

R. Iversen¹, W. Geurtsen¹, A.K. Lührs¹

Kompositreparatur – Einfluss unterschiedlicher Vorbehandlungsmethoden auf die Verbundkraft

*Repairability of composite with self-etch
adhesives after different surface pretreatments*



R. Iversen

Einführung: Ziel der Studie war die Untersuchung der Reparaturfestigkeit eines Komposits nach Anwendung von zwei selbstkonditionierenden Adhäsivsystemen und unterschiedlichen mechanischen Vorbehandlungsmethoden.

Material und Methoden: Probekörper (5 x 5 x 4 mm) wurden aus Komposit hergestellt und nach Oberflächenpolitur (P600) in Kochsalzlösung gelagert (24h/37°C). Die Reparatur erfolgte gemäß folgender Vorgehensweisen: keine weitere Vorbehandlung (NEG), Cojet-Sand und selbstkonditionierendes 1-Schritt-Adhäsivsystem (AdheseOne, CJ1) oder 2-Schritt-System (AdheSE, CJ2), Sandstrahlen mit Aluminiumoxid in Kombination mit dem jeweiligen Adhäsiv (ALU1 und ALU2) sowie Sandpapier (P320) und Adhäsivsystem (SAND1 und SAND2). Die Probekörper wurden nach Reparatur für 24 h gelagert (NaCl, 37°C) und in Stäbchen (Verbundfläche ca. 1 mm²) gesägt. Alle Gruppen (je n = 30) wurden dem Mikrozugverfahren zugeführt (Vorschub 0,5 mm/s) und hinsichtlich des Frakturmodells untersucht. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und dem Scheffé-Test.

Ergebnisse: Es konnten signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Oberflächenbehandlungen gefunden werden (p < 0.001). Für die 2-Schritt-Adhäsivsysteme wurde die höchste Verbundhaftkraft für ALU2 (65,98 MPa) gemessen, die Gruppe CJ1 zeigte die niedrigsten Verbundkräfte (51,95 MPa). Mit Ausnahme der Gruppe CJ1 waren alle Gruppen signifikant unterschiedlich zur Gruppe NEG (44.0 ± 10.9 MPa, p = 0,008). Die Gruppe ALU1 wies signifikant höhere Haftwerte auf als die Gruppe CJ1 (63,4 ± 8,9 MPa vs. 52,0 ± 10,9 MPa, p = 0,04). Beim Vergleich der Sandpapier-Gruppen mit Aluminiumoxid und Silizium-modifizierten Al₂O₃-Partikeln konnten keine signifikanten Unterschiede gemessen werden (SAND1 vs ALU1 vs CJ1 und SAND2 vs ALU2 vs CJ2).

Vergleiche innerhalb der Gruppen mit gleicher Oberflächenbehandlung (CJ1 vs. CJ2, ALU1 vs. ALU2, SAND1 vs. SAND2) zeig-

Introduction: Aim of this in vitro study was to investigate the repairability of a composite resin with two self-etch adhesives in combination with different surface pretreatments.

Material and Methods: Composite specimens (5 x 5 x 4 mm) were fabricated and stored in saline solution (24h/37°C) after polishing the surface with abrasive paper (600 grit). Each repair was performed according to one of the following seven treatment protocols: no additional treatment (NEG), Cojet-sand and 1-step self etch adhesive (AdheseOne, CJ1) or 2-step-adhesive (AdheSE, CJ2), sandblasting with aluminiumoxid and either one of the adhesives (ALU1 and ALU2), sandpaper (320 grit) and adhesives (SAND1 and SAND2). Whole composite specimens (5 x 5 x 8 mm) without repair served as positive control. Specimens were sectioned, and microtensile bond strength (µTBS) was measured after 24 h storage in saline solution (30 beams per group, surface area 1 mm², crosshead-speed 0.5 mm/min). The fracture type was subsequently determined at 6.3 x magnification. ANOVA and pairwise Scheffé-test (p < 0.05) were used for statistical analysis.

Results: One-way-ANOVA showed significant differences between the groups (p < 0.001). The highest µTBS was determined for group ALU2 (66.0 ± 11.4 MPa), lowest values were measured for CJ1 (52.0 ± 10.9 MPa). All test groups, except CJ1 exhibited µTBS values significantly higher than group NEG (44.0 ± 10.9 MPa, p = 0.008). A comparison between sandpaper, aluminiumoxide and silizium-modifizierten Al₂O₃-partikeln showed no significant differences for either the 1-s or the 2-step-adhesive (SAND1 vs ALU1 vs CJ1 und SAND2 vs ALU2 vs CJ2). When groups were compared based on the adhesive system used (CJ1 vs. CJ2, ALU1 vs. ALU2, SAND1 vs. SAND2), no significant differences were detected. The

¹ Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde (Prof. Dr. W. Geurtsen), Medizinische Hochschule Hannover, Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover

Peer-reviewed article: eingereicht: 16.09.2010, überarbeitete Fassung akzeptiert: 06.01.2011

DOI 10.3238/dzz.2011.0639

ten keine signifikanten Unterschiede. Die Frakturanalyse ergab zum Großteil kohäsive Frakturen für die Untersuchungsgruppen.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse zeigen, dass eine Kompositreparatur sowohl mit einem 1- als auch 2-Schritt-Adhäsivsystem in Kombination mit verschiedenen Oberflächenbehandlungen möglich ist. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Studienergebnisse kann folgendes klinisches Vorgehen empfohlen werden: Anrauen (z. B. mit einem Diamantbohrer), Applikation 1-/ 2-Schritt-Adhäsivsystem, Kompositapplikation.

