkeit betrachtet, bei $< 0.2 \mu\text{m}$ ist die Polierbarkeit gut, zwischen $0.2 - 0.4 \mu\text{m}$ mittel und bei $> 0.4 \mu\text{m}$ spricht man von einer schlechten Polierbarkeit. Tetric EvoCeram Bulk Fill zeigte in diesem Versuch eine sehr gute Polierbarkeit. Nach 30 Sekunden Polierzeit gab es

keinen signifikanten Unterschied zwischen Tetric EvoCeram Bulk Fill, Venus Bulk Fill und Filtek Bulk Fill.

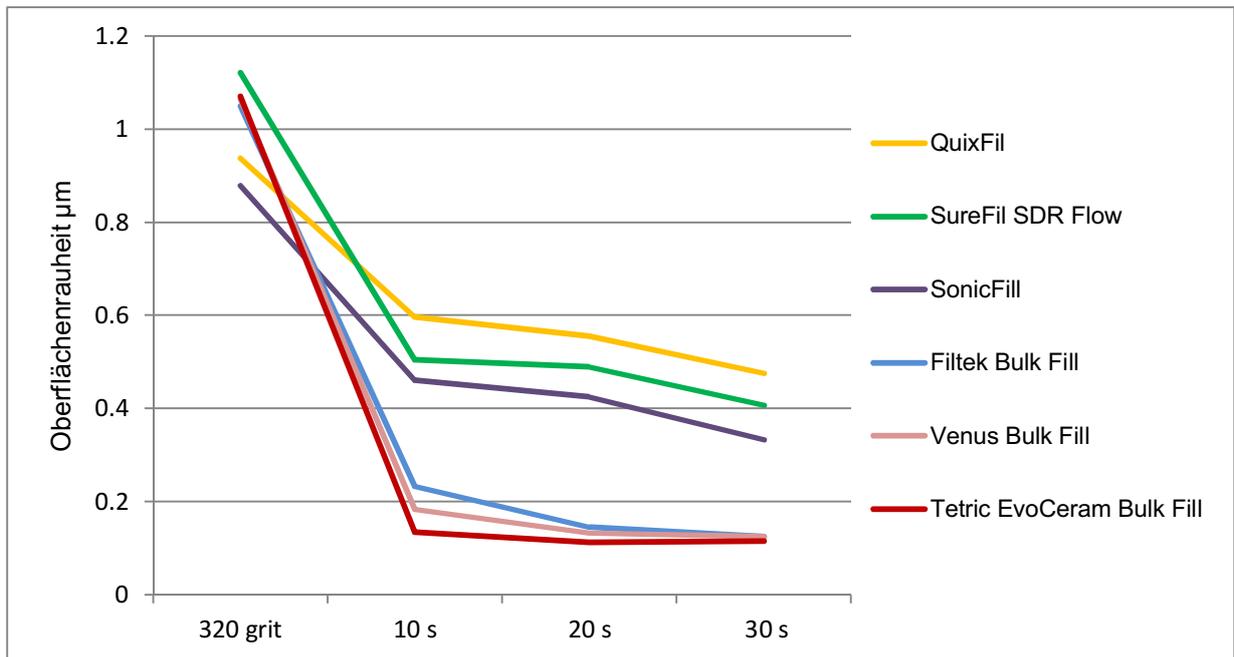


Abb. 32: Mittlere Oberflächenrauheit von verschiedenen Composite-Materialien im Vergleich zu Tetric EvoCeram Bulk Fill nach Politur mit OptraPol Next Generation nach 30 Sekunden Polierzeit. *F&E Ivoclar Vivadent, Schaan, 2011*

