

### Zusammenfassung

Um einen guten Haftverbund auf lichthärtenden Kompositen zu erzielen, reichen die Einbeziehung der Schmierschicht beziehungsweise das Aufrauen mit einem Diamanten und die anschließende Applikation eines geeigneten Bondings aus. Einen guten Haftverbund zu industriell gefertigten CAD/CAM-Kompositen zu erzielen, ist etwas anspruchsvoller. Die zielführende Vorgehensweise ist hier Sandstrahlen und anschließende Applikation eines Universalbonds. Diese Vorgehensweise führt auch bei lichthärtenden Kompositen zum Erfolg.

### Indizes

Komposit, CAD/CAM-Komposit, Bonding, Primer, Füller

## Haftverbund zu Kompositen

**Ralf Böhner**

Komposite decken sowohl beim Zahnarzt als auch beim Zahntechniker ein breites Anwendungsspektrum ab. So breit gefächert die Anwendungen sind, so unterschiedlich ist auch die Zusammensetzung von Kompositen. Deshalb ist es nicht einfach, eine generelle Vorgehensweise zu definieren, die die optimale Befestigung zu diesen Kompositen beschreibt. Haftverbund zu Komposit kann eine Reparatur, die Charakterisierung mit Farben, Cut-Back-Technik oder die Befestigung auf keramischen Materialien bzw. Zahnschmelze betreffen.

Zuerst die Begriffsdefinition von Komposit. „Composit (von lateinisch compositio „Zusammenstellung, Anordnung“) steht für: Komposit (Zahnmedizin), zahnfarbenes, plastisches Zahnfüllungsmaterial, Kompositwerkstoff, Verbundwerkstoff aus zwei oder mehr verbundenen Materialien.“<sup>13</sup>

Generell bestehen dentale Komposite aus einem meist anorganischen Füller und einer Harzmatrix aus polymerisierten Methacrylaten. Bei einem modernen zahnfarbigen Füllungs material handelt es sich um eine Paste, die mittels Blaulicht ausgehärtet/polymerisiert werden kann. Solche pastösen Massen werden bei der Füllungstherapie eingesetzt, finden sich aber auch beim Zahntechniker, um indirekte Restaurationen herzustellen.

Mit dem Einzug der CAD/CAM-Technologie werden ausgehärtete Komposite immer häufiger (CAD/CAM-Blöcke) in der Zahntechnik für permanente Restaurationen verwendet.

### Einleitung

### Grundlagen



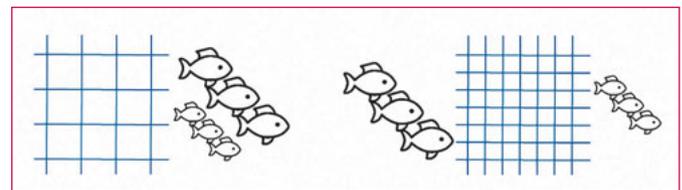
a



b

Abb. 1a und b Eine Auswahl an lichthärtenden Kompositen und CAD/CAM-Kompositblöcken.

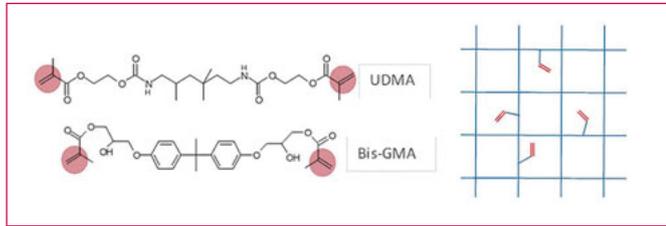
Abb. 2 Geringe Netzwerkdichte (links) bedeutet weite Maschen und alle Fische können das Netz passieren. Hohe Netzwerkdichte (rechts) bedeutet enge Maschen, nur kleine Fische können das Netz passieren.



Im Vergleich zu Keramiken haben Komposite den Vorteil, dass sie nicht gebrannt werden dürfen/müssen, reparierbar sind und neben guter Abrasionsresistenz auch schonend gegenüber dem Antagonisten sind.<sup>23</sup>

Härtet man identes Komposit mit einer Polymerisationslampe (Raumtemperatur, normaler Luftdruck) oder unter industriellen Bedingungen (erhöhte Temperatur, erhöhter Druck), dann unterscheidet es sich in seinen mechanischen Eigenschaften und seiner Morphologie. Die industrielle Aushärtung führt, im Vergleich zur Aushärtung mit einer Polymerisationslampe, zu besseren mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitiger Reduktion von Luft einschläüssen. Lichthärtende Komposite sind darauf optimiert, bei der Polymerisation möglichst wenig zu schrumpfen. Die physikalischen Eigenschaften haben nur zweite Priorität. Da bei der Herstellung von CAD/CAM-Kompositen der Polymerisationschumpf nur eine untergeordnete Rolle spielt, können die physikalischen Eigenschaften im Vergleich zu lichthärtenden Kompositen optimiert werden.<sup>3,19</sup>

Die Mechanik von CAD/CAM-Kompositen ist verbessert, da bei der Polymerisation bei erhöhter Temperatur mehr Methacrylatgruppen umgesetzt werden als bei der Polymerisation bei Raumtemperatur. Werden im Komposit difunktionelle Methacrylate eingesetzt, erhöht sich auch die Anzahl an Netzwerkpunkten (Netzwerkdichte). Eine höhere Netzwerkdichte erschwert es einem Bond, das zur Verbesserung der Adhäsion zum Komposit benutzt wird, in das Material einzudringen. Dieses Phänomen ist zu vergleichen mit einem Fischeretz: Geringe Netzwerkdichte bedeutet ein grobmaschiges Netz, bei dem alle Fische durch das Netz schwimmen können. Verringert man die Maschenweite (hohe Netzwerkdichte), dann kommen nur noch ganz kleine Fische durch das Netz (Abb. 2).



**Abb. 3** UDMA und Bis-GMA, zwei sehr oft in Kompositen eingesetzte Methacrylatmonomere, die bei der Polymerisation zu einem Netzwerk mit unpolymerisierten reaktiven Doppelbindungen (rot) führen.