(Dtsch Zahnärztl Z 2011, 66: 639–646)

Schlüsselwörter: Kompositreparatur, selbstkonditionierende Adhäsivsysteme, Mikrozugversuch, Sandstrahlen, Co-Jet

1 Einleitung

Trotz der stetigen Weiterentwicklung zahnärztlicher Restaurationsmaterialien kann eine zahnärztliche Restauration die verloren gegangene Zahnhartsubstanz nicht gleichwertig ersetzen, wenn die bekannten Funktionszeiten zahnärztlicher Materialien betrachtet werden [11]. Longitudinalstudien, die vor allem in den letzten 20 Jahren durchgeführt wurden, zeigen etwa gleich gute Ergebnisse für Amalgam und Komposit mit jährlichen Verlusten von 3,0 % und 2,2 % [20]. In einer aktuellen retrospektiven klinischen Studie zeigte die 12-Jahres-Überlebensrate von großen posterioren Klasse-II-Restaurationen jedoch bessere Resultate für Komposit- (84,7 %) als für Amalgamfüllungen (75,6 %) [22]. Ursachen für das Versagen von Kompositrestaurationen sind neben dem individuellen Kariesrisiko des Patienten und der möglichen Techniksensitivität bei der Durchführung der Adhäsivtechnik z. B. Abrasion, durch Polymerisationsschrumpfung und -schrumpfungskraft verursachte Randspaltbildung mit nachfolgender Randverfärbung und Bildung von Sekundärkaries sowie postoperative Hypersensibilitäten und Frakturen [14, 22]. Als Hauptgrund für den Austausch von Restaurationen wird Sekundärkaries angegeben [11, 22] gefolgt von Frakturen [1].

Die vollständige Entfernung von defekten Restaurationen ist nicht immer notwendig, weil in der Regel mehr Zahnhartsubstanz als erforderlich entfernt wird [10, 31], außerdem besteht die Gefahr einer Traumatisierung der Pulpa durch wiederholte Präparationsmaßnahmen, besonders in tiefen Kavitätenbereichen. Die Reparatur einer

fracture analysis showed mainly cohesive fractures in all test groups.

Conclusions: Our data indicate that after 24 h water storage, composites can be repaired with either 1- or 2-step self-etch adhesives in combination with different surface pretreatments. With the limitation of the current study, the following clinical procedure can be recommended: surface roughening, application of an (1-step- / 2-step-) adhesive, application of a composite.

Keywords: composite, repair, self-etching adhesive, microtensile bond strength, sandblasting, silanization

Kompositfüllung unter Belassung des intakten Anteils der Füllung und/oder der Zahnhartsubstanz kann daher als minimalinvasive Alternative zur vollständigen Erneuerung der Füllung angesehen werden [6]. Aus den oben genannten Gründen ist sie daher gegenüber der vollständigen Entfernung zu favorisieren [3, 4, 10, 13, 18, 31].

Schon Mitte der 70er Jahre wurde mit der Einführung der lichtschrumpfenden Kompositmaterialien die Frage nach der Reparaturfähigkeit von Kompositwerkstoffen aufgeworfen [15] und bis heute kontrovers diskutiert. Seit Mitte der 80er Jahre wird die Methode der Reparatur von Füllungen in den Lehrbüchern der konservierenden Zahnheilkunde erwähnt [16].

Dabei werden verschiedene Reparaturmaßnahmen unterschieden: Verfärbungen oder überstehende Füllungsänderungen sollten durch Politur korrigiert werden. Bei größeren Defekten sollte zur weiteren Untersuchung der Randqualität ein Anteil der Füllung entfernt werden. Unter der Voraussetzung, dass der verbliebene Anteil der Füllung von zufriedenstellender Qualität ist, kann eine Füllungsreparatur durchgeführt werden [21].

Komposite können jedoch ohne ein Kopplungsagens nicht chemisch miteinander reagieren, sodass die einzige Möglichkeit der chemischen Bindung in der Bindung zu den verbliebenen Monomeren besteht [34]. Für Adhäsivsysteme besteht neben der chemischen Bindung zur Matrix des Substrates die Möglichkeit der chemischen Bindung zu den Füllkörpern und/oder die Mikroretention durch Penetration der Monomere in die Mikro-Unebenheiten der Matrix [38].

Kompositflächen, die nach einer Politur dem Mundmilieu ausgesetzt sind, weisen keine unpolymersierte Oberflä-

chenschicht auf. Durch die Polymerisation ist die Anzahl der Doppelbindungen und somit die Möglichkeit für eine primäre Bindung zu den unreaktierten Methacrylat-Gruppen gesunken [5]. Frühreparaturen innerhalb eines kurzen Zeitintervalls von wenigen Minuten nach Legen der Primärfüllungen weisen generell höhere Verbundwerte auf als Spätreparaturen [16]. Die größte Restaktivität verbliebener freier Radikale an der Substratoberfläche kann in den ersten 24 Stunden nach der Polymerisation beobachtet werden [33]. Eine längere Speichlexposition führt also dazu, dass die Sättigung mit Wasser die freien Radikale entfernt, die für die chemische Reaktion bei der Reparatur notwendig sind [30].

Für die Reparatur von Kompositrestaurationen existieren verschiedene Konzepte, die sich wie folgt gliedern lassen: Anrauen des Substrates, Anwendung eines Kopplungsagens (Silan/Adhäsivsystem) und Applikation des Reparaturkomposits. Das Anrauen des Substrates kann durch einen Diamantbohrer, Siliziumcarbidsteinchen oder durch Sandstrahlen (air abrasion) erfolgen [9, 31]. Beim Sandstrahlverfahren werden unterschiedliche Strahlgüter verwendet: Sandstrahlen mit Natriumbicarbonat [39], Aluminiumoxid (Al_2O_3) oder Silizium-modifizierten Al_2O_3 -Partikeln (SiO_2) gefolgt von der Anwendung eines Silans [4, 36]. Es gibt derzeit jedoch keinen Konsens darüber, welches Reparaturverfahren am besten geeignet ist [39].

Es ist bekannt, dass Phosphorsäure nur einen geringen Effekt auf die Reparaturhaftkraft mikrogefüllter Komposite hat [12, 18, 39]. Bonstein et al. fanden in der Gruppe mit Phosphorsäurekonditionierung keinen Unterschied zur Gruppe ohne Oberflächenbehandlung [3]. Die

Phosphorsäurekonditionierung besitzt nur einen oberflächlichen Reinigungseffekt, nach Entfernung des durch Anrauen entstandenen Debris können die freigelegten Füller mit dem Adhäsiv allein keine chemische Reaktion eingehen [12].

