

BRIGITTE ZIMMERLI
MATTHIAS STRUB
FRANZISKA JEGER
OLIVER STADLER
ADRIAN LUSSI

Klinik für Zahnerhaltung,
Präventiv- und Kinderzahnmedizin,
Zahnmedizinische Kliniken,
Universität Bern

Korrespondenzadresse

Dr. Brigitte Zimmerli
Klinik für Zahnerhaltung,
Präventiv- und Kinderzahnmedizin
Freiburgstrasse 7, 3010 Bern
Tel. +41 31 632 25 80
Fax +41 31 632 98 75
E-Mail:
brigitte.zimmerli@zmk.unibe.ch

Schweiz Monatsschr Zahnmed 120:
980–986 (2010)

Zur Veröffentlichung angenommen:
26. April 2010

Kompositmaterialien: Zusammensetzung, Eigenschaften und klinische Anwendung

Eine Literaturübersicht

Schlüsselwörter: Komposit, Siloran, Ormocer, Kompomer

Zusammenfassung Verschiedene Kompositmaterialien stehen heute für die direkte Füllungs-technologie zur Verfügung. Am bekanntesten sind sicherlich die Hybridkomposite. Diese Technologie, basierend auf Methacrylaten und verschiedenen Füllertypen, welche mit Silanen verbunden sind, wurde fortlaufend verbessert. Negativ wirken sich immer noch die Polymerisationsschrumpfung, die Bakterienadhäsion sowie mögliche Nebenwirkungen durch freigesetzte Monomere aus. Das Bestreben der Materialentwicklung besteht darin, diese nachteiligen Faktoren durch Veränderungen der einzelnen Materialkomponenten zu eliminieren oder wenigstens zu verringern. Mit den Ormoceren wurde die Methacrylatmatrix durch ein anorganisches Netzwerk teilweise ersetzt. Gemäss aktuellen Studien konnte die Biokompatibilität nicht in jedem Fall erhöht werden. Mit der Entwicklung der Kompomere wurde versucht, die

positiven Eigenschaften von Glasionomerelementen mit denen der Komposittechnologie zu verbinden. Dies ist nur teilweise geglückt, da die Fluoridfreisetzung sehr bescheiden ist, aber dennoch im In-situ-Versuch eine kariesprotektive Wirkung – zumindest in den ersten Tagen nach Füllungslegung bei gleichzeitigen Demineralisationsprozessen extraoral – zeigt. Durch den Ersatz der kettenförmigen Monomere in der Kompositmatrix durch ringförmige Moleküle wurde ein neuer Ansatz in der Reduktion der Polymerisationsschrumpfung untersucht. Eine neue Materialgruppe, die Silorane, wurde entwickelt. Silorane sind hydrophob und müssen mit einem spezifischen Adhäsivsystem mit der Zahnhartsubstanz verbunden werden. Langfristige klinische Studien müssen die Überlegenheit der neuen Materialgruppen gegenüber modernen Hybridkomposits noch beweisen.

Einleitung

Nach der Etablierung von Komposit als Füllungsmaterial wurde versucht, die verschiedenen Komposittypen anhand der Füllergrosse zu kategorisieren (LUTZ & PHILIPS 1983). Diese Einteilung wird den heutigen Kompositen nicht gerecht, da die meisten eingesetzten Kompositmaterialien zu den Nanokompositen oder nanogefüllten Hybridkompositen beziehungsweise Mikrohybridkompositen gehören. Zwar sind Kenntnisse

von Füllerform und -gehalt noch immer von Bedeutung, die Entwicklung verschiedener Matrixkomponenten drängt aber eine zusätzliche Einteilung der Materialien auf (Tab. I). Vielen Zahnärzten fehlt eine sachliche Information über Untergruppen wie Silorane und Ormocere. Die vorliegende Arbeit soll die Eigenschaften der aktuell auf dem Markt befindlichen lichterhärtenden, plastischen Füllungsmaterialien aufzeigen und Hilfestellung bezüglich Verarbeitung und Anwendung bieten.