Im ausgehärteten Komposit spielen unpolymerisierte Doppelbindungen (freie Methacrylate) eine wichtige Rolle für den Haftverbund zum Bond (Abb. 3). Geht man von einer Harzmatrix aus Methacrylatmonomeren aus, werden bei der Polymerisation ungefähr 80 % dieser Methacrylatgruppen umgesetzt (polymerisiert). Wird ein Bond auf der Basis von Methacrylatmonomeren auf die Kompositoberfläche appliziert, können die Doppelbindungen des Bonds bei der anschließenden Polymerisation mit Licht mit den verbleibenden Doppelbindungen im ausgehärteten Komposit co-polymerisieren und einen festen Verbund erzeugen.

Bei der Aushärtung von Kompositen mit Licht in Gegenwart von Luft bleibt auf der Oberfläche eine sogenannte Inhibitionsschicht zurück. Diese dient, ohne weitere Modifikation, als Haftvermittler zur nächsten Schicht Komposit. Man appliziert eine weitere Schicht lichthärtendes Komposit auf die Inhibitionsschicht. Beim anschließenden Aushärten wird diese Inhibitionsschicht zusammen mit der neuen Kompositenschicht polymerisiert, und es entsteht ein fester Verbund zwischen den beiden Schichten.<sup>6</sup>

Steht keine Inhibitionsschicht zur Verfügung (zum Beispiel bei einer Reparatur), dann können mittels Aufrauen mit einem Diamantschleifer oder, noch besser, Strahlen mit Korund (Aluminiumoxid) und unter Einsatz eines Haftvermittlers (Bond) sehr gute, verlässliche Ergebnisse erzielt werden. Idealerweise dringt der Haftvermittler in die Oberfläche des Komposits ein und polymerisiert später bei Lichteinwirkung zusammen mit noch im Komposit vorhandenen Doppelbindungen. Als Bond/Haftvermittler eignen sich viele Materialien, die auch für die Adhäsion zur Zahnschicht verwendet werden. Diese Bondings generieren oft nicht nur einen Haftverbund zur Harzmatrix, sondern auch zu den Füllern im Komposit.<sup>12,24</sup>

Industriell gehärtete CAD/CAM-Komposite stellen die Königsdisziplin für einen guten Haftverbund dar:

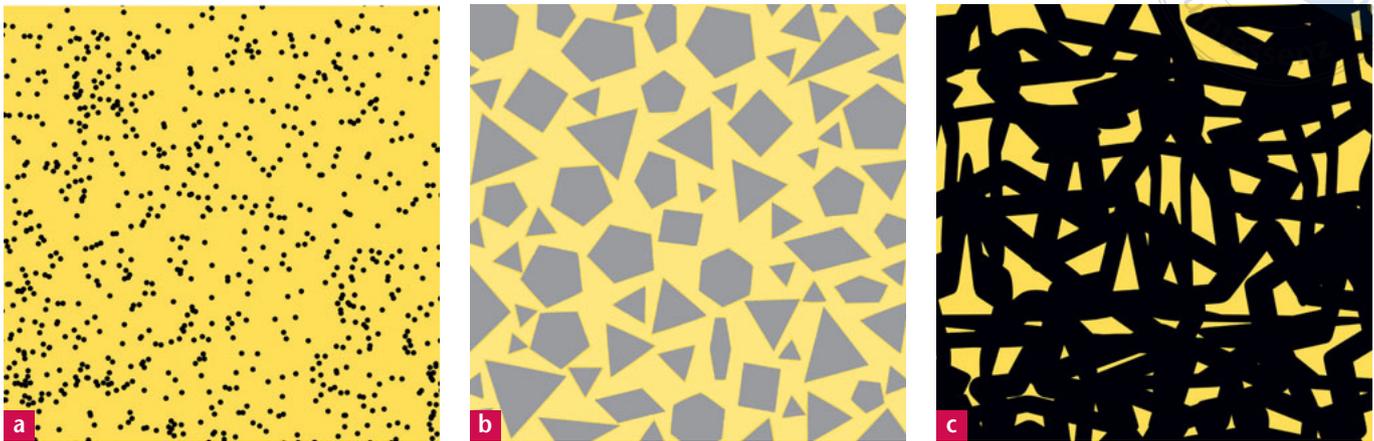
- hohe Netzwerkdichte,
- wenig nicht-polymerisierte Doppelbindungen,
- keine Inhibitionsschicht.

Also erschwerte Bedingungen, um einen Verbund zu schaffen. Dazu kommt eine verwirrende Bezeichnung dieser CAD/CAM-Komposite.

Komposite müssen klar von Acrylatmaterialien (PMMA-Blöcke) und Hybridkeramiken unterschieden werden. Acrylate können gefüllt sein, müssen es aber nicht. Acrylate sind

Verbund zu  
lichthärtenden  
Kompositen

Verbund zu industriell  
gehärteten CAD/CAM-  
Kompositen



**Abb. 4** Schematische Darstellung von links nach rechts: **a** Acrylat mit Nanoteilchen, **b** Komposit mit Füllern im Mikrometerbereich, **c** Hybridkeramik, bestehend aus einer porösen Keramik, deren Porositäten mit Polymer gefüllt sind.

nicht für den Einsatz als permanente Restaurationen geeignet. Die einzige wirkliche Hybridkeramik, die im Moment am Markt zu finden ist, ist VITA ENAMIC® (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) (Abb. 4).

