

B. Görmann<sup>1</sup>, W. Geurtsen<sup>1</sup>, A.K. Lührs<sup>1</sup>

# Reparatur von Siloranen nach verschiedenen Oberflächenbehandlungen und künstlicher Alterung durch Thermocycling



B. Görmann

*Repairability of dental siloranes after different surface pre-treatments and aging by thermocycling*

**Zielsetzung:** Ziel dieser In-vitro-Studie war die Beurteilung der Mikrozugfestigkeit von Siloranreparaturen in Abhängigkeit von verschiedenen Oberflächenbehandlungen und Alterung durch Thermocycling (TC).

**Material und Methoden:** Dazu wurden 54 (5x5x5 mm) Siloranblöcke hergestellt und in Kochsalzlösung gelagert (24 h/37°C). Die Oberfläche aller Blöcke wurde unter Kühlung angeraut (600 grit), für 10 s konditioniert (Orthophosphorsäure 37 %) und anschließend für 30 s mit Wasser abgespült. Die Reparatur wurde mit neun verschiedenen Oberflächenbehandlungsmethoden mit Siloran durchgeführt (n = 6): keine zusätzliche Oberflächenbehandlung (NT), Siloran Bonding (B), Siloran Primer und Bonding (P/B), Sandstrahlen mit Aluminiumoxid (SB), SB mit B (SB/B), SB mit P/B (SB/P/B), Silikatisierung/ Silanisierung (CJ), CJ mit B (CJ/B), CJ mit P/B (CJ/P/B). Als Positivkontrolle (PK) dienten nicht reparierte Siloranblöcke (10x5x5 mm). Die Blöcke wurden in Stäbchen mit einer Verbundfläche von ca. 1 mm<sup>2</sup> zersägt (30 Stäbchen pro Gruppe). Nach einer 6-monatigen Alterung bei 37°C in Kochsalzlösung und TC (5000 Zyklen, 5°C/55°C) wurde der Mikrozugversuch durchgeführt (Vorschubgeschwindigkeit 1 mm/min) und statistisch ausgewertet (ANOVA, Tukey HSD, p < 0,05).

**Ergebnisse:** Es bestanden signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Oberflächenbehandlungsmethoden (p < 0,001). Die größte Mikrozugfestigkeit wurde für die Gruppe CJ/B (50,0 ± 11,5 MPa) ermittelt. Bei allen unterschiedlichen Oberflächenbehandlungsmethoden (SB, CJ, NT) führte die Anwendung des Bondings zu einer Erhöhung der Verbundfestigkeit. Das zusätzliche Auftragen des Primers (P/B, SB/P/B, CJ/P/B) bewirkte eine Verminderung der Mikrozugfestigkeiten.

**Introduction:** The aim of this in-vitro-study was the comparison of the microtensile bond strength of silorane repairs after different surface treatments and aging by water storage (6-months) and thermocycling (TC).

**Material and Methods:** 54 silorane-blocks were manufactured and stored in saline solution (24 h/37°C). All specimens were roughened (600 grit) and etched with 37 % phosphoric acid for 10 s. Nine different surface treatment protocols were applied in order to create an adhesive bond between primary and repair silorane (each n = 6): no further surface treatment (NT); silorane bonding (B); silorane primer and bonding (P/B); sand blasting with aluminium oxide (SB); SB with B (SB/B); SB with P/B (SB/P/B); silicate coating/ silanization (CJ); CJ with B (CJ/B); CJ with P/B (CJ/P/B). Whole silorane blocks served as positive control (10x5x5 mm). The blocks were sectioned into 30 sticks per group each with an adhesively bonded surface of approximately 1 mm<sup>2</sup>. After water storage for 6 months (37°C in saline solution) and thermocycling (5000 cycles, 5°C/55°C), microtensile bond strength was determined (crosshead-speed 1 mm/min) and statistically evaluated (ANOVA, Tukey HSD, p < 0.05).

**Results:** The statistical analysis revealed significant differences between the various surface treatment methods (p < 0.001). The highest microtensile bond strength was found for group CJ/B (50.0 ± 11.5 MPa). Among all different surface treatment methods (SB, CJ, NT) the use of silorane bonding increased the microtensile bond strength. The additional use of silorane primer (P/B, SB/P/B, CJ/P/B) was detrimental and caused a decrease of the bond strength.