5. Klinische Studien / In Vivo

Tetric EvoCeram Bulk Fill. The Dental Advisor, Band 29, Nr. 5, (Juni 2012) ²³

Tetric EvoCeram Bulk Fill erhielt vom unabhängigen US-amerikanischen Testinstitut "The Dental Advisor" die höchstmögliche Bewertung, 5 Plus (97%), und den Titel "Editors' choice". Von 31 Testzahnärzten wurden 746 Füllungen mit Tetric EvoCeram Bulk Fill gemäss Herstellerangaben gelegt. Das Produkt wurde von den Testzahnärzten als Composite mit sehr guten Handlingeigenschaften für den Seitenzahnbereich beschrieben, das sich gut an die Kavitätenwände adaptieren und modellieren lässt. Als weiteren Vorteil wurde die Applikation in 4-mm-Schichten genannt, was die Behandlungszeit verkürzt, da die meisten Füllungen in einem einzigen Schritt gelegt werden können. Die drei Farben wurden als ausreichend für die Anwendung im Seitenzahnbereich angesehen und die natürliche Transluzenz, die eine optimale Eingliederung in das natürliche Umfeld ermöglicht, betont. Es wurde bemerkt, dass bei stark verfärbtem Dentin evtl. eine opake Unterfüllung nötig ist, um ein Durchscheinen dunkler Bereiche zu vermeiden. Die Röntgenopazität wurde als sehr gut beurteilt. 61 % der Testzahnärzte gaben an, dass Tetric EvoCeram Bulk Fill besser als das von ihnen gegenwärtig verwendete Produkt ist, 32 % hielten es für gleichwertig. 84 % sagten, sie würden auf Tetric EvoCeram Bulk Fill umsteigen und 94 % würden es weiterempfehlen.

Tetric EvoCeram Bulk Fill – Bericht über das klinische Verhalten nach einem Jahr. The Dental Advisor, Band 30, Nr. 10. (Dezember 2013) ²⁴

Methode

Über einen Zeitraum von 18 Monaten wurden in Patienten über 100 Tetric EvoCeram Bulk Fill unter Verwendung von selbstätzenden Adhäsiven gelegt. 68 ein- bis vierflächige Seitenzahnrestaurationen konnten nach einem Jahr nachuntersucht werden. 19 % davon waren Füllungen der Klasse I, 45 % der Klasse II, 25 % der Klasse III und 11 % der Klasse IV. Folgende Aspekte wurden untersucht: postoperative Sensibilität, Ästhetik, Resistenz gegenüber Fraktur/Chipping, Resistenz gegenüber Randverfärbung und Abrasionsbeständigkeit. Die Beurteilung erfolgte anhand einer Skala von 1-5: 1=mangelhaft, 2=akzeptabel, 3=gut, 4=sehr gut, 5=ausgezeichnet.