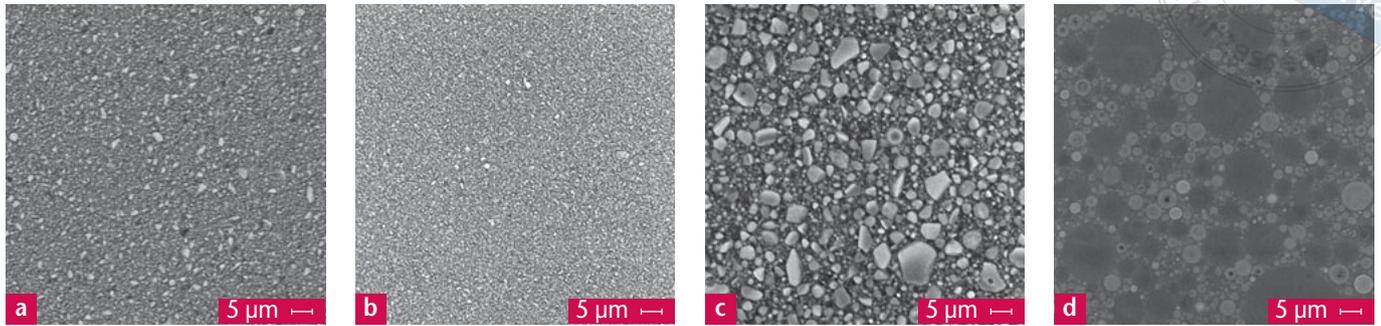
Vorreiter bei den Kompositmaterialien war die Firma 3M, die ihr erstes Produkt unter dem Namen Paradigm™ auf den Markt brachte. Es folgten Lava™ Ultimate (3M, Maplewood, USA) sowie Ambarino High Class (Creamed, Marburg), CERASMART (GC, Leuven, Belgien), SHOFU Block HC (Shofu, Ratingen), BRILLIANT Crios (Coltene, Altstätten, Schweiz) und seit der IDS 2017 auch LuxaCam Composite (DMG, Hamburg) und Grandio Blocs (Voco).

CAD/CAM-Komposite bestehen, ebenso wie lichterhärtende Komposite, aus einer Matrix aus polymerisierten Methacrylaten, die produktabhängig unterschiedlichste Füller enthalten. Obwohl es sich vom Materialaufbau her um Komposite handelt, vermarkten einige Firmen diese Produkte aufgrund der Verwendung keramischer Füller als Hybridkeramiken: „Verbundkeramik auf Basis der Resin-Nanokeramik-Technologie“ (Lava™ Ultimate)<sup>9</sup>, „CAD-CAM-Block aus Hybridkeramik“ (CERASMART)<sup>8</sup>, „hochästhetischer, auf Keramik basierender Werkstoff“ (SHOFU Block HC)<sup>10</sup>.

Möchte man den Haftverbund zu einem Komposit herstellen, dann ist es wichtig, die ausgehärteten Komposite bezüglich ihres Aufbaues etwas genauer unter die Lupe zu nehmen. Da es um den Haftverbund zu Kompositen geht, wird auf die Erzeugung eines Haftverbundes zu Acrylaten und Hybridkeramik nicht weiter eingegangen.

**Harzmatrix** Die Harzmatrix der Komposite besteht unter anderem aus polymerisierten difunktionellen Methacrylatmonomeren. Diese Matrix ist auf Grund der Vernetzung in Lösungsmitteln unlöslich. Sie kann aber von Lösungsmitteln (bzw. Bonds/Haftvermittlern) penetriert werden. Außerdem sind in dieser Matrix nach der Polymerisation reaktive, unpolymerisierte Doppelbindungen vorhanden.

## MODERNE VERBUNDSYSTEME



**Abb. 5** a BRILLIANT Crios und b CERASMART mit kantigen Glasfüllern unterschiedlicher Größe; c Lava Ultimate mit relativ großen Clusterfüllern; d Shofu HC mit kugelförmigen Füllern (Fotos: Coltene).



**Abb. 6** Zwei Bücher, mit den einzelnen Seiten ineinander verzahnt, können aufgrund der großen Kontaktfläche und Oberflächenrauigkeit des Papiers (Retentionen) nur mit hoher Kraft auseinandergezogen werden.

Methacrylatmonomer-basierende Materialien, die mit einem Vorpholymerisat (meist Splitter) aus  $\text{SiO}_2$ -Nanopartikeln und ausgehärteten Methacrylaten gefüllt sind, z. B. Heliomolar von Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein) und Durafill® von Kulzer (Hanau).

**Füller**  
**Vorpholymerisat**

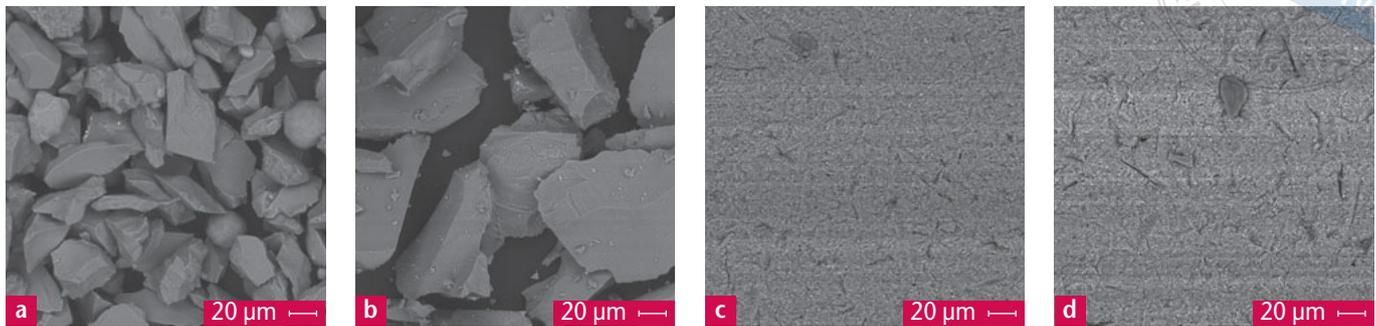
Verwendete anorganische Füller im Bereich von 0,02 bis 10 µm sind zum Beispiel  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{YbF}_3$ , Dentalgläser, Glaskeramiken, Oxidkeramiken, Clusterfüller. Die Form der Füller kann vom Splitter bis hin zur Kugel variieren. Die Variation von Größe, Form und Art der Füller (siehe Abb. 5) ist schier unendlich. Diese Variation bezüglich Harzmatrix und Füller erschwert es, eine universelle Strategie zur Erzeugung des Haftverbundes auf CAD/CAM-Kompositen zu entwickeln.