<sup>1</sup> Medizinische Hochschule Hannover, Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde

Peer-reviewed article: eingereicht: 15.07.2011, Fassung akzeptiert: 17.10.2011

DOI 10.3238/dzz.2012.0241-0247

**Schlussfolgerung:** Siloranreparaturen sollten mit C]/B durchgeführt werden, in jedem Fall jedoch die Anwendung des Siloran-Bondings beinhalten. Eine Anwendung des Primers führt zu einer Verminderung der Haftwerte. (Dtsch Zahnärztl Z 2012, 67: 241–247)

*Schlüsselwörter:* Siloran, Füllungsreparatur, Oberflächenbehandlung, Mikrozugversuch, Thermocycling

**Conclusion:** Silorane repairs should be conducted with C]/B. The use of the silorane bonding is mandatory, but the additional use of the silorane primer leads to inferior results.

*Keywords:* silorane, repair, surface pre-treatment, microtensile bond strength, thermocycling

## Einleitung

Der steigende Wunsch nach zahnfarbenen Versorgungen von Patientenseite und die Möglichkeit minimalinvasiver Behandlungstechniken führten zur vermehrten Verwendung von Komposit in Kavitäten im Seitenzahnbereich.

Neben der minimalinvasiven Kavitätenpräparation sind die wesentlichen Ziele der adhäsiven Füllungstherapie ein zuverlässiger und bakteriendichter Verbund mit der Zahnhartsubstanz sowie eine hohe Langzeitstabilität der Restauration. Diesen Kriterien muss ein Komposit bei der Auswahl des geeigneten Füllungsmaterials im Vergleich zu Amalgam, Zement sowie indirekten Versorgungsmöglichkeiten gerecht werden, um zusätzliche ästhetische Ansprüche zu rechtfertigen [10].

Silorane sind eine neue Materialgruppe innerhalb der zahnfarbenen, plastischen Füllungswerkstoffe, wobei ihre Entwicklung aus der kontinuierlichen Weiterentwicklung konventioneller Komposite resultiert. Charakteristisch für Komposite ist die während der Polymerisation auftretende Polymerisationsschrumpfung [21, 22]. Durch Steigerung des Füllstoffgehalts auf über 80 Gew.-% war es möglich, die Schrumpfung auf ca. 1,7 Vol.-% zu reduzieren. Silorane wurden daher mit dem Ziel entwickelt, die Polymerisationsschrumpfung und den damit einhergehenden Polymerisationsstress durch neue organische Matrixbestandteile weiter herabzusetzen [22].

Silorane setzen sich aus Siloxanen und Oxiranen zusammen. Siloxane sind hochmolekulare, wenig schrumpfende Siliziumverbindungen, welche sich bei der Polymerisation zu Polysiloxanen verknüpfen. Das Oxiran liegt in einer Drei-Ring-Konfiguration vor, bestehend aus reaktionsfreudigen organischen Kohlenstoff- und Sauerstoffverbindungen. Der Polymerisationsvorgang wird

durch einen nukleophilen Angriff ausgelöst, der eine Ringöffnung bewirkt [22]. Je nach Testverfahren ergeben sich im Vergleich zu Kompositen niedrigere Polymerisationsschrumpfungen von 0,94 Vol.-% bis 0,99 Vol.-% versus 1,7 Vol.-% und 3,6 Vol.-% [22]. Der bei der Polymerisation auftretende Polymerisationsstress ist für Silorane (0,07 MPa/s) bis zu achtmal geringer als für „konventionelle“ Komposite (min. 0,51 MPa/s) [21]. Als Folge einer reduzierten Polymerisationsschrumpfung resultiert eine deutlich geringere Auslenkung der Höckerspitzen an mit Siloran gefüllten Prämolaren (mod-Kavitäten) im Vergleich zu einem methacrylatbasierten Material [14].

Sowohl Polymerisationsschrumpfung als auch Polymerisationsstress und daraus resultierende Randundichtigkeiten sind von großer klinischer Relevanz, da mit ihnen eine Reihe negativer Konsequenzen wie Sekundärkaries, postoperative Sensibilitäten, Randverfärbungen und Füllungs- oder Zahnfrakturen einhergehen können, die eine Neuanfertigung der Restauration erforderlich machen [22].