Ergebnisse

Tetric EvoCeram Bulk Fill
One-year Clinical Performance Report
+++++

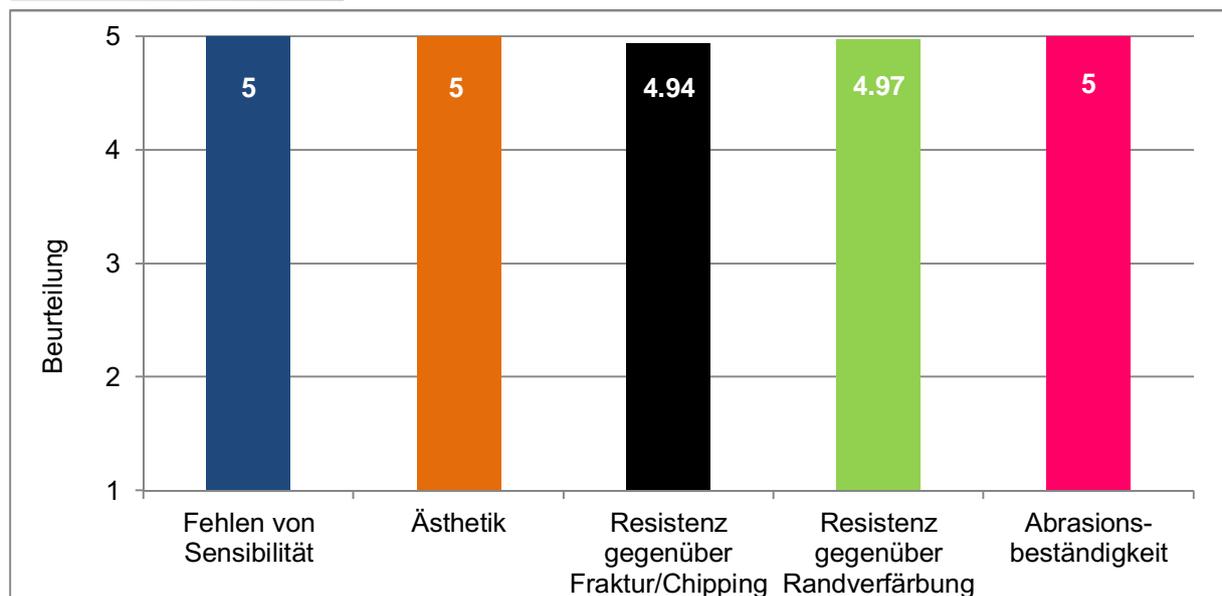


Abb. 33: Untersuchungsergebnisse von 68 Tetric EvoCeram Bulk Fill-Restaurationen nach einem Jahr (The Dental Advisor, Dezember 2013)

Keiner der Patienten berichtete von postoperativen Sensibilitäten. Obwohl sie leicht transluzent waren, wiesen alle nachuntersuchten Füllungen nach einem Jahr eine ausgezeichnete Ästhetik auf. Nur eine der 68 Restaurationen zeigte eine Fraktur und musste ersetzt werden. Es trat kein Chipping auf. Zwei Restaurationen zeigten eine leichte Verfärbungen entlang des Restaurationsrandes und wurden nachpoliert. Es wurde keine Abrasion, auch nicht an den Gegenzähnen, festgestellt.

Schlussfolgerung

Tetric EvoCeram Bulk Fill zeigte ein extrem gutes klinisches Verhalten und erhielt nach einem Jahr die Bewertung „5 Plus“ (99%).

Interne klinische Studie mit Tetric EvoCeram Bulk Fill: Dr. A. Peschke, Interne Klinik, F&E Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein (2012-2013)

Tetric EvoCeram Bulk Fill wurde in der internen Klinik in Kombination mit einem experimentellen Adhäsiv untersucht.

Methode

35 Seitenzahnrestorationen (11 Klasse I und 24 Klasse II Füllungen) wurden von 3 Zahnärzten in Kombination mit einem experimentellen Etch&Rinse-Adhäsiv gelegt (ZA 1: n=12, ZA 2: n=11, ZA 3: n=12). Das Legen der Füllungen erfolgte unter absoluter Trockenlegung (Kofferdam). In 2 Fällen handelte es sich um die Sanierung einer Primärkaries und bei 33 Fällen um einen Füllungersatz aufgrund von Sekundärkaries. Die durchschnittliche Tiefe der Kavitäten betrug 4 mm; die durchschnittlichen Kavitätengrößen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Grösse der Kavität	Breite (mm)	Kavitätenbreite (% der Interkuspaldistanz)	Zentrale okklusale Tiefe (mm)	Tiefe des mesialen Kastens (mm)	Tiefe des distalen Kastens (mm)
Durchschnitt	4,8	77 %	4	5,2	4,5
SA (±)	1,7	16 %	1,2	1,0	1,7
Max.	10	100 %	6	7,0	7,0

Tabelle 5: Durchschnittliche Kavitätendimensionen mit Standardabweichungen. *Interne Klinik, F&E Ivoclar Vivadent, 2012*

Für 29 Restaurationen wurde Farbe IVA verwendet sowie für jeweils 3 Restaurationen IVB und IVW. Die Lichthärtung erfolgte mit der Bluephase für jeweils 10 Sekunden pro Inkrement.

Für die Beurteilung wurden FDI-Kriterien angewendet.^{18,19} Die Beurteilung der Restaurationsränder erfolgte mit Hilfe einer semi-quantitativen klinischen Evaluationsmethode (SQUACE) (Prozent des gesamten Füllungsrandes). Die erste Untersuchung (Baseline) wurde ca. 1 Woche nach der Behandlung durchgeführt. Die Ergebnisse nach 12 Monaten sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Ergebnisse