Um die Haftung zum Komposit optimal zu gestalten, wird der Klebevorgang in vier Schritte unterteilt:

- Vergrößerung und Aufrauen der Oberfläche,
- Aktivierung der Oberfläche,
- Primen/Bonden der Oberfläche,
- geeigneter Kleber/Befestigungsmaterial.

Die geringste Oberfläche weist poliertes Komposit auf. Um die Haftung zu verbessern, kann die Oberfläche vergrößert (größere Kontaktfläche) und mechanische Retention erzeugt werden (Abb. 6).

**Vergrößerung und**  
**Aufrauen der Oberfläche**



**Abb. 7** a CoJet™- (3M) und b Cobra- (Renfert) Strahlmedium mit dem jeweiligen Ergebnis bei Anwendung auf c und d BRILLIANT Crios CAD/CAM-Blöcken (Fotos: Coltene).

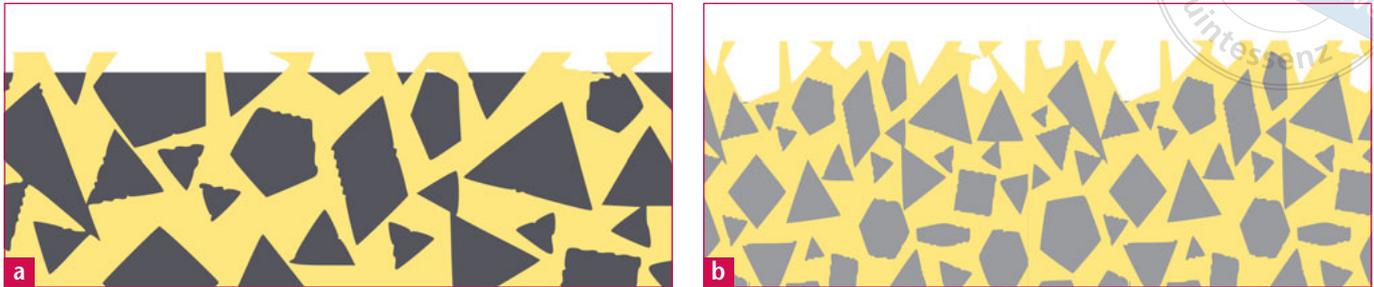
Man kann die Oberfläche zwar mit einem Diamantschleifer vergrößern, die wesentlich geeignetere Methode ist jedoch Sandstrahlen. Wichtig ist, dass das Strahlgut nicht rund oder deformierbar ist.<sup>14</sup> Das geeignete Strahlgut ist splitterförmiger Korund (Aluminiumoxid), da die kantigen Splitter Material abtragen und die Oberflächenrauigkeit erhöhen. Es werden sogar regelrechte Kerben<sup>4</sup>, die als mechanische Retentionen dienen, in die Kompositoberfläche geschlagen (Abb. 7). Komposite sind gegenüber diesem Strahlgut nicht sehr widerstandsfähig. Es empfiehlt sich deshalb, den Druck des Sandstrahlgerätes auf das Komposit anzupassen. Am besten kann die Qualität des Strahlvorganges verfolgt werden, indem die Oberfläche mit einem Graphitstift geschwärzt wird und so lange strahlt, bis das Komposit zum Vorschein kommt.

Die Größe/Masse des Strahlgutes hat großen Einfluss auf das Strahlergebnis. Hierzu eine theoretische Betrachtung: Wäre das Strahlgut ein gleichseitiger Würfel, so besäße ein Würfel mit 50 µm Kantenlänge die 4,6-fache kinetische Energie eines Würfels mit 30 µm Kantenlänge, bei identischer Dichte und Geschwindigkeit (bestimmt durch den Druck der Strahlluft). Höhere kinetische Energie bedeutet schnellerer Abtrag des Komposites.

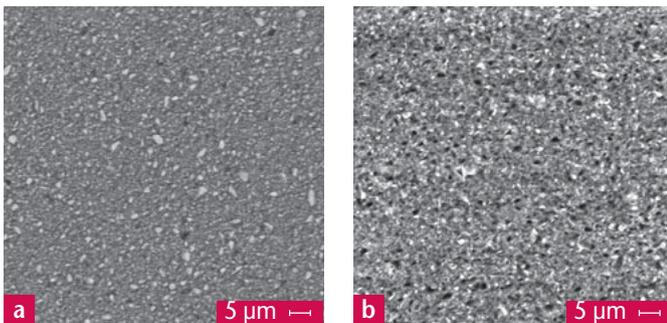
Untersuchungen haben gezeigt, dass es beim Strahlen aufgrund der hohen kinetischen Energie des Strahlgutes zur Desintegration kommen kann, das bedeutet teilweises Herausbrechen des anorganischen Füllers. Je grösser der Füller und je schlechter der Verbund des Füllers zur Harzmatrix, umso größer ist die Gefahr der Desintegration des Füllers.<sup>26</sup> Solche teilweise desintegrierte Füller können den Klebeverbund schwächen.

Eine weitere, jedoch bei Kompositen noch nicht genau untersuchte und deshalb umstrittene Methode, die Oberfläche zu vergrößern, ist das Ätzen mit Flusssäure (HF). Grundvoraussetzung ist, dass der Füller mit Flusssäure ätzbar ist. Das bedeutet, dass der Füller aus Glas, einer Glaskeramik oder einer Silikatkeramik besteht. Oxidkeramische Füller (Aluminiumoxid, Zirkonoxid) eignen sich nicht zum Ätzen mit Flusssäure.

Der Erfolg hängt von der Größe des Füllers und der Ätzkraft der Flusssäure ab. Abhängig von den beschriebenen Faktoren und der Größe der Füller, kann der Füller durch die Flusssäure teilweise (große Füller) oder ganz aufgelöst werden.<sup>1,16</sup> Durch den Ätzvorgang des Füllers erhöht sich die Oberflächenrauigkeit und es bilden sich mechanische Retentionen (Abb. 8 und 9). Leider ist der Erfolg dieser Vorbehandlung aufgrund der unterschiedlichen



**Abb. 8** Mit Flusssäure ätzbare Gläser bzw. Silikatkeramiken können je Füllergöße **a** teilweise oder **b** ganz gelöst werden, wodurch die Oberflächenrauigkeit erhöht wird und mechanische Retentionen geschaffen werden.