Der Austausch einer Füllung ist sowohl technisch- als auch zeitaufwendig und mit einem deutlichen Verlust von Zahnhartsubstanz verbunden [4, 7]. Adhäsiv verankerte Restaurationen in toto zu entfernen, erfordert im Vergleich zu Amalgam- oder Glasionomer-Restaurationen nahezu die doppelte Zeit bedingt durch die farbliche Übereinstimmung mit der Zahnhartsubstanz [4]. Als effektive Maßnahme zur Schonung der Zahnhartsubstanz hat sich die Reparatur etabliert.

Untersuchungen zum Reparaturpotential von Kompositen beschreiben diesen Vorgang als praktikables klinisches Vorgehen [9]. Die Weiterentwicklung sowohl der Füllungsmaterialien als auch der verschiedenen Verfahren zur Reparatur wirkt sich positiv auf

die Möglichkeiten aus, eine Reparaturfüllung einer Neuanfertigung der Füllung vorzuziehen [3].

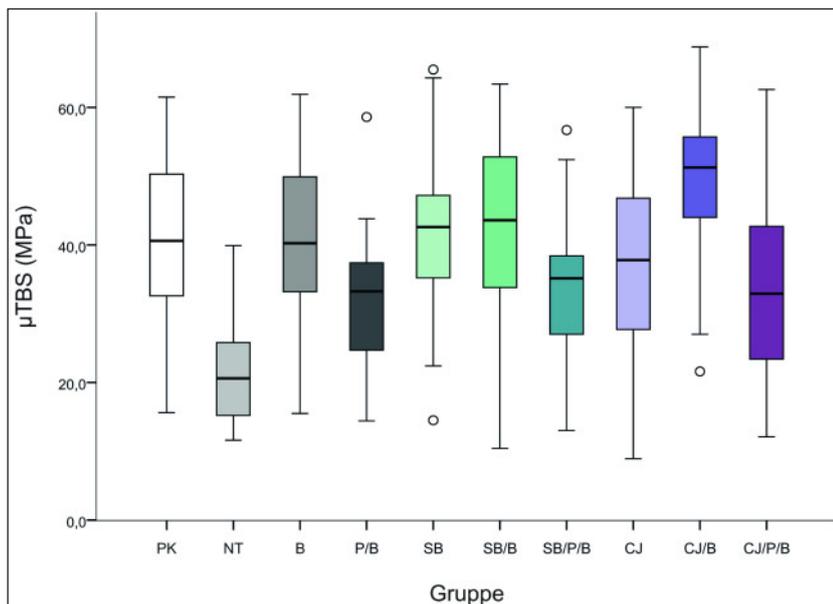
Einschränkendes Kriterium vor Durchführung einer Reparaturfüllung ist jedoch die absolute Suffizienz der belassenen Restfüllung. Kann die Suffizienz einer Restauration nicht eindeutig festgestellt werden, sollte eine Neuanfertigung der Reparatur vorgezogen werden. Eine Reparatur ist dann indiziert, wenn sie als minimalinvasivste Methode unter funktionellen, ästhetischen und wirtschaftlichen Aspekten weiteren Substanzverlust langfristig verhindern kann [3].

Für die Reparatur konventioneller Kompositmaterialien sind bereits verschiedene Oberflächenvorbehandlungen untersucht worden: Sandstrahlen mit Aluminiumoxid, Silikatisierung und Silanisierung, Anrauen, Konditionierung mit Orthophosphorsäure und die Verwendung verschiedener Adhäsivsysteme [2–5, 13, 15, 17].

Sandstrahlen mit CoJet-Sand ist z. B. mit mittels auf den Turbinenadapter aufzusteckenden Geräten auch intraoral möglich. Die Verwendung von Schutzausrüstung (Schutzbrille, Kofferdam, Absaugung) ist bei intraoraler Anwendung zum Schutz von umgebendem Gewebe, Patient und Behandler obligat.

Der Sand, bestehend aus Korund (30 µm) und Silizium, trifft dabei mit hoher Geschwindigkeit auf die Reparaturfläche. Es entsteht durch eine mechanische Konditionierung ein mikroretentives Oberflächenrelief und eine chemische Konditionierung durch Verschmelzung der Siliziumanteile mit der Oberfläche. An die Silikatisierung schließt sich die Silanisierung an, welche eine chemische Haftvermittlung zwischen silikatisierter Oberfläche und z. B. einem Komposit erzeugt [4, 18].

Für die Siloranreparatur liegen bislang nur wenige Daten vor [6, 8, 11, 12].