FDI-Kriterien/ Bewertung	Exzellent	Gut	Akzeptabel	Manghaft (Reparabel)	Inakzeptabel (Füllungsaustausch erforderlich)
	Anzahl (% aller Füllungen)				
Postoperative Sensibilitäten	34 (97%)	1 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Anatomische Form	35 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oberfläche/Glanz/Poren	24 (69%)	7 (20%)	4 (11%)	0 (0%)	0 (0%)
Verschleiss	32 (91%)	3 (9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Ästhetik	27 (77%)	8 (23%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oberflächenverfärbung	35 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Patientenzufriedenheit	34 (97%)	1 (3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Matrialfaktur	35 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Zahnintegrität	33 (94%)	1 (3%)	1 (3%)	0 (0%)	0 (0%)
Approximalkontakte	33 (94%)	2 (6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	% des gesamten Füllungsrandes				
Randverfärbung	100 %	0%	0%	0%	0%
Randdefizite	99.3%	0.7%	0%	0%	0%
Unterschuss	100 %	0%	0%	0%	0%

Tabelle 6: Ergebnisse der Untersuchung nach FDI-Kriterien nach einem Jahr (n=35). (Interne Klinik, F&E Ivoclar Vivadent 2013)

Nach einer Woche gab es keinerlei postoperativen Beschwerden und nach 12 Monaten erhielten 97 % der Fälle die Beurteilung „Exzellent“. Im Hinblick auf die Ästhetik wurde zu keinem Zeitpunkt eine Verfärbung der Oberfläche festgestellt (weder nach dem Legen noch nach einem Jahr). 77 % der Füllungen erhielt die Beurteilung „Exzellent“, die restlichen 23 % wurden als „Gut“ beurteilt, was den Chameleoneffekt von Tetric EvoCeram Bulk Fill bestätigt. Nur bei sehr tiefen Kavitäten oder bei Dentinverfärbungen wurden teilweise minimale Farbunterschiede zwischen Restauration und natürlicher Zahnschubstanz festgestellt. In solchen Fällen wird eine Übersichtung des Dentins mit einem opaken Material wie Tetric EvoFlow empfohlen. Die Polierbarkeit wurde mithilfe der Parameter „Oberfläche/Glanz/Poren“ beurteilt. 89 % der Füllungen erhielten nach einem Jahr die Bewertung „Exzellent“ (69 %) oder „Gut“ (20 %). Die Randqualität insgesamt war sowohl zu Beginn der Studie als auch nach einem Jahr ausgezeichnet, über 99 % der Füllungen wurden mit „Exzellent“ beurteilt. Im Hinblick auf die Fraktureigung und die Patientenzufriedenheit ergab sich nach einem Jahr keine Änderung zur Ausgangssituation. Beide Male wurden 100 % bzw. 97 % als „Exzellent“ beurteilt.²⁵

Schlussfolgerung

Mit Tetric EvoCeram Bulk Fill, das in Schichten bis zu 4 mm appliziert wurde, konnten sehr ästhetische Seitenzahnfüllungen gelegt werden. Die meisten Kriterien wurden sowohl bei der initialen Untersuchung als auch nach einem Jahr als „Ausgezeichnet“ beurteilt.

Klinische Beurteilung verschiedener Composite-Füllungsmaterialien in Seitenzahnkavitäten der Klasse II: Einjahres-Ergebnisse. Prof. Dr. R. Yazici, Ankara, Türkei. (2013)

In dieser Studie wurde das klinische Verhalten von Füllungen mit Tetric EvoCeram Bulk Fill und Filtek Ultimate/3M ESPE, nach einem Jahr verglichen.

Methode

50 Patienten mit mindestens zwei approximalen Seitenzahnkavitäten gleicher Grösse nahmen an der Studie teil. Insgesamt wurden 104 Klasse-II-Restaurationen in Kombination mit einem Total-Etch-Adhäsiv gelegt – eine Hälfte mit der Kombination Tetric EvoCeram Bulk Fill/Excite F (n=52), die andere mit der Kombination Filtek Ultimate/Adper Single Bond 2/3M ESPE (n=52). Die Restaurationen wurden von zwei Klinikern eingesetzt. Sie wurden zu Beginn, nach 6 Monaten und nach einem Jahr von zwei Prüfern, die nicht wussten, welche Restaurationsmaterialien angewendet worden waren, nach modifizierten Ryge/USPHS-Kriterien beurteilt. Folgende Kriterien wurden bewertet: Randschluss, Randverfärbung, Farbübereinstimmung, anatomische Form, Oberflächenbeschaffenheit, Sekundärkaries und postoperative Beschwerden. Die zwei Restaurationsmaterialien wurden in jeder Kategorie miteinander verglichen. Dazu wurde der Chi-Quadrat-Test mit einem Signifikanzniveau von 0.05 angewendet.