Tab. I Einteilung der Komposite nach Matrixkomponente

Matrix	Chemisches System	Gruppe	Materialbeispiel
Konventionelle Matrix	Reine Methacrylate	Hybridkomposite	Tetric EvoCeram®
		Nanokomposite	Filtek supreme XT®
Anorganische Matrix	Anorganische Polykondensate	Ormocere	Admira® Definite®
Säuremodifizierte Methacrylate	Polare Gruppen	Kompomere	Dyract eXtra®
Ringöffnende Epoxide	Kationische Polymerisation	Silorane	Filtek Silorane®

Material und Methoden

Anhand der aktuell verfügbaren Literatur wurde versucht, die Eigenschaften der unterschiedlichen Kompositmaterialien aufzuzeigen und zu charakterisieren. Zudem wird ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen gewagt. In der elektronischen Datenbank Pubmed wurde nach wissenschaftlichen Artikeln zu den verschiedenen Füllungsmaterialien gesucht. Die Suche erfolgte in der Zeitperiode März bis Mai 2009. Als Stichwörter dienten «composite restoration», «ormocer», «silorane», «compomers». Nach Durchsicht der Artikel wurden die Suchoption «related articles» auf Pubmed sowie eine Handsuche zur Komplettierung der Literatur beigezogen.

Anforderungen an ein Füllungsmaterial

Bei allen Materialentwicklungen dürfen die grundsätzlichen Anforderungen an ein zahnärztliches Füllungsmaterial nicht in Vergessenheit geraten: Jedes Füllungsmaterial muss gute optische Eigenschaften aufweisen, und die physikalischen Eigenschaften sollten denjenigen der Zahnhartsubstanz entsprechen. Die Verschleissfestigkeit und die Wirkung auf den Antagonisten sollten idealerweise ähnlich den Eigenschaften des Schmelzes sein. Wichtig ist zudem, dass das Material im Röntgenbild deutlich von der Zahnhartsubstanz unterschieden werden kann. Die Verarbeitungseigenschaften sollen günstig sein, und es ist wünschenswert, dass das Material mit einfachen Mitteln gut polierbar ist. Ebenfalls muss ein suffizienter Verbund mit der Zahnstruktur oder allenfalls einem Haftvermittler eingegangen werden. Natürlich soll das Füllungsmaterial geschmacksneutral und möglichst biokompatibel sein. Die meisten Anforderungen werden in ISO-Standards (ISO-Norm 4049) festgehalten. Die zulässige Bandbreite für die Dentalprodukte ist aber sehr gross und kann so zur Zulassung von Produkten führen, die einzelnen Anforderungen nur knapp genügen.

Komposit

Komposit (componere = zusammensetzen) ist das universelle zahnfarbene, direkte Füllungsmaterial (Abb. 1a und 1b). Komposite wurden entwickelt, indem 1962 Dimethacrylate (Epoxidharz und Methacrylsäure) mit silanisierendem Quarzmehl versehen wurden (BOWEN 1963). Kompositrestaurationen sind dank ihrer Eigenschaften (Ästhetik und Vorteile der Adhäsivtechnik) heute anstelle der Amalgamfüllungen gerückt.

Das Material besteht aus drei Komponenten: der Harzmatrix (organischer Anteil), den Füllstoffen (anorganische Anteile) und der Verbundphase.

Die Harzmatrix besteht meistens aus Bis-GMA (Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat). Da Bis-GMA alleine hochviskös ist, wird es in unterschiedlicher Zusammensetzung mit kurzkettingeren Monomeren wie z. B. TEGDMA (Triethylenglycol-Dimethacrylat) gemischt. Je niedriger der Anteil an Bis-GMA und je höher der Anteil von TEGDMA, umso höher ist die Polymeri-



Abb. 1a Ausgangssituation: Zahnhartsubstanzverlust durch Tooth wear und deutliche Verfärbungen. Die Patientin stört sich am ästhetischen Erscheinungsbild.



Abb. 1b Ästhetische Verbesserung der Ausgangssituation durch Homebleaching und direkte Kompositverblendungen (Hybridkomposit: Miris®). Die Krone bei Zahn 43 wurde belassen und der verfärbte Zahnhals mit Hybridkomposit unter Verwendung einer Opakerfarbe maskiert.

sationsschrumpfung (GONÇALVES ET AL. 2008). Der Ersatz von Bis-GMA mit TEGDMA erhöht die Zug-, aber vermindert die Biegefestigkeit (ASMUSSEN & PEUTZFELDT 1998). Monomere können aus dem Füllungsmaterial freigesetzt werden. Eine längere Lichtpolymerisation führt zu einer besseren Konversionsrate (Verkettung der einzelnen Monomere) und damit zu einer niedrigeren Monomerfreisetzung (SIDERIOU & ACHILIAS 2005).