Für Reparaturverfahren in Kombination mit selbstkonditionierenden Adhäsivsystemen sind jedoch nur wenige Daten vorhanden [6, 7, 25, 26, 30, 37–39].

Ziel der vorliegenden Studie war es daher, den Einfluss verschiedener Oberflächenvorbehandlungen und den Einfluss des verwendeten selbstkonditionierenden Adhäsivsystems (1-Schritt vs. 2-Schritt) auf den Reparaturverbund eines Kompositmaterials zu untersuchen. Die postulierte Nullhypothese war, dass die unterschiedliche Oberflächenvorbehandlung keinen Einfluss auf den Reparaturverbund hat.

2 Material und Methode

Im Rahmen der Studie wurden 40 Kompositblöcke (Kantenlänge: 5 mm x 5 mm x 4 mm) aus einem Nanohybrid-Komposit (Tetric EvoCeram, Farbe A3, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) in vorgefertigten Messingformen hergestellt. Die Oberfläche aller Kompositblöcke wurde in einer Schleifmaschine (Lowspeed Polisher, Bühler, Düsseldorf, Deutschland) mit einem feinkörnigen Sandpapier (Körnung: P600, SiC Grinding paper for metallography wet or dry, Bühler, Düsseldorf, Deutschland) unter Wasserkühlung angeraut. Diese als Primärmaterial zu verstehenden Probekörper wurden für 24 Stunden bei 37°C in isotoner Natriumchloridlösung gelagert (NaCl 0,9 %; Braun Melsungen AG, Berlin, Deutschland). Nach dieser Zeit erfolgte randomisiert die Aufteilung in sechs Versuchsgruppen (je n = 30) mit unterschiedlicher Oberflächenvorbehandlung (Aluminiumoxid, Silizium-modifizierte Al₂O₃-Partikel, Sandpapier) und Anwendung eines selbstkonditionierenden Adhäsivsystems (1-Schritt [AdheSE One, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein] vs. 2-Schritt [AdheSE, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein]). Alle Materialien und ihre Anwendung zeigt Tabelle 1. Die einzelnen Untersuchungsgruppen und die Codierung zeigt Tabelle 2. Für den Reparaturvorgang wurden die Primärkomposit-

blöcke in eine zweite vorgefertigte Messingform (5 mm x 5 mm x 8 mm) reponiert. Die Reparatur wurde zur besseren Visualisierung mit Tetric EvoCeram der Farbe A1 durchgeführt. Sowohl bei der Herstellung der Primärkompositblöcke als auch beim Reparaturvorgang wurde die Inkrementtechnik mit zwei Millimeter dicken Schichten angewendet. Diese wurden mit einem Kugelstopfer gleichmäßig appliziert und jeweils für 20 Sekunden von der Oberseite sowie von allen vier Seiten für jeweils 20 Sekunden mit einer Lichtintensität von 1000 mW/mm² polymerisiert (Elipar FreeLight 2, 3M ESPE AG, Seefeld, Deutschland). Die Lichtintensität wurde regelmäßig durch ein Radiometer (Bluephase meter, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) überprüft, um eine adäquate Aushärtung sicherzustellen.

Die Oberflächenbehandlung wurde wie folgt durchgeführt:

Gruppe 1 und 2 (CJ1, CJ2):

Die Oberflächenbehandlung erfolgte mit dem CoJet-System (3M ESPE AG, Seefeld, Deutschland) unter Benutzung von CoJet-Sand (Silizium-modifizierte Al₂O₃-Partikel, Partikelgröße 30 µm) für 20 Sekunden pro Reparaturfläche aus einem Abstand von ca. 10 mm rechtwinklig zur Oberfläche und einem Luftdruck von ca. 3,7 bar. Die Rückstände des Strahlguts wurden verblasen. Die anschließende Silanisierung erfolgte für 60 Sekunden durch ein Einkomponenten-Silan (Monobond-S, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein).

Gruppe 3 und 4 (ALU1, ALU2):

Die Oberflächenbehandlung wurde analog zu dem Vorgehen in den Gruppen 1 und 2 durchgeführt, mit dem Unterschied, dass in diesen Gruppen Aluminiumoxid (Partikelgröße 50 µm) als Strahlgut diente.

Gruppe 5 und 6 (SAND1, SAND2):

Die Reparaturfläche wurde mit grobkörnigen Sandpapier (Körnung von P320, SiC Grinding paper for metallography wet or dry, Bühler, Düsseldorf, Deutschland) unter Wasserkühlung mittels einer Schleifmaschine (Lowspeed Polisher, Bühler, Düsseldorf, Deutschland) angeraut und Wasserrückstände anschließend verblasen.

In Abhängigkeit von der Untersuchungsgruppe wurde entweder ein

selbstkonditionierendes, gefülltes 1- oder 2-Schritt-Adhäsivsystem appliziert und mit einer Leistung von 1000 mW/cm² polymerisiert (Elipar FreeLight 2, 3M ESPE AG, Seefeld, Deutschland).

Als Negativkontrolle diente eine Gruppe ohne weitere Vorbehandlung (nur die Entfernung der sauerstoffinhibierten Oberflächenschicht mittels Schleifpapier P600) und als Positivkontrolle eine Gruppe, bei der die Herstellung eines vollständigen Probekörpers einzeitig in vier Inkrementen erfolgte.

Nach dem Reparaturvorgang erfolgte eine nochmalige Lagerung der Kompositblöcke für 24 Stunden bei 37°C in isotoner Natriumchloridlösung. Aus jedem Probekörperblock wurden sechs Stäbchen mit den Maßen 1 mm x 1 mm x 8 mm durch Sägeschnitte im rechten Winkel zur Verbundfläche mit einer Niedertourensäge (IsoMet Low Speed Saw mit dem Sägeblatt Diamond Wafering Blade, Bühler, Düsseldorf, Deutschland) unter Wasserkühlung hergestellt (Aqua DeltaSelect, DeltaSelect GmbH, Dreieich, Deutschland). Die Bestimmung der Zugkraft erfolgte im Mikrozugversuch (MTD-500 SD Mechatronic, dental research equipment, Feldkirchen-Westerham, Deutschland) mit einer Geschwindigkeit von 0,5 mm/s. Die Reparaturfläche wurde durch Messung der Probekörperkantenlänge mit Hilfe einer digitalen Messlehre bestimmt (Digitaler Mess-Schieber, Paget Trading Ltd., c/o Paget Services, London, UK). Zur Untersuchung der Bruchfläche und zum Ausschluss von Mikroblassen im Verbundbereich wurden die Proben unter einem Lichtmikroskop untersucht (Vergrößerung 6,3-fach, ZEISS, Deutschland). Die statistische Auswertung erfolgte mit einer einfaktorischen Varianzanalyse (ANOVA) und für den paarweisen Vergleich mit dem Scheffé-Test (SPSS Version 15.0, SPSS GmbH Software, München, Deutschland). In der Gruppe SAND1 frakturierte ein Stäbchen beim Anbringen am Probenhalter der Zugmaschine. Dieses Stäbchen wurde von der statistischen Auswertung ausgeschlossen.