Ergebnisse

Alle 50 Patienten konnten nach sechs Monaten nachuntersucht werden. Bei beiden Produkten kam es zu keinem Restaurationsverlust und alle Kriterien wurden mit „Alpha“ bewertet. Postoperative Beschwerden wurden bei einer Tetric EvoCeram Bulk Fill-Restauration beobachtet. Nach einem Jahr war die Recall-Rate nur mehr 98 %, da ein Patient weggezogen war. Alle Restaurationen erhielten die Bewertung „Alpha“ für alle Kriterien, ausser zwei Filtek Ultimate-Restaurationen, die für das Kriterium Farbübereinstimmung die Bewertung „Bravo“ erhielten. Derselbe Patient, der schon nach sechs Monaten leichte postoperative Sensibilität angegeben hatte, meldete immer noch leichte Beschwerden. Keine Sekundärkaries und kein Verlust der anatomischen Form trat auf, und es wurden keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den beiden Composites festgestellt ($p > 0.05$).

Schlussfolgerung

Sowohl Tetric EvoCeram Bulk Fill als auch Filtek Ultimate schnitten nach einem Jahr gleich gut ab.

Klinische Beurteilung von Seitenzahnrestaurationen aus Tetric EvoCeram Bulk Fill in Kombination mit dem Total-Etch-Adhäsiv Excite F. Dr. G. Gregoire, Toulouse. (2013)

Das Ziel dieser prospektiven klinischen Studie war es, das klinische Verhalten der zwei Composites ein Jahr lang zu beobachten. Es wurden direkte Restaurationen im Seitenzahnbereich mit Tetric EvoCeram Bulk Fill (in Kombination mit Excite F) und Gradia Direct/GC (in Kombination mit XP Bond/Dentsply) gelegt.

Methode

68 Seitenzahnfüllungen (34 Tetric EvoCeram Bulk Fill- und 34 Gradia Direct-Füllungen) wurden von 4 erfahrenen Zahnärzten in 32 Patienten gelegt (12 Männer und 20 Frauen). Tetric EvoCeram Bulk Fill wurden in 4-mm-Schichten appliziert, Gradia Direct in 2-mm-Schichten. Alle Restaurationen wurden 20 Sekunden lang mit der Bluephase (1200 mW/cm²) lichtgehärtet und mit OptraPol poliert. Sofort nach der Behandlung, nach sechs Monaten und nach einem Jahr wurden die Füllungen vom Behandler sowie von einem unabhängigen,

vorher geschulten Evaluator nach modifizierten USPHS-Kriterien klinisch beurteilt. Folgende Kriterien wurden bewertet: Retention, Frakturneigung, Farbstabilität, Oberflächenfarbe, Oberflächentextur, Abrasionsresistenz, Randschluss, Sekundärkaries, Temperaturempfindlichkeit und Zustand der Gingiva. Wenn sich bei der Beurteilung Diskrepanzen ergaben, wurden diese diskutiert, bis eine einheitliche Bewertung erzielt war.

Ergebnisse

Baseline: Tetric EvoCeram Bulk Fill zeigte zu Beginn ein perfektes klinisches Verhalten und erhielt für alle Kriterien eine Alpha-Bewertung. Gradia Direct zeigte ebenfalls ein gutes klinisches Verhalten und erhielt Alpha-Bewertungen für alle Kriterien ausser Abrasionsresistenz und Randschluss, bei denen jeweils 2,9 % mit „Bravo“ beurteilt wurden.

Nach sechs Monaten: Beide Produkte zeigten nach sechs Monaten gute Ergebnisse. Keine Veränderung zeigte sich bei: Retention, Frakturneigung, Farbstabilität, Oberflächenfarbe oder Sekundärkaries. Tetric EvoCeram Bulk Fill zeigte leicht bessere Ergebnisse bei den Kriterien Abrasionsresistenz, Randschluss und Temperaturempfindlichkeit, während Gradia Direct bei den Kriterien Oberflächentextur und Zustand der Gingiva etwas besser abschnitt.