Die Füller bestehen aus Quarz, Keramik und/oder Siliziumdioxid. Mit Zunahme des Fülleranteils sinken die Polymerisationsschrumpfung, der lineare Expansionskoeffizient und die

Tab. II Einteilung der Komposite nach Füllerpartikeln (nach LUTZ & PHILIPS 1983)

Füller	Makrofüller (> 10 µm)	Mikrofüller (0,01–0,1 µm)	Mikrofüllerkomplexe
Komposittyp	Makrofüllerkomposit	Hybridkomposit	Homogenes Mikrofüllerkomposit
Eigenschaften	+ physikalische Eigenschaften + Röntgenopazität – Polierbarkeit – Verschleissfestigkeit	+ Röntgenopazität + Polierbarkeit + physikalische Eigenschaften – Polymerisationsschrumpfung	+ Polierbarkeit – Verschleissfestigkeit – Wasseraufnahme – Röntgenopazität – Polymerisationsschrumpfung
Anwendung	Aufbauauffüllung unter indirekter Restauration? Heute keine Indikation mehr	Füllungen aller Klassen	Kleine Frontzahnfüllungen, Klasse V
Beispiel	Prisma-Fil®	Tetric Ceram®	Filtek A110®
+: positive Eigenschaft, genügende Leistung -: negative Eigenschaft, ungenügende Leistung			

Wasseraufnahme. Hingegen steigen im Allgemeinen mit zunehmendem Fülleranteil die Druck- und Zugfestigkeit, der Elastizitätsmodul und die Verschleissfestigkeit (KIM ET AL. 2002). Der Füllergehalt in einem Komposit wird mitunter durch die Form der Füller bestimmt. In einer Studie mit unterschiedlichsten Kompositmaterialien zeigten die Restaurationsmaterialien mit vorpolymerisierten Kompositfüllern den niedrigsten Füllergehalt und damit auch die niedrigste Biegefestigkeit und Härte. Komposite mit runden Füllern zeigten den grössten Füllergehalt auf, was assoziiert war mit Härte und grosser Biegefestigkeit. Bei gemischten Füllerpartikeln (Hybridkomposite) gab es keinen linearen Zusammenhang zwischen Füllergehalt und Biegefestigkeit (KIM ET AL. 2002). In einer Studie über 72 Restaurationsmaterialien konnte ebenfalls gezeigt werden, dass das Füllervolumen einen deutlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften hat. Am deutlichsten war der Zusammenhang von Füllergehalt und Biegefestigkeit sowie Elastizitätsmodul (ILIE & HICKEL 2009a).

Die Materialeigenschaften werden weiter durch den stabilen Verbund der Füller zur Matrix beeinflusst. Die Qualität des Verbundes beeinflusst die Abrasionsresistenz des Füllungsmaterials (MANHART ET AL. 2000). Die Verbundphasenmoleküle haben eine Silangruppe an einem und eine Methacrylatgruppe am anderen Ende und können so eine chemische Verbindung sowohl mit dem Füller als auch mit der Harzmatrix eingehen. Eine Silanisierung der Füller ist wichtig für die Materialfestigkeit (IKEJIMA ET AL. 2003).

Die noch immer populäre Klassifikation nach LUTZ & PHILIPS (1983) erlaubt die Einteilung der Komposite bezüglich ihrer Füllergrosse (Tab. II). Die Verwendung von Nanopartikeln und Nanoklustern soll die Langzeitstabilität eines Hybridkomposits und die Politüreigenschaften eines Mikrofüllerkomposits ermöglichen. Die mechanische Stabilität wird wie bei Hybridkompositen durch grössere Füllerpartikel – den Nanokluster – erreicht. Durch Abrasion gehen oberflächliche Fülleranteile verloren. Die Nanokluster der Nanokomposite zerfallen dabei in Nanopartikel. Diese sind kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Es konnte gezeigt werden, dass der Oberflächenglanz nach Abriebprüfungen bei Kompositen mit Füllerpartikeln <0,4 µm länger erhalten bleibt (MITRA ET AL. 2003). Noch weitgehend unbekannt ist das toxische Potenzial der Nanofüller, da Nanopartikel in Zellen aufgenommen werden können (KOENEMAN ET AL. 2009).