3 Ergebnisse

Die einfaktorische Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (p < 0,001).

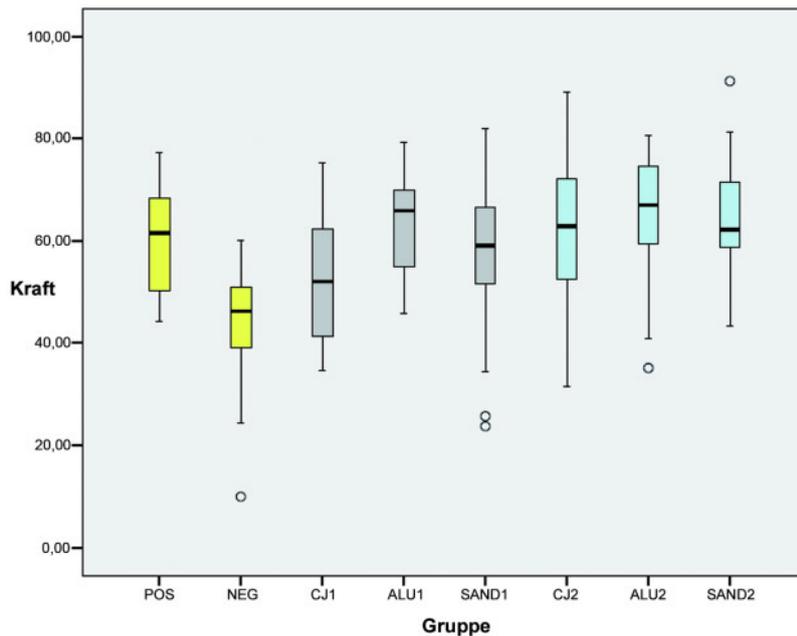


Abbildung 1 Boxplot der Messergebnisse, Kraft in MPa.

Figure 1 Boxplot of the results, power in MPa.

Die höchste Verbundhaftkraft wurde für die Gruppe ALU2 gemessen ($66,0 \pm 11,5$ MPa). Der niedrigste Wert der Versuchsgruppen wurde für CJ1 ermittelt ($52,0 \pm 10,9$ MPa). Diese Gruppe war als einzige Gruppe nicht signifikant unterschiedlich zur Negativkontrolle. Die Versuchsergebnisse zeigen Tabelle 3 und Abbildung 1.

Ein Vergleich der Messwerte für die Oberflächenbehandlung mit Aluminiumoxid gegenüber Silizium-modifizierten Al_2O_3 -Partikeln zeigt in der Gruppe des 1-Schritt-Adhäsivsystems eine signifikante Erhöhung der μ TBS (CJ1 $52,0 \pm 10,9$ MPa vs. ALU1 $63,4 \pm 8,9$ MPa $p = 0,04$). Diese tritt in der Gruppe der 2-Schritt-Adhäsivsysteme nicht auf (CJ2 $62,9 \pm 14,0$ MPa vs. ALU2 $66,0 \pm 11,5$ MPa).

Beim Vergleich der Sandpapier-Gruppen mit Aluminiumoxid und Silizium-modifizierten Al_2O_3 -Partikeln konnten keine signifikanten Unterschiede gemessen werden (SAND1 vs. ALU1 vs. CJ1 und SAND2 vs. ALU2 vs. CJ2).

Innerhalb der Gruppen CJ, ALU, SAND konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem 1- und dem 2-Schritt-Adhäsivsystem (CJ1 vs. CJ2, ALU1 vs. ALU2, SAND1 vs. SAND2) gemessen werden.

Nach der Oberflächenbehandlung wies keine der Versuchsgruppen bis auf die Gruppe CJ1 einen signifikanten Unterschied zur Positivkontrolle auf.

Die Frakturanalyse ergab für alle Untersuchungsgruppen mit Ausnahme der Negativkontrolle überwiegend Kohäsivfrakturen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

4 Diskussion

Da bezüglich der Oberflächenvorbehandlung signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen und der Negativkontrolle bestehen, muss die postulierte Nullhypothese abgelehnt werden.

Eine Vielzahl von Variablen kann die Untersuchungsergebnisse von Verbundkräften beeinflussen: das untersuchte Substrat, die Lagerung der zu untersuchenden Probekörper, die Art und Anwendung der Oberflächenbehandlungen und der adhäsiven Befestigung, sowie das verwendete Testverfahren.

Für die Ermittlung von Verbundkräften zwischen zahnärztlichen Kompositen im Rahmen von Reparaturfüllungen eignet sich der Mikrozugversuch (micro tensile bond strength test, μ TBS),

wie er von Pashley et al. beschrieben wurde [27]. Eine Deutsche Norm zur Bestimmung der Zugeigenschaften von Kunststoffen liegt in der EN ISO 527-1/2 vor.

Das verwendete μ TBS-Testverfahren hat den Vorteil, dass die Verbundfläche kleiner Testkörper (ca. 1 mm^2) eine gleichmäßigere Spannungsverteilung während der Belastung aufweist als bei größeren Flächen und verarbeitungsbedingte Inhomogenitäten minimiert werden [27]. In der Literatur werden unterschiedliche Probekörperformen beschrieben. Während der Herstellungsprozedur der Hantel- und Sanduhrform können Mikrorisse und/oder Formdefekte auftreten, die bei der Stäbchenform weniger häufig beobachtet wurden [27]. Im Gegensatz dazu zeigte eine andere Vergleichsstudie zwischen verschiedenen Probekörpergeometrien keinen Einfluss der Form auf die gemessene μ TBS [2]. Aufgrund des weniger techniksensitiven Herstellungsverfahrens wurde in dieser Untersuchung die Stäbchenform gewählt.