**Abbildung 1** Graphische Darstellung der Versuchsergebnisse.

**Figure 1** Graphic display of the test results.

(Abb. 1: L. Hoy, A.K. Lührs)

Ziel dieser Studie war es daher, verschiedene Verfahren zur Oberflächenbehandlung bei der Siloranreparatur zu untersuchen. Die getestete Nullhypothese besagt, dass die Mikrozugfestigkeit von Siloranreparaturen durch verschiedene Oberflächenbehandlungen nach 6-monatiger Alterung nicht beeinflusst wird.

## Material und Methode

Zur Quantifizierung der Mikrozugfestigkeit (microtensile bond strength,  $\mu$ TBS) der reparierten Siloranoberflächen wurden 54 Probelöcher (5x5x5 mm) mittels Schichttechnik in Teflonformen hergestellt (zwei Schichten Siloran à 2,5 mm Dicke, Polymerisationszeit 40 s pro Schicht). Die letzte Schicht wurde nach Aufbringen einer transparenten Kunststoffmatrize mit der direkt aufgesetzten Polymerisationslampe (Elipar Freelight 2, 3M Espe, Seefeld, Deutschland) ausgehärtet.

Um einen einheitlichen Polymerisationsgrad zu erzielen, betrug die Leistung der LED mindestens 1000 mW/cm<sup>2</sup> (Kontrolle mittels Bluephase Meter, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

Die Probekörper wurden anschließend bei 37°C für 24 h in Kochsalzlösung gelagert. Im Anschluss wurden alle Probekörper mit 600 grit Schleifpapier

unter Wasserkühlung angeraut (600 grit, Bühler GmbH, Düsseldorf, Deutschland), mit 37 %-iger Orthophosphorsäure für 10 s angeätzt und für 30 s mit Wasser abgespült. Danach erfolgte die weitere Oberflächenbehandlung jedes einzelnen Blocks. Die Blöcke wurden randomisiert den neun Testgruppen (je n = 6) zugeordnet und einer der nachfolgenden Oberflächenbehandlungen unterzogen:

- keine weitere zusätzliche Oberflächenbehandlung (NT), Negativkontrolle
- Siloran Bonding (B)
- Siloran Primer und Bonding (P/B)
- Sandstrahlen mit Aluminiumoxid (SB)
- SB mit B (SB/B)
- SB mit P/B (SB/P/B)
- Silikatisierung und Silanisierung (CJ)
- CJ mit B (CJ/B)
- CJ mit P/B (CJ/P/B)

Das Aluminiumoxid (Rønvig Dental Mfg. A/S Daugaard, Dänemark) und der CoJet Sand (3M Espe, Seefeld) wurden mittels eines Sandstrahlgerätes appliziert (Dento-Prep, Rønvig Dental Mfg. A/S Daugaard, Dänemark), wobei ein standardisierter Abstand von 5 mm und eine Dauer von 10 s eingehalten wurden. Als Silan wurde in den Gruppen CJ, CJ+B und CJ+P/B Monobond S verwendet (Ivoclar Vivadent, Ellwangen). Das Siloran-Adhäsiv wurde nach Herstellerangaben appliziert und polymerisiert. Die Probekörper wurden danach erneut

in eine Teflonform (10x5x5 mm) eingespannt und Siloran wurde wie oben beschrieben auf die vorbehandelte Fläche aufgebracht.

Zur optischen Unterscheidung zwischen Primär- und Reparaturmaterial wurde für den ersten Siloran-Block die Farbe C2 bzw. B2 und für die Reparatur die Farbe A2 bzw. A3 verwendet. Als Positivkontrolle (PK) wurden 10 x 5 x 5 mm große Siloranblöcke verwendet (aufgebaut in vier Schichten in einer entsprechenden Teflonform wie oben beschrieben, jedoch ohne Matrize nach der zweiten Schicht). Alle Blöcke wurden mittels einer wassergekühlten Niedertourensäge (Isomet, Bühler GmbH, Düsseldorf, Deutschland) in Stäbchen mit einer Verbundfläche von ca. 1 mm<sup>2</sup> gesägt, wie in [16] beschrieben. Pro Block konnten zwischen 9 und 12 Stäbchen-Prüfkörper gewonnen werden, sodass in jeder Gruppe im Überschuss Stäbchen vorhanden waren (49–66 Stäbchen/Gruppe), welche zeitgleich unter identischen Bedingungen hergestellt wurden. Sämtliche Materialien und ihre Anwendung zeigt Tabelle 1. Alle Gruppen wurden einem Thermocycling (5000 Zyklen, bei 5°C und 55°C) unterzogen und für 6 Monate bei 37°C in Kochsalzlösung gelagert. Vor Durchführung des Mikrozugversuchs wurde die genaue Querschnittsfläche jedes Stäbchens mittels einer digitalen Schieblehre (Powerfix Electronic Digital Caliper, Padget Services, London, England) vermessen.