Durch spezifische Modifikationen wird versucht, die antimikrobiellen und kariesinhibierenden Eigenschaften des Füllungsmaterials zu verbessern. Fluorid ist als kariesprotektive Sub-

tanz in der Zahnmedizin längst bekannt. Zunächst wurden lösliche, fluoridhaltige Salze (NaF, KF, SrF₂, SnF₂) in die Matrix gegeben (SWARTZ ET AL. 1976). Diese Salze geben zwar in der ersten Zeit Fluorid ab, doch nimmt dieser Effekt schnell deutlich ab. Zudem wirken sich die fluoridhaltigen Salze in der Matrix nachteilig auf die mechanischen Eigenschaften des Füllungsmaterials aus. Später wurden fluoridhaltige Füllungsmaterialien verwendet (Fluoroaluminiumsilikat-Glas, YbF₃) (XU & BURGESS 2003). Zurzeit verwenden nahezu alle Fluorid abgebenden Komposite und Kompomere diesen Füllertyp. Die Verwendung von fluoridhaltigen Füllern und die zusätzliche Lösung von Tetrabutylammonium-Fluorid (TBAF) in der Monomer-Matrix führt im In-vitro-Versuch zu einer Verbesserung der Abgabe und Wiedereinlagerung des Füllungsmaterials von Fluorid (XU ET AL. 2006). Zudem sind die mechanischen und physikalischen Eigenschaften dieses Füllungsmaterials akzeptabel, während einer alleinigen Beigabe von TBAF zur Matrix in einer Verschlechterung dieser Eigenschaften resultiert (GLASSPOLE ET AL. 2001, XU ET AL. 2006). Weiter wird versucht, antimikrobielle Substanzen in das Füllungsmaterial einzubringen. Mischt man Chlorhexidin bei, so wirkt sich dies negativ auf die mechanischen Eigenschaften des Materials aus. Ebenso könnten Silberionen beigefügt werden. Durch Beimischung von Silberionen konnte eine sehr gute Wirkung gegen *S. mutans* gezeigt werden (YOSHIDA ET AL. 1999). Die antimikrobiellen Eigenschaften werden schon lange Zeit bei der Imprägnierung kariöser Milchzähne mit Silbernitrat ausgenutzt. Silber hat jedoch einen ungünstigen Einfluss auf die Farbe des Restaurationsmaterials, was wiederum durch andere Stoffe maskiert werden muss.

Dank der vielfältigen Modifikationen ihrer Erfindung vor bald 50 Jahren erweisen sich die heutigen Kompositmaterialien in der Praxis bei korrekter Anwendung (Trockenlegung, Schichttechnik und suffiziente Polymerisation) als zuverlässige Füllungsmaterialien für nahezu alle Einsatzbereiche.

Ormocer

Die Ormocere, eine Wortschöpfung aus organically modified ceramic, sind ursprünglich für Naturwissenschaft und Technik entwickelt worden (z. B. zur Oberflächenveredelung wie Schutzschicht, Anti-Haftschiicht, Anti-Statikschiicht, Anti-Reflexschiicht). Sie sollen im Vergleich zu den konventionellen Kompositen verbesserte Eigenschaften bezüglich Polymerisationsschrumpfung haben und somit einen besseren Randschluss aufweisen. Die Matrix der Ormocere besteht im Gegensatz zu herkömmlichen Kompositen nicht nur aus einem organischen, sondern

auch aus einem anorganischen Netzwerk, das die Monomere besser einbetten und zu einer niedrigeren Monomerfreisetzung führen soll.

Ormocere bestehen grundsätzlich aus drei Komponenten – den organischen und den anorganischen Komponenten sowie den Polysiloxanen – wobei sich mit unterschiedlicher Beimengung der drei Gruppen die mechanischen, thermischen sowie optischen Eigenschaften steuern lassen:

1. Die organischen Polymere beeinflussen die Polarität, Vernetzungsvermögen, Härte und optisches Verhalten.
2. Die Gläser und Keramikanteile (anorganische Bestandteile) sind verantwortlich für die thermische Ausdehnung sowie die chemische und thermische Stabilität.
3. Die Polysiloxane beeinflussen die Elastizität, die Grenzflächeneigenschaften und die Verarbeitung.

Die anorganischen Bestandteile sind mit multifunktionalen Silanmolekülen an die organischen Polymere gebunden. Die Methacrylatgruppen des organischen Anteils bilden nach der Polymerisation eine dreidimensionale Vernetzung.