**Abb. 9** **a** BRILLIANT Crios unbehandelt und **b** mit Flusssäure (HF) geätzt. Im rechten Bild (HF) sind mehr dunkle Bereiche (Punkte) zu erkennen, die zeigen, dass sich ein Teil des Glasfüllers (helle Bereiche) aufgelöst hat.

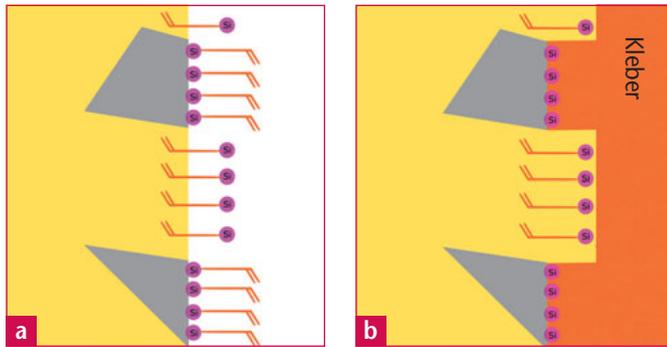
Parameter (Art und Größe der Füller, Ätzkraft der Flusssäure) nicht immer vorhersehbar. Hier sind weitere, grundlegende materialabhängige Untersuchungen notwendig.

Nach der Bearbeitung zur Vergrößerung der Haftoberfläche sollte diese von Verunreinigungen befreit werden. Abstrahlen mit Dampf, Spülen mit Ethanol oder Reinigung im Ultraschallbad sind gut geeignet, ohne die entstandene Oberflächenstruktur zu zerstören. Wird die Reinigung im Ultraschallbad gewählt, sollte man auf den Einsatz von Tensiden verzichten, da sie sich auf der Oberfläche des Komposites festsetzen und den späteren Haftverbund beeinträchtigen können.

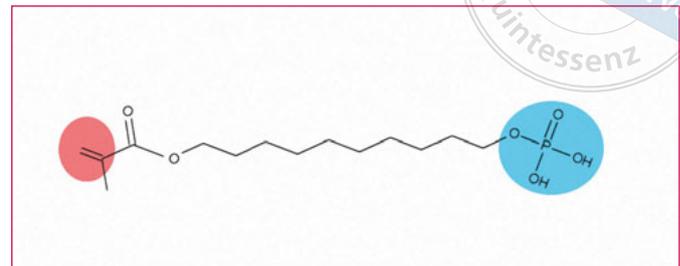
Bei der Aktivierung der Oberfläche erscheint nur die Aktivierung mit Plasma<sup>11,18,21</sup> wirklich erfolgversprechend. Durch die Behandlung wird die Oberfläche gereinigt und die Oberflächenenergie erhöht, was zu einer besseren Benetzung des Bondes/Primers führt. Es werden reaktive, aber relativ kurzlebige Radikale gebildet, die mit dem Bond/Primer reagieren können, d. h. polymerisieren. Besonders geeignet erscheint Luft- oder Sauerstoffplasma, welches ohne zusätzliche Absaugereinrichtung eingesetzt werden kann. Es bilden sich bei der Verwendung dieses Plasmas OH-Gruppen auf der Harzmatrix, die den Haftverbund zu polaren Bonds/Primern verbessern.

Über die Wirkung der Plasmabehandlung von Kunststoffen und Gläsern ist vieles bekannt, jedoch sind kaum Untersuchungen zur Plasmabehandlung von Dentalkompositen zur Haftverbesserung gemacht worden.

**Aktivierung der Oberfläche**



**Abb. 10** Mögliche Problematik, wenn ausschließlich Silan verwendet wird: **a** Das Silan orientiert sich an der Oberfläche des Komposites. **b** Auf dem silanisierbaren Füller kommt es zu einer Verbesserung der Haftung, während Silan auf der Harzmatrix sogar zu einem negativen Effekt bezüglich Haftverbund zum Befestigungsmaterial führen kann (Inkompatibilität zwischen der Silangruppe und dem Befestigungsmaterial/Kleber).



**Abb. 11** MDP trägt eine Phosphorsäuregruppe (blau) und eine polymerisierbare Doppelbindung (rot) im gleichen Molekül.

### Primen/Bonden der Oberfläche

Ein sehr wichtiger Schritt ist die Erzeugung des Verbundes zum Komposit selbst. Man kann davon ausgehen, dass der Volumenanteil der Harzmatrix bei lichthärtenden Materialien im Durchschnitt bei etwa 40 %, bei CAD/CAM-Kompositmaterialien bei etwa 50 % liegt. Um ein optimales Ergebnis zu erzielen, muss man einen guten Haftverbund sowohl zum Füller als auch zur Harzmatrix generieren (siehe auch Abb. 4).

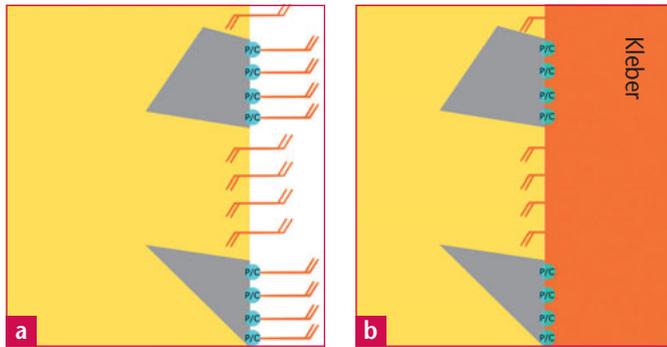
### Primen/Bonden zur Harzmatrix und zu anorganischen Füllstoffen Silan

Um Adhäsion zu Füllern wie Glas oder Glaskeramikfüllern herzustellen, wird ein Silan appliziert (Si-OH und polymerisierbare Doppelbindung in einem Molekül). Die Silangruppe weist in Richtung des Füllers und die Doppelbindung kann später mit dem Methacrylat-basierenden Befestigungsmaterial (Kleber) copolymerisieren (Abb. 10). Für oxidkeramische Füller (z. B.  $ZrO_2$ ) ist ein Silan ungeeignet.