Nach einem Jahr: 100 % der Tetric EvoCeram Bulk Fill-Restaurationen erhielten eine Alpha-Bewertung bei den Kriterien Retention, Frakturresistenz, Sekundärkaries und Temperaturempfindlichkeit. 100 % der Gradia Direct-Füllungen wurden nur beim Kriterium Frakturneigung mit „Alpha“ bewertet, während bei allen anderen Kriterien 3.2% der Füllungen die Bewertung „Delta“ erhielten (siehe Grafik unten).

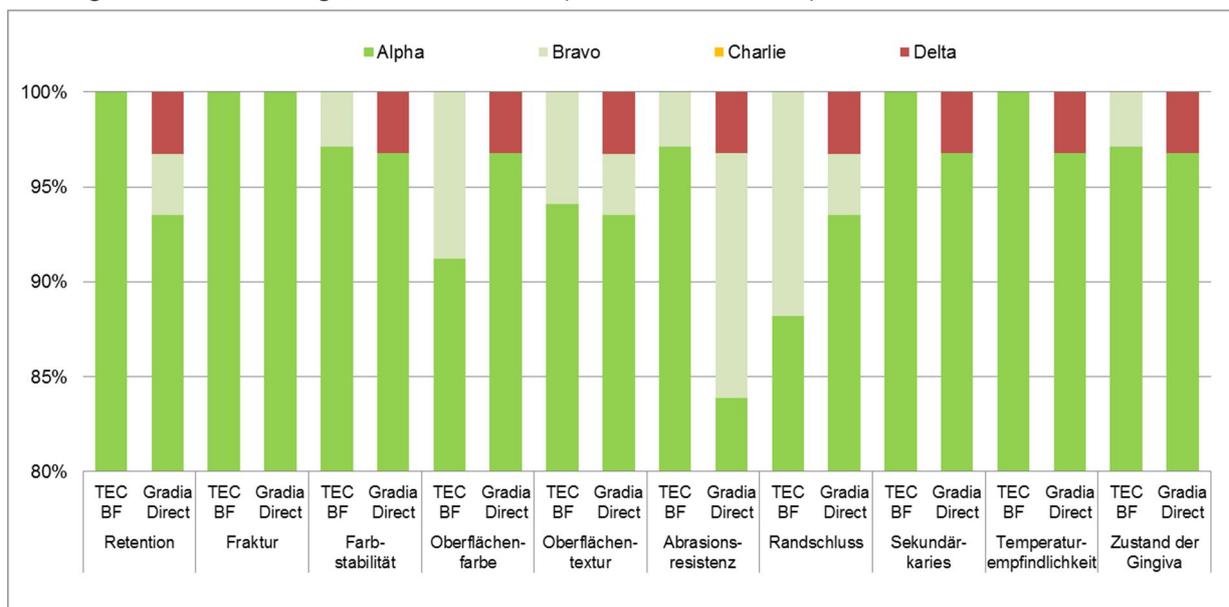


Abb. 34: Tetric EvoCeram Bulk Fill (TEC BF)- und Gradia Direct-Füllungen – Beurteilung verschiedener Kriterien von Alpha bis Delta (%) nach einem Jahr. G. Gregoire, Toulouse, Frankreich 2013.

Schlussfolgerung

Tetric EvoCeram Bulk Fill zeigte nach einem Jahr ein ausgezeichnetes klinisches Verhalten und erhielt 100 % Alpha-Bewertungen bei den Kriterien Retention, Frakturneigung, Sekundärkaries und Temperaturempfindlichkeit. Ausser bei der Bewertung „Fraktur“ erhielt Gradia Direct nach 12 Monaten Delta-Beurteilungen. Tetric EvoCeram Bulk Fill hingegen erhielt in keinem Bereich (und zu keinem Zeitpunkt) eine schlechtere Beurteilung als „Bravo“. Besonders hervorzuheben ist die für ein Bulk-Material sehr hohe Ästhetik – über 90 % der Füllungen erhielten für das Kriterium Farbstabilität und Oberflächenfarbe eine Alpha-Beurteilung (97,1 % bzw. 91,2 %).