Trotz aller Bemühungen, mit den Ormoceren ein verbessertes Füllungsmaterial zu entwickeln, schnitten sie im Vergleich zu den heute gebräuchlichen Hybridkompositen nach zyklischer Belastung hinsichtlich der okklusalen und zervikalen Adaptation in der Labortestung deutlich schlechter ab (KOURNETAS ET AL. 2004). Im klinischen Fünfjahresvergleich von Admira® (Ormocer) zu Tetric Ceram® (Hybridkomposit) konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (BOTTENBERG ET AL. 2009). Ormocere haben im Vergleich zu den Hybridkompositen bei gleichem Füllergehalt eine verminderte Polymerisationsschrumpfung (YAP & SOH 2004) oder bei niedrigerem Füllergehalt eine gleiche Schrumpfung wie konventionelle Komposite (CATTANI-LORENTE ET AL. 2001).

Mit klinischen Tests untersuchten ROSIN ET AL. (2003, 2007) die «In-vivo»-Qualität von Ormocerfüllungen in Ein- und Zweijahresevaluationen. Die klinische Anwendung war akzeptabel, jedoch mit Vorbehalten gegenüber der marginalen Adaptation und bei Klasse-V-Versorgungen infolge mangelnder Adhäsion.

Dagegen erkannte eine weitere Studie keinen Unterschied bezüglich fehlerhaften Versorgungen zwischen Ormoceren und Bis-GMA-basierenden Systemen (BOTTENBERG ET AL. 2007, 2009). In der Fünfjahreskontrolle zeigte sich allerdings bei einem von zwei Ormocermaterialien eine deutlich stärkere Verfärbungstendenz als bei den anderen Materialien (BOTTENBERG ET AL. 2009). Eine andere Einjahresstudie stellte fest, dass ein Ormocer (Definite®) im Vergleich zu einem konventionellen Komposit bei Klasse-II-Füllungen die Anforderungen an die Lebensdauer der Restauration nicht erfüllt. Es mussten zahlreiche Füllungen schon innerhalb des ersten Jahres ausgetauscht werden (OBERLÄNDER ET AL. 2001).

Bezüglich der Zytotoxizität untersuchten AL-HIYASAT ET AL. (2005) drei verschiedene Füllungsmaterialien (Admira®, Z250®, Tetric Ceram®) und deren Flowables auf ihre Zytotoxizität. Das Ormocerfüllungsmaterial (Admira®) zeigte die höchste Zytotoxizität unter den Standardkompositen, jedoch die niedrigste bei den Flowables. Dies wurde in einer anderen Studie widerlegt, in der gezeigt werden konnte, dass das Ormocer (CeramX®) gegenüber einem Nanohybridkomposit (Filtek supreme XT®) oder einem Autopolymerisat (Clearfil Core®) deutlich weniger Monomere wie Bis-GMA, TEGDMA oder UDMA freisetzte (POLYDOROU ET AL. 2009).

Die Ormocere sind bezüglich Mikrohärtigkeit mit Hybridkompositen vergleichbar, schneiden jedoch bei der Abrasionsstabilität schlechter ab (SAY ET AL. 2003). Dies steht im Gegensatz zu Untersuchungen, welche einen geringeren Verschleiss bei Ormoceren feststellen konnten (TAGTEKIN ET AL. 2004, YAP ET AL. 2004a) (Abb. 2a–2c).

Kompomer

Die Wortschöpfung Kompomer setzt sich aus **Komposit** und **Glasionomer** zusammen. Bei diesem Material handelt es sich um ein polyacryl-/polycarbonsäuremodifiziertes Komposit. Kompomere setzen sich aus Komposit- und Glasionomerbestandteilen zusammen. Es wird versucht, von den positiven Eigenschaften der beiden Materialien zu profitieren: von den Glasionomern die Fluoridabgabe und die einfache



Abb. 2a Zahn-/Füllungsfraktur bei Zahn 46.



Abb. 2b Nach Exkavation ist der hohe Zerstörungsgrad ersichtlich. Die finanziellen Mittel sind eingeschränkt.



Abb. 2c Direkter Kompositaufbau (nanogefülltes Hybridkomposit mit teilweise Ormocermatrix: CeramX®) mit rein adhäsiver Befestigung.



Abb. 3a Nichtanlage 22, Zahn 23 musste aufgrund von Karies profundissima endodontisch behandelt werden. Die finanziellen Mittel sind eingeschränkt.