Die Stäbchen wurden anschließend unter einem Lichtmikroskop (Stemi SV 6, Zeiss, Jena, Deutschland) auf eventuelle Fehlerstellen (Blasen, inhomogene Schichtung etc.) kontrolliert. Fehlerbehaftete Stäbchen wurden ausgeschlossen, überzählige Stäbchen wurden randomisiert verworfen. Die Stäbchen wurden adhäsiv auf sandgestrahlten Aluminiumträgern befestigt und dem Mikrozugversuch in einer Universal-Prüf-Maschine (MTD-500, SD Mechatronik, Feldkirchen-Westerham, Deutschland) zugeführt (Vorschub 1 mm/min). Jede Testgruppe und die Kontrollgruppe bestand aus 30 Stäbchen. Jedes Stäbchen wurde bis zum Bruch belastet, die Frakturmodi wurden anschließend unter dem Lichtmikroskop untersucht (8-fache bis 20-fache Vergrößerung). Stäbchen, die während der Befestigung in der Prüfmaschine durch manuelles Einsetzen frakturiert

Produkt	Hersteller	LOT	Anwendung
DeTrey® Conditioner 36	Dentsply, Konstanz, Deutschland	0805002679	Oberflächenkonditionierung für 10 s. Abspülen für 30 s mit Wasser, Trocknen
CoJet Sand	3M Espe, Seefeld, Deutschland	306931	Abstrahlen der Oberfläche mittels Sandstrahler aus 5 mm Entfernung für 10 s
Monobond S	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	15382	Auftragen, Einwirken für 60 s, Verblasen
Aluminiumoxid	Rønvig Dental Mfg. A/S Daugaard, Dänemark	Item No 1906	Abstrahlen der Oberfläche mittels Sandstrahler aus 5 mm Entfernung für 10 s
Siloran Primer	3M Espe, St. Paul, USA	7AH	Auftragen für 15 s, Verblasen
Siloran Bond	3M Espe, St. Paul, USA	7AG	Auftragen für 10 s, Verblasen, Polymerisieren für 10 s
Filtek™ Siloran C2	3M Espe, St. Paul, USA	8AJ	Pro Inkrement (Dicke max. 2,5 mm), Polymerisationszeit 40 s.
Filtek™ Siloran A2	3M Espe, St. Paul, USA	8BK	Pro Inkrement (Dicke max. 2,5 mm), Polymerisationszeit 40 s
Filtek™ Siloran B2	3M Espe, St. Paul, USA	8BB	Pro Inkrement (Dicke max. 2,5 mm), Polymerisationszeit 40 s
Filtek™ Siloran A3	3M Espe, St. Paul, USA	8CP, 8BR	Pro Inkrement (Dicke max. 2,5 mm), Polymerisationszeit 40 s

**Tabelle 1** Materialien, Hersteller und Anwendung.**Table 1** Materials, manufacturer and manufacturers' instructions.

ten, wurden nicht in die statistische Analyse einbezogen. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und des Tukey HSD-Tests bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

## Ergebnisse

Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Oberflächenbehandlungen ( $p < 0,001$ ). Die Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Bruch-

muster für die einzelnen Gruppen sind in Abbildung 1 und Tabelle 2 aufgeführt.

Die höchste Verbundfestigkeit ( $50,0 \pm 11,5$  MPa) wurde für Gruppe CJ/B festgestellt, diese war signifikant unterschiedlich zur Positiv- ( $40,0 \pm 12,2$  MPa,  $p = 0,027$ ) und zur Negativkontrolle ( $21,1 \pm 6,6$  MPa,  $p < 0,001$ ), die insgesamt die niedrigste Verbundkraft besaß. Alle anderen Gruppen waren signifikant verschieden zur Gruppe NT. Im Vergleich der unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen wies die Gruppe P/B den niedrigsten Wert für die Verbundfestigkeit auf ( $31,8 \pm 9,3$  MPa), der aber nicht signifikant unterschiedlich zu den Gruppen CJ/

P/B, SB/P/B, CJ, SB und zur Positivkontrolle war.