6. Biokompatibilität

Um mögliche Risiken hinsichtlich Biokompatibilität von vornherein so weit wie möglich zu minimieren, wird bei der Entwicklung darauf geachtet, vor allem Rohstoffe einzusetzen, die sich seit Jahren in dentalen Kunststoffmaterialien *in vivo* bewährt haben. Deswegen kann für die Bewertung der toxikologischen Eigenschaften von Tetric EvoCeram Bulk Fill auch auf Erfahrungen mit bewährten dentalen Composites und deren Inhaltstoffe zurückgegriffen werden.

6.1 Zytotoxizität

Proben von Tetric EvoCeram Bulk Fill wurden im RPMI 1640 Zellkulturmedium gemäss ISO 10993-12 extrahiert. Danach wurden L929 Zellen während 24 Stunden mit diesem Extrakt in Kontakt belassen. Mit der Hilfe von Tetrazolium-Farbstoff (XTT) wurde dann die Vitalität dieser Zellen gemessen. Extrakte des Prüfkörpers Tetric EvoCeram Bulk Fill zeigten keine relevanten Effekte auf die Zellkulturen. Tetric EvoCeram Bulk Fill kann somit als nicht zytotoxisch eingestuft werden.

6.2 Mutagenität

Extrakte von Proben mit der gleichen Monomierzusammensetzung wurden mittels Rückmutationstests (Ames Test) untersucht. In keinem dieser Tests wurden Anzeichen einer mutagenen Aktivität beobachtet. Ebenso wurde Ivocerin[®] ausführlich geprüft. Auch für diesen Rohstoff gibt es keinerlei Anzeichen einer mutagenen Aktivität.

6.3 Irritation und Sensibilisierung

Wie nahezu alle lighthärtenden Dentalmaterialien enthält Tetric EvoCeram Bulk Fill Methacrylate und Dimethacrylate. Diese Materialien können, vor allem in unausgehärtetem Zustand, irritierend wirken und zu Sensibilisierungen führen. Diese Sensibilisierungen können in Folge zu allergischen Reaktionen führen, wie zum Beispiel zu Kontaktdermatitis. Allergische Reaktionen sind äusserst selten bei Patienten, kommen jedoch häufiger beim Dentalpersonal vor, das täglich mit unausgehärtetem Composite arbeitet. Diese Reaktionen können durch saubere Arbeitsbedingungen und das Vermeiden von Hautkontakt mit unpolymerisiertem Material vermieden werden. Hierbei ist zu beachten, dass auch handelsübliche medizinische Handschuhe keinen wirksamen Schutz gegen den sensibilisierenden Effekt von Methacrylaten bieten.

Bei erwiesener Allergie eines Patienten gegen Bestandteile von Tetric EvoCeram Bulk Fill ist das Legen von Füllungen mit dem Material kontraindiziert.

6.4 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Daten lassen den Schluss zu, dass Tetric EvoCeram Bulk Fill bei sachgerechtem Gebrauch kein Gesundheitsrisiko darstellt. Um dies zu gewährleisten, sind auch die entsprechenden Hinweise und Angaben in der Gebrauchsinformation zu berücksichtigen und zu beachten.