Abb. 4 Versorgung einer Milchzahnkaries mit einem grün glitzernden Kompomer (Twinky star®).



Abb. 3b Kosmetische Verlängerung des Gingivasaumens 23 nach koronal mit einem zahnfleischfarbenen eingefärbten Kompomer (Comp natur®). Zahn 24 wurde ebenfalls endodontisch behandelt und ist erst mit einer provisorischen Füllung versorgt.



Abb. 3c Der zervikale Rand von Zahn 23 wurde mit Kompomer (Comp natur®) restauriert. Der übrige Zahnaufbau ist mit einem Hybridkomposit erfolgt (Miris®).

Handhabung und von den Kompositen die guten Materialeigenschaften und die Ästhetik. Neben verschiedenen polymerisierbaren Monomeren (z. B. UDMA) enthält das Material Dikarbonsäuren, die aber im Unterschied zu den in herkömmlichen Glasionomern verwendeten Karbonsäuren polymerisierfähige Doppelbindungen aufweisen.

Aus der Glasionomertechnologie finden sich die reaktiven Fluoroaluminiumsilikatgläser im Kompomer wieder. Dabei variieren die Partikelgrößen der Füller der unterschiedlichen Produkte in einem Bereich von 0,2 µm bis teilweise 10 µm (ZANTNER ET AL. 2004). Kompomermaterialien weisen ohne Vorbehandlung der Zahnhartsubstanz mit einem Adhäsivsystem keine ausreichende Retention auf (FOLWACZNY ET AL. 2001a, MOODLEY & GROBLER 2003).

Die Zusammensetzung, Verbundmechanismen und Eigenschaften dieser Adhäsive unterscheiden sich nicht grundlegend von Haftvermittlern, die für Komposite empfohlen werden.

Die Abbindereaktion der Kompomere beruht vorwiegend auf der Polymerisation der sauren Monomeren. Die Säure-Basen-Reaktion, welche erst durch Wasseraufnahme startet, bleibt auf die oberflächlichen Schichten begrenzt.

Gewisse Materialeinfärbungen von Kompomeren (Comp natur®) können in engen Indikationen interessant für die Behandlung erwachsener Patienten sein (KALWITZKI & KRÄSTL 2007) (Abb. 3a-c). Kompomere eignen sich wegen der niedrigeren Abrasionsresistenz jedoch vor allem für Milchzahnrestaurationen (Abb. 4) (BERG 1998, ZANTNER ET AL. 2004, KRÄMER ET AL. 2006). Im Zahnhalsbereich zeigten Kompomerrestaurationen eine schlechtere Leistung als Hybridkomposite, aber besser als kunststoffmodifizierte Glasionomernomere (FOLWACZNY ET AL. 2000, FOLWACZNY ET AL. 2001a, b). Die Fluoridfreisetzung der Kompomere steigt initial (24 Stunden) rasch an, nimmt aber ebenso rasch wieder ab (PRESTON ET AL. 1999, VERMEERSCH ET AL. 2001, ASMUSSEN & PEUTZFELDT 2002, ITOTA ET AL. 2004). Diskutiert wird die Fluoridregeneration des Kompomers durch Fluorid aus der Umgebung, was eine längere Kariesprävention bedeuten würde (VIEIRA ET AL. 1999). Im In-situ-Versuch konnte gezeigt werden, dass die Kariesentwicklung bei einer Kompomerrestaurations (Dyract eXtra®) im Vergleich zur Kompositrestaurations (Spectrum TPH®) geringer ist. Die Fluoridabgabe über 28 Tage wirkt sich zudem hemmend auf die Kariesentwicklung des Nachbarzahnes aus (LENNON ET AL. 2007). Es konnte zudem gezeigt werden, dass die Fluoridabgabe in den Speichel bei jungen permanenten Zähnen niedriger ist als bei Milchzähnen. Es wird daher angenommen, dass junge permanente Zähne mehr Ionen in den Schmelz einlagern können (GJORGIEVSKA ET AL. 2008). Eine klinische Studie fand hingegen keinen Unterschied in der Entwicklung neuer Karies bei Kindern, die Kompomerrestaurationen erhielten, im Vergleich zu Kindern, bei welchen Amalgamfüllungen gelegt wurden (TRACHTENBERG ET AL. 2009). Die Fluoridregeneration wird vor

allem durch die Glaskomponente und die Hydrogelschichtumgebung bestimmt. Die Hydrogelschichtumgebung ihrerseits ist von der Säure-Base-Reaktion abhängig (HAN ET AL. 2002, ITOTA ET AL. 2004). So ist die Fluoridabgabe sowie dessen Wiedereinlagerung von Glasionomern über Kompolymere zu Kompositen absteigend (ASMUSSEN & PEUTZFELDT 2002, ITOTA ET AL. 2004).