Betrachtet man die einzelnen Vorbehandlungsmethoden differenziert, so zeigten sich für die Gruppen, in denen nur das Bonding aufgetragen wurde, signifikant höhere Haftwerte (B vs. P/B ( $p = 0,041$ ), CJ/B vs. CJ/P/B ( $p < 0,001$ )). Die gleiche Tendenz zeigte auch die Gruppe SB/B im Vergleich zur Gruppe SB/P/B. Allerdings war der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen nicht signifikant ( $p = 0,104$ ). Die zusätzliche Anwendung des Siloranprimers führte insgesamt zu niedrigeren Verbundkräften. Die Frakturanalyse ergab für die Gruppen CJ und

	PK	NT	B	P/B	SB	SB/B	SB/P/B	CJ	CJ/B	CJ/P/B
<b>MW (MPa)</b>	40,0 <sup>B,C</sup>	21,1 <sup>A</sup>	41,4 <sup>C,D</sup>	31,8 <sup>B</sup>	41,0 <sup>B,C,D</sup>	42,3 <sup>C,D</sup>	33,6 <sup>B,C</sup>	37,2 <sup>B,C</sup>	50,0 <sup>D</sup>	33,3 <sup>B,C</sup>
<b>SD</b>	12,2	6,6	11,8	9,3	11,7	12,2	9,9	13,3	11,5	13,8
<b>n</b>	30	30	30	30	30	29	30	29	30	29

**Tabelle 2** Versuchsergebnisse nach Thermocycling und 6-monatiger Wasserlagerung. MW= Mittelwert, SD= Standardabweichung, n = Anzahl der getesteten Stäbchen, gleicher hochgestellter Buchstabe = kein statistisch signifikanter Unterschied.

**Table 2** Results after 6-months aging by water storage and thermocycling. MW= mean value; SD= standard deviation; n = number of tested specimens, same superscript letter indicates no statistical difference.

Frakturmodus	PK	NT	B	P/B	SB	SB/B	SB/P/B	CJ	CJ/B	CJ/P/B
<b>adhäsiv</b>	0 (0 %)	30 (100 %)	22 (73,3 %)	27 (90 %)	25 (83,3 %)	24 (82,8 %)	26 (86,7 %)	13 (44,8 %)	7 (23,3 %)	17 (58,6 %)
<b>kohäsiv</b>	30 (100 %)	0 (0 %)	8 (26,7 %)	3 (10 %)	5 (16,7 %)	5 (17,2 %)	4 (13,3 %)	16 (55,2 %)	23 (76,7 %)	12 (41,4 %)
<b>im Primärmaterial</b>		0 (0 %)	4 (50,0 %)	1 (33,3 %)	1 (20,0 %)	1 (20,0 %)	3 (75,0 %)	9 (56,3 %)	12 (52,2 %)	6 (50,0 %)
<b>im Reparaturmaterial</b>		0 (0 %)	4 (50,0 %)	2 (66,7 %)	4 (80,0 %)	4 (80,0 %)	1 (25,0 %)	7 (43,7 %)	11 (47,8 %)	6 (50,0 %)

**Tabelle 3** Frakturmodalitäten.

**Table 3** Fractur analysis.

(Tab. 1–3 und Abb. 1: B. Görmann)

CJ/B hauptsächlich kohäsive Bruchmuster (55,2 % bzw. 76,7 %), für alle anderen Gruppen konnten mehrheitlich adhäsive Bruchmuster ermittelt werden (Tab. 3). Die Betrachtung der kohäsiven Bruchmuster ergab sowohl Frakturen im Primär- als auch im Reparaturmaterial, welche aufgrund der farblichen Differenz zwischen den Materialien auszumachen waren. Für die Gruppe CJ/B lag eine nahezu ausgeglichene Verteilung der kohäsiven Bruchmuster vor (52,2 % im Primärmaterial, 47,8 % im Reparaturmaterial). Ähnliche Ergebnisse zeigte die Gruppe CJ (56,3 % im Primärmaterial, 43,7 % im Reparaturmaterial).