7. Literatur

1. Bowen R. Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of Bis phenol and glycidyl acrylate. 1962; Patent No. 3,066,112
2. Buonocore M. Adhesive sealing of pits and fissures for caries prevention, with use of ultraviolet light. *J Am Dent Assoc* 1970;80:324-330
3. Bassiouny M, Grant A. A visible light-cured composite restorative. Clinical open assessment. *Br Dent J* 1978;145:327-330
4. Terry D, Leinfelder K, Blatz M. A comparison of advanced resin monomer technologies. *Dent. Today* 2009 28 (7) 122-123
5. Lutz F, Phillips RW, Roulet J-F, Imfeld T. Composites - Klassifikation und Wertung. *Schweiz Mschr Zahnheilk* 1983;93:914-929
6. Michl R, Wollwage P. Werkstoff für Dentalzwecke. 1975; Patent No. DT 24 03 211 A1
7. Suzuki S, Leinfelder K, Kawai K, Tsuchitani Y. Effect of particle variation on wear rates of posterior composites. *Am J Dent* 1995;8:173-178
8. Polydorou O, Manolakis A, Hellwig E, Hahn P. Evaluation of the curing depth of two translucent composite materials using a halogen and two LED curing units. *Clin Oral Invest.* 2008; 12:45-51
9. Schenck L, Burtscher P, Vogel K, Weinhold H-C. Major breakthrough in the field of direct posterior composite resins - thanks to the combined use of Tetric EvoCeram Bulk Fill and Bluephase Style. *Special Feature DZW.* 2011 38/11 3-15
10. Pilo R, Oelgiesser D, Cardash H. A survey of output intensity and potential for depth of cure among light-curing units in clinical use. *J Dent* 1999; 27:235-259
11. Sakaguchi R, Douglas W, Peters M. Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent* 1992; 20: 183-8
12. Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites. *J Dent Res* 1994; 73:516-521
13. Burtscher P. Visible light curing of composite resin. In : Ivoclar Vivadent Report No. 18 2007, August:29-39
14. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. *Dent Mater* 1992; 8:299-304
15. Watts D, Amer O, Combe E. Characteristics of visible light-activated composite systems. *Br Dent J* 1984, 156: 209-215
16. Zawawi S, Brulat N, Nathanson D, Curing duration vs. depth of cure and modulus of bulk fill composites. *IADR Abstract* 121. Brazil 2012.
17. Watts D, Marouf A, Al-Hindi A. Photo-polymerisation shrinkage stress kinetics in resin-composites: methods development, *Dent Mater* 19: 1-11 2003
18. Hickel R, Peschke A, Tyas M, Mjor I, Bayne S, Peters M, et al. FDI World Dental Federation: clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations-update and clinical examples. *J Adhes Dent* 2010;12:259-272
19. Hickel R, Roulet JF, Bayne S, Heintze SD, Mjor IA, Peters M, et al. Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. Science Committee Project 2/98--FDI World Dental Federation study design (Part I) and criteria for evaluation (Part II) of direct and indirect restorations including onlays and partial crowns. *J Adhes Dent* 2007;9 Suppl 1:121-147.
20. Burtscher P, Rheinberger V. Germanium based photoinitiator as an alternative to camphorquinone/amine. *IADR Abstract* 2008. 1611

21. Moszner N, Fischer U, Ganster B, Liska R, Rheinberger V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. Dent Mater.2008. Jul 24 (7) 901-7
22. Vogel K, Rheinberger V. Shrinkage and contraction force of bulk filling and microhybrid composites. AADR Abstract, 858, Florida 2012
23. The Dental Advisor 2012, June, Vol. 29, Nr 5
24. The Dental Advisor 2013, December, Vol. 30, Nr 10
25. Peschke A. Ein neues Bulk-Fill-Material in der klinischen Anwendung. DZW 2013; 45/13, 10-11

Wir stehen nicht für die Genauigkeit, den Wahrheitsgehalt oder die Zuverlässigkeit der von Dritten stammenden Informationen ein. Für den Gebrauch der Informationen wird keine Haftung übernommen, auch wenn wir gegenteilige Informationen erhalten. Der Gebrauch der Informationen geschieht auf eigenes Risiko. Sie werden Ihnen "wie erhalten" zur Verfügung gestellt, ohne explizite oder implizite Garantie betreffend Brauchbarkeit oder Eignung (ohne Einschränkung) für einen bestimmten Zweck.

Die Informationen werden kostenlos zur Verfügung gestellt und weder wir, noch eine mit uns verbundene Partei, können für etwaige direkte, indirekte, mittelbare oder spezifische Schäden (inklusive aber nicht ausschliesslich Schäden auf Grund von abhanden gekommener Information, Nutzungsausfall oder Kosten, welche aus dem Beschaffen von vergleichbare Informationen entstehen) noch für pönale Schadenersätze haftbar gemacht werden, welche auf Grund des Gebrauchs oder Nichtgebrauchs der Informationen entstehen, selbst wenn wir oder unsere Vertreter über die Möglichkeit solcher Schäden informiert sind.

Ivoclar Vivadent AG
Forschung & Entwicklung
Wissenschaftlicher Dienst
Bendererstrasse 2
FL - 9494 Schaan
Liechtenstein

Inhalt: Joanna-Claire Todd / Dr. Marion Wanner
Datum: März 2014
Ersetzt Version: Februar 2013