In der vorliegenden Studie wurden die Probekörper nach der Reparatur für 24 Stunden in isotoner Natriumchlorid-Lösung gelagert. Eine längere Lagerung und/oder Thermocycling könnten die Ergebnisse verändern.

Es gibt keinen Konsens darüber, welches In-vitro-Lagerungsprotokoll am besten geeignet ist, um die Verhältnisse in der Mundhöhle zu simulieren [38]. In der Literatur werden als flüssiges Lagerungsmedium Wasser, destilliertes Wasser, Natriumchlorid-Lösung oder (künstlicher) Speichel beschrieben, häufig bei Raumtemperatur oder simulierter Körpertemperatur [19]. Söderholm et al. postulierten, dass die Eluierbarkeit von Füllern aus dentalen Kompositen in künstlichen Speichel um eine Zehnerpotenz größer ist als in destilliertem Wasser und linear mit der Zeit verläuft [32]. Aufgrund des Einflusses von Ionen im Lagerungsmedium auf die Kompositoberfläche wurde in dieser Untersuchung eine isotone Natriumchlorid-Lösung verwendet. Der Zeitraum von 24 Stunden sowohl für die Alterung des Primär-, als auch Reparaturkomposits wurde für eine erste Analyse des Reparaturverbundes gewählt. Der Anteil freier unreaktiver Methacrylat-Gruppen an der Oberfläche ist hierbei als ein den Verbund begünstigender Faktor zu bedenken. Wei-

	Anwendung	LOT	Hersteller
Anrauen			
Sandpapier (P600) alle Gruppen vor Alterung und Reparatur	mittels Schleifmaschine, unter Wasserkühlung	L30520	SiC grinding paper for metallography wet or dry, Bühler, Düsseldorf, Deutschland
Sandpapier (P320) nur Gruppe SAND1/2	mittels Schleifmaschine, unter Wasserkühlung	L30520	SiC grinding paper for metallography wet or dry, Bühler, Düsseldorf, Deutschland
Abstrahlen			
CoJet-Sand, Silikatisiertes Aluminiumoxid, Partikelgröße 30 µm	Druck 3,7 bar, Düsendistanz zur Oberfläche 10 mm, im 90° Winkel, 20 Sek., Strahlmittelreste verblasen	L306931	3M ESPE, Seefeld, Deutschland
Aluminiumoxid, Partikelgröße 50 µm	Druck 3,7 bar, Düsendistanz zur Oberfläche 10 mm, im 90° Winkel, 20 Sek., Strahlmittelreste verblasen	L1906	Roenvig Dental. A/S, Dugaard, Dänemark
Adhäsivsystem			
AdheSe Primer	15 Sek. einmassieren, Gesamteinwirkzeit 40 Sek, verblasen	L30361	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein
AdheSe Bond	Aufbringen, sanft durch Luftstrom verteilen, 10 Sek polymerisieren	L32948	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein
AdheSe One	einmassieren mit VivaPen-Brushkanüle, 40 Sekunden Einwirkzeit, verblasen, 10 Sek. polymerisieren	L49718	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein
Silan			
Monobond S	60 Sek. Einwirkzeit, verblasen	K31310	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein
Komposit			
Tetric EvoCeram A3 (Primärmaterial)	Inkrementschicht 2 mm Dicke, 20 Sek. polymerisieren	L37968	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein
Tetric EvoCeram A1 (Reparaturmaterial)	Inkrementschicht 2 mm Dicke, 20 Sek. polymerisieren	L31376	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein

Tabelle 1 Material und Anwendung.**Table 1** Material and application.

(Abb. 1, Tab. 1–3: R. Iversen)

tere Untersuchungen sollten längere Lagerungszeiten einschließen, um den Einfluss der Alterung und möglicher hydrolytischer Effekte zu erfassen.

Im Rahmen der Füllungsreparatur können eine Vielzahl von Oberflächenvorbehandlungen mit dem Ziel angewendet werden, klinisch akzeptable Verbundkräfte zwischen Primärmaterial und Reparaturmaterial zu erzeugen: neben den oben beschriebenen Verfahren wurden auch die Anwendung einer in-

termediären Schicht mit fließfähigen Kompositen [24] oder das Anätzen durch Säuren für den Reparaturverbund untersucht.

Sandstrahlen mit Al_2O_3 oder SiO_2 ist entsprechend der Datenlage eine effektive Oberflächenbehandlung für Kompositreparaturen [8, 18, 23, 25, 26, 30].

Silane verbessern die Verbundhaftkraft von Kompositen zu beschliffenen oder angeätzten Keramiken [35]. Eine Steigerung der Reparaturhaftkraft bei

angerauten Flächen in Kombination mit einem Silan + Adhäsiv konnte auch bei Kompositen beobachtet werden [12, 38]. In der vorliegenden Untersuchung zeigten die Gruppen mit Anrauen + Adhäsiv (SAND1/2) einen signifikanten Unterschied zur Negativkontrolle. Im Gegensatz dazu wurde in einer anderen Studie im Vergleich zur unbehandelten Oberfläche keine Steigerung des Verbundes bei angerauten Oberflächen mit alleiniger Applikation eines Adhäsivs

Gruppe	Vorbehandlung	Adhäsivsystem	Codierung
Positivkontrolle	Einzeitige Herstellung	kein	POS
Negativkontrolle	nur Sandpapier (P600) vor Alterung	kein	NEG
Gruppe 1	SiO ₂ + Silan + 1-Schritt-Adhäsivsystem	AdheSE One	CJ1
Gruppe 2	SiO ₂ + Silan + 2-Schritt-Adhäsivsystem	AdheSE	CJ2
Gruppe 3	Al ₂ O ₃ + Silan + 1-Schritt-Adhäsivsystem	AdheSE One	ALU1
Gruppe 4	Al ₂ O ₃ + Silan + 2-Schritt-Adhäsivsystem	AdheSE	ALU2
Gruppe 5	Sandpapier + 1-Schritt-Adhäsivsystem	AdheSE One	SAND1
Gruppe 6	Sandpapier + 2-Schritt-Adhäsivsystem	AdheSE	SAND2