Die erhöhte Wasseraufnahme der Kompolymere gegenüber konventionellen Kompositen führt insbesondere im Frontzahnbereich zu störenden Randverfärbungen. Für grossflächige Aufbaufüllungen sind Kompolymere aufgrund ihres ungünstigen Abrasionsverhaltens ebenfalls kontraindiziert (HSE & WEI 1997, WUCHER ET AL. 2002, YAP ET AL. 2004b).

Siloran

Die Wortschöpfung dieser Stoffklasse verweist auf ihre chemische Zusammensetzung aus **Siloxanen** und **Oxiranen**. Ziele dieser Produktklasse sind niedrigere Schrumpfung, längere Lichtbeständigkeit und weniger Randverfärbungen. Die ringförmige Monomerstruktur der Silorane unterscheidet sich deutlich von den kettenförmigen Monomeren der Hybridkomposite.

Die hydrophoben Eigenschaften des Materials werden durch die Siloxane verursacht. Exogene Verfärbung und Wasseraufnahme werden dadurch vermindert. Die Oxiranringe bestimmen die physikalischen Eigenschaften und die geringe Schrumpfung. Die Vernetzung der Silorane erfolgt über Kationen im Gegensatz zu den Methacrylaten, die sich über Radikale verbinden. Das Photoinitiationssystem basiert auf drei Komponenten: dem lichtabsorbierenden Kampherchinon, einem Elektronendonator (z. B. Amin) und einem Iodoniumsalz. Das Kampherchinon wird angeregt und reagiert mit dem Elektronendonator, welcher in einem Redoxprozess das Iodoniumsalz in ein saures Kation umwandelt. Dieses startet den ringöffnenden Prozess der Oxirane. Die Ringöffnung der Oxirane während der Polymerisation kompensiert zu einem gewissen Teil die Polymerisationsschrumpfung. Der Füller bei Filtek Silorane®, dem zur Zeit einzigen auf dem Markt befindlichen Siloranmaterial, besteht aus 0,1–2,0 µm grossen Quarzpartikeln und radioopakem Yttriumfluorid.

Eine umfassende Studie über Filtek Silorane® liegt von WEINMANN ET AL. (2005) vor: Sie belegt die geringe Schrumpfung (<1%) und eine bis zu 7× längere Lichtstabilität des Silorans im Vergleich zu Methacrylaten. Die niedrige Schrumpfung von

Siloranen führt zu einer geringeren Kontraktionsspannung (ERNST ET AL. 2004, BOUILLAGUET ET AL. 2006, ILIE ET AL. 2007). Das siloranbasierende Füllungsmaterial weist eine niedrige Wasseraufnahme und Wasserlöslichkeit auf (PALIN ET AL. 2005). Im Zusammenhang mit der hydrophoben Eigenschaft von Siloranen kann eine geringe bakterielle Adhäsion von Streptokokken auf Füllungsflächen beobachtet werden (BÜRGERS ET AL. 2009a). Silorane weisen eine gute Lagerstabilität in verschiedenen Medien auf und sind im Vergleich zu konventionellen Kompositen weniger anfällig auf Veränderungen, wenn sie in Ethanol gelagert werden (ILIE & HICKEL 2009b). Die Politurereigenschaften von Filtek Silorane® sind gut. Das Material zeigte wenig Farbveränderung nach künstlicher Alterung, und der Oberflächenglanz blieb erhalten (FURUSE ET AL. 2008).

Die klinische Applikation ist vorerst auf das Seitenzahngebiet beschränkt, da nur wenig Farben in einer Transluzenz erhältlich sind (Abb. 5a und 5b). Aufgrund der hydrophoben Eigenschaften muss für die Adhäsion der Siloranfüllung das entsprechende Adhäsivsystem verwendet werden. Die relativ hohe Viskosität wird von Zahnärzten unterschiedlich geschätzt. Unglücklich ist vorläufig die schwache Radioopazität, sodass es schwierig ist, die Füllungsbegrenzung auf dem Röntgenfilm klar zu erkennen (Abb. 5c und 5d).