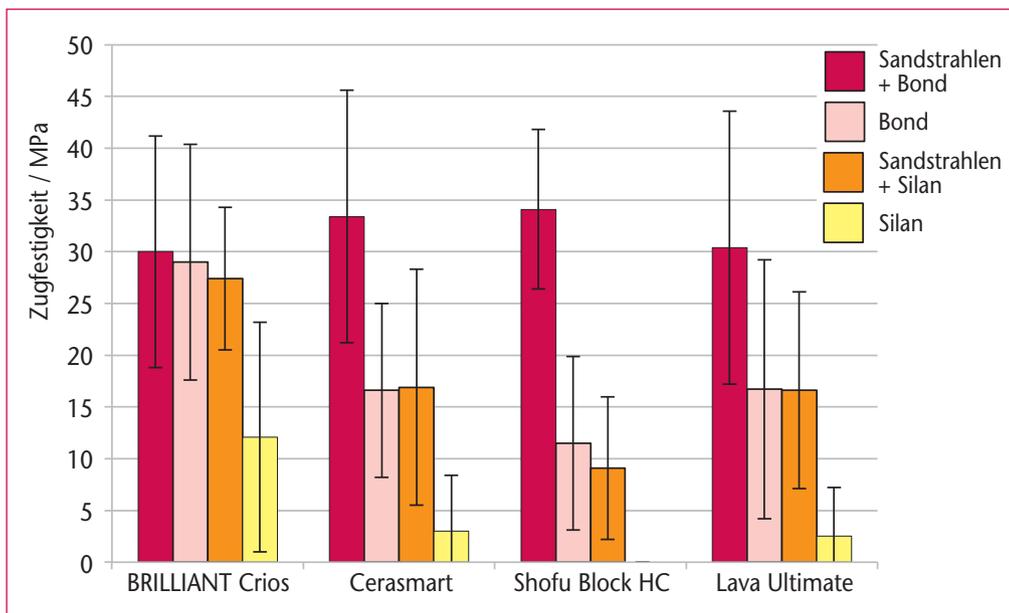
Bei der Erzeugung eines besseren Haftverbundes zur Harzmatrix stößt Silan allerdings an seine Grenzen und kann den Haftverbund zur Harzmatrix im schlimmsten Fall sogar schwächen. Die Doppelbindungen orientieren sich in Richtung der Harzmatrix und die Silangruppen in Richtung des Befestigungsmaterials. Die Silangruppen können nicht mit den Methacrylatgruppen des Befestigungsmaterials polymerisieren.<sup>7,25,27</sup>

### Bond (Universalbond)

Um einen adhäsiven Verbund zu den Füllern herzustellen, kann man sich auch ionischer Wechselwirkungen bedienen, generiert durch Säuregruppen. Verbindungen, die Carbonsäuren enthalten, sind zum Beispiel Polyacrylsäurederivate, wie sie in Glasionomermaterialien eingesetzt werden, oder 4-MET, welches oft in Bondingmaterialien zu finden ist. MDP, ein ebenfalls oft in diesen Bonds verwendetes Phosphorsäurederivat, eignet sich besonders gut zur Verbesserung der Haftung an oxidkeramischen Füllern wie Zirkonoxid, aber auch für Gläser und Glaskeramiken. Wenn man diesem Bond difunktionelle Methacrylate (zwei polymerisierbare Doppelbindungen pro Molekül) beigibt, sind diese in der Lage, einen



**Abb. 12** Schematische Darstellung zur Erzeugung des Haftverbundes zum Füllstoff mittels Säurederivatmonomeren (P/C mit einer polymerisierbaren Methacrylatgruppe) in **a** Kombination mit difunktionelle Monomeren (zwei polymerisierbare Methacrylatgruppen pro Molekül). **b** Durch die Kombination zweier unterschiedlicher Monomergattungen wird die Kompatibilität zum Befestigungskomposit/Kleber gewährleistet.



**Abb. 13** Haftverbund zu unterschiedlichen CAD/CAM-Kompositen mit und ohne Sandstrahlen unter Verwendung von ONE COAT 7 UNIVERSAL (Coltene) beziehungsweise Silan (Befestigungsmaterial DuoCem, Coltene).<sup>20</sup>

guten Verbund zur Harzmatrix des Klebers zu generieren. Diese Problematik wurde mittels Zugversuch nach thermischer Wechsellast untersucht (Abb. 13).

Als Bond erscheinen Universalbonds geeignet, dass sie sowohl saure Monomere (Verbund zum anorganischen Füller) als auch difunktionelle Methacrylate (Verbund zur Harzmatrix) enthalten.

Weist die Oberfläche der Harzmatrix des Klebers der CAD/CAM-Komposite polare NH- oder OH-Gruppen auf, können sich Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Harzmatrix und den polaren Gruppen des Bonds (Bonds für die Haftvermittlung zur Zahnoberfläche) ausbilden. Dies führt zu einer Verbesserung des Verbundes zwischen Kompositrestauration und Bond. Ein sehr gutes Beispiel hierfür ist Wasser, welches eigentlich bei Raumtemperatur gasförmig wäre, aber aufgrund der gebildeten Wasserstoffbrückenbindungen flüssig ist.

**Weitere Mechanismen zur Verbesserung des Verbundes zur Harzmatrix**  
*Wasserstoffbrückenbindungen*

Eine weitere Möglichkeit, den Haftverbund zu verbessern, ist die Erzeugung sogenannter Entanglements (Verschlaufungen). Dabei durchdringen Monomere des Bonds/Primers

*Entanglements*



**Abb. 14** Monomere des Bonds/Primers dringen in die polymerisierte Harzmatrix der CAD/CAM-Kompositrestauration ein. Bei der Polymerisation dieser eingedrunge- nen Monomere bilden sich Polymerketten, die in der Harzmatrix verankert sind. Idealerweise bilden sich auch Verschlau- fungen zwischen den Ketten der Harzma- trix der Restauration und den Ketten des Bonds/Primers (pinkfarbige Pfeile).