Tabelle 2 Gruppen.**Table 2** Groups.

festgestellt. Erst durch die Kombination mit einem Silan erfolgte eine signifikante Erhöhung. Es wurde angenommen, dass auch ohne eine oberflächliche Reinigung mittels Phosphorsäure durch das Silan eine chemische Bindung mit dem Debris möglich sei [12]. Im Gegensatz dazu konnten *Bonstein* et al. jedoch nachweisen, dass die Applikation eines Silans auf eine mit einem Diamantbohrer angeraute Komposit-Oberfläche die Verbundkraft des Adhäsivs signifikant erniedrigte [3]. Der Nutzen der zusätzlichen Anwendung eines Silans ist aufgrund der vorliegenden Datenlage noch nicht abschließend zu bewerten.

Der Verbund zwischen einzelnen Kompositsschichten ist weiterhin abhängig von den Bestandteilen des verwendeten Materials, vom Zeitraum bis zum Auftragen des neuen Materials und von Umgebungsfaktoren, die Einfluss auf das Primärmaterial bzw. auf den Reparaturverbund haben.

In dieser Studie erzielte die Gruppe ALU2 (2-Schritt-Adhäsivsystem in Kombination mit Al₂O₃ und Silan) die höchste μ TBS. Sandstrahlen mit Al₂O₃ zeigte auch in anderen Studien höchste Verbundwerte [8, 18, 36, 39]

Die Gruppe CJ1 (1-Schritt-Adhäsive in Kombination mit SiO₂ und Silan) zeigte in unserer statistischen Auswertung den niedrigsten Wert. Im Gegensatz zu diesem Ergebnis wurde in einer anderen Studie für die Reparatur eines nanogefüllten Komposits (Filtek Supreme, 3M ESPE)

in der Gruppe SiO₂ + Silan + 1-Schritt-Adhäsiv der höchste Wert, bei einem Hybridkomposit (Filtek Z250, 3M ESPE) jedoch in der gleichen Gruppe ohne Anwendung eines Silans der höchste Wert ermittelt. Die zusätzliche Applikation eines Silans (RelyX Ceramic Primer, 3M ESPE) verringerte den Wert bei dem Hybridkomposit, jedoch nicht signifikant. Die Autoren verwendeten in ihren Untersuchungen Al₂O₃ mit einer Körnunggröße von 25 μ m [30]. In unserem Studienprotokoll führte die Oberflächenbehandlung mit größeren Al₂O₃-Partikeln (50 μ m) im Vergleich zu den kleineren SiO₂-Partikeln (30 μ m) möglicherweise zu einer unterschiedlicheren Oberflächenrauigkeit zwischen beiden Sandstrahlgruppen mit einem veränderten Mikroretentionsmuster. Diese Annahme wird unterstützt durch eine SEM-Auswertung der Oberfläche eines anderen Mikrohybridkomposits (Spectrum TPH, Dentsply DeTrey), bei der *Rathke* et al. nach Sandstrahlen mit Al₂O₃ (50 μ m) oder mit SiO₂ (30 μ m) eine durchschnittliche Rauigkeitstiefe von 15 μ m gegenüber 10 μ m feststellten [28].

Dieser Unterschied wurde in unseren Versuchen durch die Anwendung des 2-Schritt-Adhäsives jedoch aufgehoben. Das in unserer Studie verwendete 2-Schritt-Adhäsiv könnte durch das zweizeitige Auftragen zu einer verbesserten Penetration des Lösungsmittels und der Monomere in die Mikroretentionen der Reparaturoberfläche geführt haben.

Ein weiterer Einfluss könnte in der unterschiedlichen Zusammensetzung der verwendeten Adhäsive zu finden sein.

Rathke et al. stellten nach Sandstrahlen mit Al₂O₃ (50 μ m) erst durch die zusätzliche Applikation eines korrespondierenden Primers gefolgt von einem Adhäsiv (OptiBond FL, Kerr Dental) eine signifikante Steigerung des Reparaturverbundes fest. Die alleinige Adhäsiv-Anwendung führte zu keinem signifikanten Unterschied im Vergleich zur Kontrollgruppe (kein Adhäsiv) [28].

Bouschlicher et al. verglichen die Anwendung eines Diamantbohrers, Al₂O₃ (50 μ m) und SiO₂ (30 μ m) bei der Reparatur eines Hybrid- und eines mikrogefüllten Komposits (Pertac Hybrid und Silux Plus, 3M ESPE) [5]. Die höchste Verbundkraft ermittelten sie bei der Verwendung des SiO₂ mit und ohne Silan. Dieses steht im Gegensatz zu unseren Auswertungen bei einem Vergleich der beiden Sandstrahlgüter in der 1-Schritt-Adhäsiv-Gruppe. Hier war das Al₂O₃ dem SiO₂ signifikant überlegen.

Neben unterschiedlichen Testbedingungen könnte ein Grund für die von unseren Untersuchungen abweichenden Ergebnisse im unterschiedlichen Effekt des Sandstrahlens auf das Kompositsubstrat liegen. Das in unserer Studie verwendete Nanohybrid-Komposit (TetricEvo Ceram) besteht neben Bis-GMA, Urethandimethacrylat, ethoxilierten Bis-EMA aus einer Mischung aus Bariumglasfüllern (1 μ m), Barium-Aluminium-

	POS	NEG	CJ1	CJ2	ALU1	ALU2	SAND1	SAND2
Mittelwert (MPa)	60,5 ^{B,C}	44,0 ^A	52,0 ^{A,B}	62,9 ^{B,C}	63,4 ^C	66,0 ^C	57,1 ^{B,C}	64,8 ^C
SD	10,1	11,4	10,9	14,0	8,9	11,5	14,0	10,3
Fx adhäsiv (%)	–	18 (60,0)	2 (7,0)	7 (23,3)	5 (16,7)	7 (23,3)	1 (3,3)	4 (13,3)
Fx kohäsiv (%)	30 (100,0)	12 (40,0)	28 (93,0)	23 (76,7)	25 (83,3)	21 (70,0)	28 (93,3)	24 (80,0)
n	30	30	30	30	30	30	29	30

Tabelle 3 Ergebnisse. Gruppen mit gleicher Buchstabencodierung sind nicht signifikant unterschiedlich. SD = Standardabweichung; Fx = Bruchtyp.