Diskussion

In klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass die unterschiedlichen Füllungsmaterialien ähnliche Erfolgsraten aufweisen (ERNST ET AL. 2006, MAHMOUD ET AL. 2008). Die klinische Tauglichkeit von Filtek Supreme® (Nanokomposit), Tetric EvoCeram® (Nanohybridkomposit), Tetric Ceram® (Hybridkomposit) und Admira® (Ormocer) wurde anhand klinischer Parameter als gleichwertig eingestuft. Eine umfassende Untersuchung verschiedenster Füllungsmaterialien auf die physikalischen Eigenschaften (Biegefestigkeit, Druckfestigkeit und Zugfestigkeit) konnte grosse Unterschiede in derselben Materialgruppe nachweisen. Den grössten Einfluss auf die Materialeigenschaften hatte der Füllergehalt des Materials (ILIE & HICKEL 2009a). Eine Untersuchung über die Adhäsion von *C. albicans* auf der Materialoberfläche ergab eine erniedrigte Adhäsion des Pilzes auf der Oberfläche von Kompolymere und Ormoceren (BÜRGERS ET AL. 2009b). Es konnte in der Studie keine Korrelation zwischen Oberflächenrauigkeit, Oberflächenspannung und Adhäsion festgestellt werden. Hingegen scheint die Matrix-



Abb. 5a Ineffiziente Amalgamfüllung und deutliche erosive Defekte okklusal 17. Zahn 16 ist wurzelbehandelt und mit einer provisorischen Füllung versorgt.



Abb. 5b Füllung Klasse II mo bei 17 mit Siloran (Filtek Silorane®).



Abb. 5c Ausgangsröntgenbild des klinischen Falles der Abb. 5a–b. Die Amalgamfüllungen heben sich im Röntgenbild deutlich von der Zahnschubstanz ab.



Abb. 5d Schlussröntgenbild des klinischen Falles der Abb. 5a–b. Die Siloranfüllungen bei 17, 16 und 14 sind nur schwer von der Zahnschubstanz abzugrenzen. Demgegenüber zeigen die Hybridkompositfüllungen bei 15 und 47 einen wesentlich besseren Röntgenkontrast.

zusammensetzung für die Adhäsion entscheidender zu sein (BÜRGERS ET AL. 2009b). Für die Adhäsion von *S. mutans* scheinen zudem die hydrophoben Eigenschaften von Filtek Silorane® ungünstig zu sein (BÜRGERS ET AL. 2009b). In einem zukunftsorientierten Artikel stellen Jandt und Sigusch mögliche Weiterentwicklungen in der plastischen Füllungstechnologie vor (JANDT & SIGUSCH 2009). Sie setzen grosse Hoffnung in die Weiterentwicklung der Nanotechnologie und die Entwicklung von antimikrobiellen Materialien. Interessant wäre sicherlich die Verwirklichung der «smart materials». Das sind Füllungsmaterialien, die auf externe Reize direkt reagieren können (z. B. Abgabe antimikrobieller Substanzen bei pH-Abfall in der Füllungsumgebung). Forschung wird zudem auf dem Gebiet der selbstreparierenden Materialien und im Bereich der Materialkunde für Knochen und Zahnhartsubstanzregeneration betrieben (JANDT & SIGUSCH 2009). Die weiteren Materialentwicklungen müssen also interessiert, aber stets kritisch weiterverfolgt werden. Für die Praxis ist es wichtig, ein Füllungsmaterial erst dann zu ver-

wenden, wenn ausreichende klinische Daten über das Produkt verfügbar sind.

Die Entwicklung von leistungsstarken Füllungsmaterialien ist für den Erfolg der zahnärztlichen Therapie entscheidend. Dabei muss beachtet werden, dass neben dem Füllungsmaterial zusätzliche Aspekte für den Erfolg entscheidend sind. Dies sind ein zuverlässiges und korrekt angewendetes Adhäsivsystem, ein Patient, welcher eine gute Mundhygiene betreibt, und nicht zuletzt ein Zahnarzt, der die Werkstoffe sorgfältig und korrekt verarbeitet (HICKEL & MANHART 2001).

Verdankung

Frau Dr. A. Grüniger, Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin, wird herzlich für die zur Verfügungstellung der Abbildungen 5a–5d gedankt.

Literaturverzeichnis siehe englischen Text, Seite 978.