**Abb. 15** Ausbildung einer chemischen Bindung. **a** Methacrylatgruppen der Monomere des Bonds/Primers kommen in die Nähe noch vorhandener Methacrylatgruppen (jeweils rote Punkte) der polymerisierten Harzmatrix. **b** Werden Radikale erzeugt (z. B. finale Polymerisation), können diese miteinander, je nach Abstand zueinander, eine chemische Bindung (grüner Kreis) eingehen oder reagieren bei größerem Abstand nicht zueinander (blauer Kreis).

die polymerisierte Harzmatrix des CAD/CAM-Restaurationsmaterials. Polymerisiert man die eingedrunge- nen Monomere, so bilden sich Ketten innerhalb der Harzmatrix des Restauration- materials, die im Idealfall zu einer Verschlaufung führen. Resultat ist eine mechanische Verbindung, die sich am besten mit dem Vorgang des Strickens vergleichen lässt.

**Chemische Bindung** Sind in der polymerisierten Harzmatrix noch unpolymersierte Doppelbindungen vorhanden, können diese im Idealfall mit den Doppelbindungen eines Bonds/Primers bei der Poly- merisation eine chemische Bindung eingehen. Dazu muss aber der Bond/Primer, wie schon bei der Bildung von Entanglements, in der Lage sein, geringfügig in die Oberfläche der CAD/CAM-Restauration zu den noch vorhandenen, nicht polymerisierten Doppelbindungen vorzudringen. Eine solche chemische Verbindung ist sehr stabil und die beste Möglich- keit, einen adhäsiven Verbund zu generieren.

Hier gilt wieder, je höher die Netzwerkdichte, umso schwieriger ist es für den Bond/ Primer, in die Polymermatrix einzudringen. Je geringer die Anzahl an polymerisierbaren Methacrylatgruppen in der Harzmatrix, umso schwieriger ist es, mit dem Bond/Primer bei der Polymerisation eine chemische Bindung auszubilden.

**Geeigneter Kleber:** Für die adhäsive Befestigung einer CAD/CAM-Kompositrestauration dürfen nur harzba- sierende Befestigungsmaterialien verwendet werden. Nur diese garantieren einen guten Verbund. Je nach Hersteller von Kompositen werden unterschiedliche harzbasierende Be- festigungsmaterialien empfohlen.



Oft wird im Zusammenhang mit Befestigungsmaterialien für Komposite der Ausdruck Zement verwendet. Unter einem Zement versteht man aber auch Materialien wie Zinkphosphat und Glasionomere, beziehungsweise harzverstärkte Glasionomere. Diese Zemente sind ungeeignet, um einen dauerhaften Verbund zu einer Kompositrestauration zu gewährleisten. Je nach vorgegebenen Bedingungen sind dagegen lichthärtende und/oder dual härtende Harze (Methacrylat) geeignet.

Im Folgenden sind die Möglichkeiten zur Verbesserung der Haftung auf Kompositmaterialien noch einmal zusammengefasst (Tab. 1 bis 4):<sup>2,5,15,17,22</sup>

**Tab. 1** Vergrößerung der Oberfläche

Diamantwerkzeug	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vergrößerung der Oberfläche</li> <li>• Erzeugung von Retentionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ausreichend für lichthärtende Komposite</li> </ul>
Ätzen mit Flussäure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vergrößerung der Oberfläche von ätzbarem Füller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• genauere Untersuchungen notwendig; stark abhängig von Größe und Art des Füllers und der verwendeten Flussäure</li> </ul>
Strahlen mit Korund	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vergrößerung der Oberfläche</li> <li>• Erzeugung von Retentionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optimale Vorgehensweise</li> </ul>

**Tab. 2** Aktivierung der Oberfläche mit Plasma

Luft, O <sub>2</sub> oder N <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinigung</li> <li>• Verbesserung der Benetzung</li> <li>• Erzeugung von Radikalen</li> <li>• Erzeugung von NH- bzw. OH-Gruppen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• genauere Untersuchungen notwendig</li> </ul>
Argon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr gute Reinigung</li> <li>• Verbesserung der Benetzung</li> <li>• Erzeugung von Radikalen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• genauere Untersuchungen notwendig</li> </ul>

**Tab. 3** Bonding/Primer

Silan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haftverbesserung zu Glas und silikatkeramischen Füllern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schlechte Haftung zu oxidkeramischen Füllern und zur Harzmatrix</li> </ul>
säurehaltige Monomere in Kombination mit mono- und difunktionellen Monomeren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haftverbesserung zu Glas und silikat- und oxidkeramischen Füllern</li> <li>• Haftverbesserung zur Harzmatrix</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Universal Schmelz- und Dentinbond; die Kompatibilität von Bond und Substrat sollte aufeinander abgestimmt sein</li> </ul>

**Tab. 4** Befestigungsmaterial

licht- oder dualhärtendes Befestigungskomposit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr gute Kompatibilität zu Silanen und Bondings</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optimale Vorgehensweise</li> </ul>
--	--	---

Aufgrund der Datenlage scheint folgende Strategie zu einem sehr guten Haftverbund auf lichthärtenden und CAD/CAM-Kompositen zu führen:

- Strahlen mit Korund,
- Applikation eines Adhäsivs mit säuregruppentragenden Methacrylaten und neutralen mono- und difunktionellen Methacrylaten (Universaldentin-/Schmelzbondings).

Diese Vorgehensweise wird bei folgenden CAD/CAM-Kompositen angewandt:

- BRILLIANT Crios / Strahlen mit Korund / Bonden mit ONE COAT 7 UNIVERSAL (Coltene),
- Lava™ Ultimate / Strahlen mit Korund / Bonden mit Scotchbond™ Universal (3M Espe).