Table 3 Results. Groups with the same codex of letters are not significantly different. SD = standard deviation, Fx = type of fraction.

Silikat-Glas-Füllern (0,4–0,7 µm), Ytterbiumtrifluorid und Nanofüllern in präpolymerisierten Füllern (Gesamtfülleranteil: 75–76 Gew.-% / 53–55 Vol.-%) [17]. *Rinastiti* et al. stellten für TetricEvo Ceram eine niedrigere Haftkraft und geringe Rauigkeitszunahme der Oberfläche nach Sandstrahlen mit SiO₂ fest, als im Vergleich zu einem anderen Nanohybrid-, einem Mikrohybrid- und einem nanogefüllten Komposit. Die Autoren vermuten als Grund hierfür eine hohe Füllerexposition an der Oberfläche des TetricEvo Cerams. Dies könnte zu einem Abprallen der Siliziumpartikel von der Oberfläche führen [29].

Der Vergleich zwischen dem 1-Schritt- und 2-Schritt-Adhäsivsystem in Abhängigkeit von der jeweiligen Oberflächenbehandlung führte in unseren Untersuchungen zu keinem signifikanten Unterschied (Gruppen CJ1 vs. CJ 2, ALU1 vs. ALU2, SAND1 vs. SAND2), daher muss die Oberflächenbehandlung von größerer Bedeutung für den Verbund sein. Auch *Leucena-Martin* et al. sehen einen stärkeren Einfluss auf die Verbundhaftkraft im Sandstrahlen als im verwendeten Adhäsivsystem. Die Ergebnisse dieser Studiengruppe bestätigen insgesamt die Wirksamkeit eines 1-Schritt-Adhäsivsystems zur Reparatur von gealterten Kompositen [18].

Bei den in der Literatur beschriebenen Reparaturverfahren ohne Anwendung eines Adhäsivsystems wurden deutlich niedrigere Werte als bei der Applikation von Adhäsivsystemen festgestellt. So fanden *Rodrigues* et al. für die Versuchsgruppe SiO₂ + Silan ohne Applikation eines Adhäsivsystems

bei einem nanopartikelgefüllten Komposit (Filtek Supreme, 3M ESPE) die niedrigsten Werte unter den Gruppen mit Sandstrahlen (Al₂O₃, SiO₂) [30].

Es muss darauf hingewiesen werden, dass sich in den verschiedenen Studien viele Variablen wie Testverfahren, Komposittyp, Adhäsivsystem, Silanisierung, Durchführung und Lagerung unterscheiden. Insgesamt lassen sich bei der Vielzahl der in der Literatur zum Thema Kompositreparaturverfahren vorliegenden Daten aufgrund der verschiedenen Variablen der jeweiligen Untersuchung die Ergebnisse nur sehr begrenzt untereinander vergleichen.

In dieser In-vitro-Untersuchung wurde der Verbund Komposit zu Komposit betrachtet, der klinisch z. B. der Reparatur einer reinen auf die Kompositrestauration begrenzten Chipping-Fraktur entsprechen würde. Unter klinischen Gesichtspunkten treten Kompositreparaturen weiterhin häufig mit einer Beteiligung von Zahnhartsubstanz auf, sodass angrenzende Kompositflächen in Kontakt mit Phosphorsäure, Wasser oder Unterfüllungsmaterialien treten können. In zukünftigen Untersuchungen sollten Grenzflächen und die Interaktion ihrer unterschiedlichen Vorbehandlungsmethoden weiter untersucht werden.

5 Schlussfolgerung

Das Sandstrahlen mit Aluminiumoxid und die anschließende Silanisierung führte für ein 2-Schritt-Adhäsivsystem zu den höchsten Verbundwerten. Im

Rahmen einer Kurzzeitreparatur (24 h) konnte jedoch kein signifikanter Vorteil des Sandstrahlens (Al₂O₃ oder SiO₂) gegenüber dem alleinigen Anrauen nachgewiesen werden.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung kann die Reparatur eines Nanohybridkomposits sowohl mit einem 1- als auch mit einem 2-Schritt-Adhäsivsystem in Kombination mit verschiedenen Oberflächenbehandlungen durchgeführt werden.

Klinische Relevanz: Die aufwendigeren Sandstrahlverfahren (Al₂O₃ oder SiO₂) mit Applikation eines Silans zeigen in-vitro vergleichbare Ergebnisse, sind aber klinisch schwieriger in der Anwendung als das Anrauen. Insbesondere bei der Beteiligung verschiedener Oberflächen wie Schmelz, Dentin und Komposit sind Wechselwirkungen der unterschiedlichen Substanzen (Silan, Phosphorsäure, Wasserspülung, etc.) nicht auszuschließen.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Studienergebnisse kann folgendes klinisches Vorgehen empfohlen werden: Anrauen (z. B. mit einem Diamantbohrer), Applikation 1-/ 2-Schritt-Adhäsivsystem, Kompositapplikation.

6 Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dr. *Ludwig Hoy*, Institut für Biometrie, Medizinische Hochschule Hannover, für seine Hilfestellung bei der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse. Die im Rahmen der Studie verwendeten Composite, Adhäsivsysteme und Silane wurden von der Firma Ivoclar

Vivadent, Ellwangen, Deutschland zur Verfügung gestellt. 

Interessenkonflikte: Die Autorin/der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Robin Iversen
Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde (Prof. Dr. W. Geurtsen)
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Str. 1
30625 Hannover
E-Mail: iversen.robin@mh-hannover.de

Literatur

- Bernardo M, Luis H, Martin MD et al: Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc* 6, 775–783 (2007)
- Betamar N, Cardew G, Van Noort R: Influence of specimen designs on the microtensile bond strength to dentin. *J Adhes Dent* 2, 159–168 (2007)
- Bonstein T, Garlapo D, Donarummo J, Jr, Bush PJ: Evaluation of varied repair protocols applied to aged composite resin. *J Adhes Dent* 1, 41–49 (2005)
- Bouschlicher MR, Reinhardt JW, Vargas MA: Surface treatment techniques for resin composite repair. *Am J Dent* 6, 279–283 (1997)
- Boyer DB, Chan KC, Reinhardt JW: Build-up and repair of light-cured composites: bond strength. *J Dent Res* 10, 1241–1244 (1984)
- Brendeke J, Ozcan M: Effect of physicochemical aging conditions on the composite-composite repair bond strength. *J Adhes Dent* 4, 399–406 (2007)
- Cavalcanti AN, De Lima AF, Peris AR, Mitsui FH, Marchi GM: Effect of surface treatments and bonding agents on the bond strength of repaired composites. *J Esthet Restor Dent* 2, 90–8; discussion 99 (2007)
- Costa TR, Ferreira SQ, Klein-Junior CA, Loguerio AD, Reis A: Durability of surface treatments and intermediate agents used for repair of a polished composite. *Oper Dent* 2, 231–237 (2010)
- Crumpler DC, Bayne SC, Sockwell S, Brunson D, Roberson TM: Bonding to resurfaced posterior composites. *Dent Mater* 6, 417–424 (1989)
- Denehy G, Bouschlicher M, Vargas M: Intraoral repair of cosmetic restorations. *Dent Clin North Am* 4, 719–37 (1998)
- Elderton RJ: Clinical studies concerning re-restoration of teeth. *Adv Dent Res* 4–9 (1990)
- Fawzy AS, El-Askary FS, Amer MA: Effect of surface treatments on the tensile bond strength of repaired water-aged anterior restorative micro-fine hybrid resin composite. *J Dent* 12, 969–976 (2008)
- Frankenberger R, Kramer N, Ebert J et al: Fatigue behavior of the resin-resin bond of partially replaced resin-based composite restorations. *Am J Dent* 1, 17–22 (2003)
- Gordan VV, Mjor IA, Blum IR, Wilson N: Teaching students the repair of resin-based composite restorations: a survey of North American dental schools. *J Am Dent Assoc* 3, 317–323; quiz 338–339 (2003)
- Hotz P: The abrasion of composite materials. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 3, 253–262 (1975)
- Kamann WK, Gangler P: Filling repair and repair fillings. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 10, 1054–1071 (2000)
- Lendenmann U: Wissenschaftliche Dokumentation von Tetric® Evo Ceram/Tetric® Evo Flow: Forschung und Entwicklung. (2006)
- Lucena-Martin C, Gonzalez-Lopez S, Navajas-Rodriguez de Mondelo JM: The effect of various surface treatments and bonding agents on the repaired strength of heat-treated composites. *J Prosthet Dent* 5, 481–488 (2001)
- Mair L, Padipatvuthikul P: Variables related to materials and preparing for bond strength testing irrespective of the test protocol. *Dent Mater* 2, e17–23 (2010)
- Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R: Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent* 5, 481–508 (2004)
- Mjor IA, Gordan VV: Failure, repair, refurbishing and longevity of restorations. *Oper Dent* 5, 528–534 (2002)
- Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC: 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. *J Dent Res* (2010)
- Ozcan M, Barbosa SH, Melo RM, Galhano GA, Bottino MA: Effect of surface conditioning methods on the microtensile bond strength of resin composite to composite after aging conditions. *Dent Mater* 10, 1276–1282 (2007)
- Papacchini F, Radovic I, Magni E et al: Flowable composites as intermediate agents without adhesive application in resin composite repair. *Am J Dent* 1, 53–58 (2008)
- Papacchini F, Dall'Oca S, Chieffi N et al: Composite-to-composite microtensile bond strength in the repair of a micro-filled hybrid resin: effect of surface treatment and oxygen inhibition. *J Adhes Dent* 1, 25–31 (2007)
- Papacchini F, Toledano M, Monticelli F et al: Hydrolytic stability of composite repair bond. *Eur J Oral Sci* 5, 417–424 (2007)
- Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM: Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater* 2, 117–125 (1995)
- Rathke A, Tymina Y, Haller B: Effect of different surface treatments on the composite-composite repair bond strength. *Clin Oral Investig* 3, 317–323 (2009)
- Rinastiti M, Ozcan M, Siswomihardjo W, Busscher HJ: Immediate repair bond strengths of microhybrid, nanohybrid and nanofilled composites after different surface treatments. *J Dent* 1, 29–38 (2010)
- Rodrigues SA, Jr, Ferracane JL, Della Bona A: Influence of surface treatments on the bond strength of repaired resin composite restorative materials. *Dent Mater* 4, 442–451 (2009)
- Shahdad SA, Kennedy JG: Bond strength of repaired anterior composite resins: an in vitro study. *J Dent* 8, 685–694 (1998)
- Soderholm KJ, Yang MC, Garcea I: Filler particle leachability of experimental dental composites. *Eur J Oral Sci* 6, 555–560 (2000)
- Soderholm KJ and Roberts MJ: Variables influencing the repair strength of dental composites. *Scand J Dent Res* 2, 173–180 (1991)
- Soderholm KJ: Flexure strength of repaired dental composites. *Scand J Dent Res* 4, 364–369 (1986)
- Stangel I, Nathanson D, Hsu CS: Shear strength of the composite bond to etched porcelain. *J Dent Res* 9, 1460–1465 (1987)
- Swift EJ, Jr, LeValley BD, Boyer DB: Evaluation of new methods for composite repair. *Dent Mater* 6, 362–365 (1992)
- 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* 2, 159–164 (2005)
- Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK: Composite-composite repair bond strength: effect of different adhesion primers. *J Dent* 8, 521–525 (2003)
- Yesilyurt C, Kusgoz A, Bayram M, Ulker M: Initial repair bond strength of a nano-filled hybrid resin: effect of surface treatments and bonding agents. *J Esthet Restor Dent* 4, 251–260 (2009)