**Fazit** Alle Ausführungen haben sich mit der Erzeugung des Haftverbundes zu Kompositmaterialien beschäftigt. Ein guter Haftverbund zum Komposit ist natürlich essenziell für die Befestigung der Restauration an der Zahnschubstanz. Ebenso wichtig ist der Haftverbund bei Modifikationen einer Kompositrestauration. So ist es möglich, lichthärtendes Komposit aufzutragen, um die Geometrie oder das optische Erscheinungsbild (z. B. Cut-back-Technik) der Kompositrestauration zu verändern. Auch eine farbliche Gestaltung mit lichthärtenden Kompositmalen ist ohne Probleme möglich. Es gilt zu beachten, dass in Bereichen hoher Belastung diese Malen sehr schnell abradieren werden können (z. B. okklusale). Hier ist es sinnvoll, etwas Material von der Kompositrestauration wegzunehmen, die Malen zu applizieren und diese mit einem transparenten, lichthärtenden Komposit zu überschichten.

1. Belli R, Wendler M, de Ligny D, Cicconi MR, Petschelt A, Peterlik H, Lohbauer U. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. *Dent Mater* 2017;33:84–98.
2. Böhner R. Moderne CAD/CAM-Kompositmaterialien – deren Materialeigenschaften und Befestigungsstrategien. *ZMK* 2016;32:112–118.
3. Böhner R, Kopfmann C. Characteristics of polymer based CAD/CAM blocks for permanent restorations. #597, Antalya: IADR, 2015.
4. Böhner R, Kopfmann C, Westendorff A. Shear bond strength of BRILLIANT Crios sandblasted with CoJet (<https://www.coltene.com/fileadmin/Data/EN/scientific/002986-EN-BRILLIANT-Crios-Study-A4.pdf>; Zugriff am 10.10.2017).
5. Comba L, Bradna P, Elencová E, Dušková J, Houšová D. The effect of surface treatment and adhesive system on the durability of composite repairs. *Dentistry* 5:318.
6. El-Askary FS, Fawzy AS, Abd Elmohsen HM. Tensile bond strength of immediately repaired anterior microfine hybrid restorative composite using nontrimmed hourglass specimens. *J Adhes Dent* 2009;11:41–77.
7. Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: the effect of surface treatments. *J Adhes Dent* 2016;16:531–540.
8. Gebrauchsanleitung CERASMART™. Deutsch. GC DENTAL Products Corp 06/2015,13008790 290655DK.
9. Gebrauchsanleitung Lava™ Ultimate CAD/CAM Restaurationsmaterial. Deutsch. 3M Espe Dental Products 2015-06,44-0007-7648-2-A.
10. Gebrauchsanleitung SHOFU BLOCK HC. Englisch. SHOFU Inc 01:2014,09 SS000032 (selbstadhäsiver Komposit Zement).
11. Haftvermittlung. Plasma Electronic. (<http://www.plasma-electronic.de/haftvermittlung.html>, Zugriff am 10.10.2017).
12. Hannig C, Laubach S, Hahn P, Attin T. Shear bond strength of repaired adhesive filling materials using different repair procedures. *J Adhes Dent*. 2006;8:35–40.



13. Komposit. Wikipedia (<https://de.wikipedia.org/wiki/Komposit>, Zugriff am 10.10.2017).
14. Kassotakis EM, Stavridakis M, Bortolotto T, Ardu S, Krejci I. Evaluation of the effect of different surface treatments on luting CAD/CAM composite resin overlay workpieces. *J Adhes Dent* 2015;17:521–528.
15. Loomans BA, Cardoso MV, Roeters FJ, Opdam NJ, De Munck J, Huysmans MC, Van Meerbeek B. Is there one optimal repair technique for all composites? *Dent Mater* 2011;27:701–709.
16. Moon Y-H, Lee J, Lee M-G. Shear bond strength of dental CAD-CAM hybrid restorative materials repaired with composite resin. *J Korean Acad Prosthodont* 2016;54:193–202.
17. Peumans M, Valjakova EB, De Munck J, Mishevskva CB, Van Meerbeek. Bonding effectiveness of luting composites to different CAD/CAM materials. *J Adhes Dent* 2016;18:289–302.
18. Plasmatechnik – alles was Sie wissen sollten! (<http://www.plasmatechnologie.de>, Zugriff am 10.10.2017).
19. Ramirez-Molina R, Kaplan AE. Influence of polishing protocol on flexural properties of several dental composite resins. *Acta Odontol Latinoam* 2015;4:64–71.
20. Reymus M, Roos M, Eichberger M, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Bonding to CAD/CAM composites: influence of airabrasion and conditioning method. San Francisco: IADR, 2017. Poster 1377.
21. Schwitalla AD, Bötzel F, Zimmermann T, Sütel M, Müller WD. The impact of argon/oxygen low-pressure plasma on shear bond strength between a veneering composite and different PEEK materials. *Dent Mater* 2017;33:990–994.
22. Siqueira F, Cardenas AM, Gutierrez MF, Malaquias P, Hass V, Reis A, Loguercio AD, Perdigão J. Laboratory performance of universal adhesive systems for luting CAD/CAM restorative materials. *J Adhes Dent* 2016;18:331–340.
23. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichenberger M, Güth J-F. Evaluation of mechanical and optical behaviour of current esthetic dental restorative CAD/CAM composites. *J Mech Behav Biomed Mater* 2015;55:1–11.
24. Teixeira EC, Bayne SC, Thompson JY, Ritter AV, Swift EJ. Shear bond strength of self-etching bonding systems in combination with various composites used for repairing aged composites. *J Adhes Dent* 2005;7:159–164.
25. Wendler M, Belli R, Panzer R, Skibbe D, Petschelt A, Lohbauer U. Repair bond strength of aged resin composite after different surface and bonding treatments. *Mater* 2016;9:547.
26. Yoshihara K, Nagaoka N, Maruo Y, Nishigawa G, Irie M, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Sandblasting may damage the surface of composite CAD-CAM blocks. *Dent Mater* 2017;33:e124-e135.
27. Yoshihara K, Nagaoka N, Sonoda A, Maruo Y, Makita Y, Okihara T, Irie M, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives. *Dent Mater* 2016;32:1218–1225.

**Dr. Ralf Böhner**

Coltène/Whaledent AG  
 Feldwiesenstraße 20  
 9450 Altstätten  
 Schweiz  
 E-Mail: [info.ch@coltene.com](mailto:info.ch@coltene.com)