## Diskussion

Die Reparatur von Kompositrestaurationen als zahnhartsubstanzschonende Behandlungsmaßnahme ist heute ein fester Bestandteil des restaurativen Thera-

piespektrums. Für die Reparatur von adhäsiv verankerten Siloranrestorationen wurden verschiedene Reparaturmethoden beschrieben, die den Haftverbund zwischen Primärmaterial und Reparaturmaterial beeinflussen können. Die statistische Auswertung der Ergebnisse für die Reparatur von Siloranrestorationen mit Siloran zeigte signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Oberflächenbehandlungen. Die Nullhypothese kann daher aufgrund der vorliegenden Daten nicht bestätigt werden.

Eine wesentliche Variable ist dabei die Oberflächenbehandlung. In Bezug auf Siloranreparaturen sind in der wissenschaftlichen Literatur nur wenige Daten vorhanden. Wird auf eine Siloranoberfläche sofort ein Siloran adhären polymerisiert, so ergaben sich im Scherversuch Verbundfestigkeiten von 26,7 MPa, nach 20 s 25,5 MPa, nach 5 Minuten 22,4 MPa. [20]. Im Gegensatz zu der Methodik dieser Studie wurden

jedoch weder ein Adhäsivsystem angewendet noch eine Oberflächenbehandlung durchgeführt. Die Ergebnisse sind zu vergleichen mit der Gruppe der Positivkontrolle (40,0 ± 12,2 MPa). Jedoch ist zu beachten, dass in unserer Untersuchung die Proben vor Ermittlung der Zugfestigkeit eine Alterung von 6 Monaten inkl. Thermocycling durchliefen.

Die Versuchsanordnung orientierte sich bezüglich der Auswahl der Oberflächenbehandlungen an etablierten Methoden zur Reparatur von konventionellen Kompositen. Angestrebt wurde die Vorbereitung einer optimal mechanisch und chemisch retentiven Fläche. Im Rahmen der Kompositreparatur ergab die Vorbehandlung der Reparaturoberfläche mit CoJet und dem entsprechenden Bondingsystem bei Untersuchungen mit Tetric Ceram die höchsten Werte der Verbundfestigkeit (25,5 MPa) [5]. In unserer Untersuchung erhielten wir für die vergleichbaren Silo-

ran-Gruppen CJ, CJ/B und CJ/P/B Werte von 37,2 MPa, 50,0 MPa und 33,3 MPa, wobei die Vorbehandlung CJ/B die höchsten Verbundwerte aufwies.

Moser et al. (2008) zeigten in einer Studie, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen Siloranen und Methacrylaten nach Reparatur und Alterung gibt. In der Studie wurden Oberflächen mit dem entsprechenden Material repariert, eine Oberflächenbehandlung erfolgte unter Verwendung der jeweils entsprechenden Adhäsivsysteme oder ohne Auftragen des Adhäsivsystems. Die Alterung variierte zwischen einer Woche und einem Monat [11].

In der vorliegenden Studie wurde als Testverfahren der Mikrozugversuch eingesetzt. Dieser vermeidet die Entstehung kohäsiver Spannungsbrüche durch horizontalen Kraftansatz und erlaubt eine bessere Stressverteilung auf einer kleinen Oberfläche von ca. 1 mm<sup>2</sup>. Die Konfiguration der Probekörper für den Zugversuch variiert in der Literatur von komplexen zylindrischen Uhrskonfigurationen bis zu rechteckigen, nicht-getrimmten Formen. In dieser Studie wurden rechteckige Probekörper verwendet, da die Verbundfläche bei der Probekörperherstellung einem geringeren „Stress“ ausgesetzt wird [16]. Unabhängig von der Konfiguration der Probekörper resultieren kleinere Oberflächen in höheren Verbundfestigkeiten. Im Vergleich zu anderen Methoden, wie z. B. der Bestimmung der Scherhaftkraft, zeigte der Mikrozugversuch höhere Mittelwerte und kleinere Variationskoeffizienten [1]. Die Ergebnisse beider Methoden können daher nur in Bezug auf ihre Rangfolge verglichen werden.

In der vorliegenden Studie wurden die Proben einer künstlichen Alterung durch Thermocycling unterzogen. Beim Vergleich der Ergebnisse mit der Reparatur nach 24 h ist der Effekt der künstlichen Alterung erkennbar [8]: in beiden Untersuchungen wies die Gruppe CJ/B die höchsten Verbundfestigkeiten auf

(mit TC 50,0 MPa, ohne TC 62,1 MPa). Eine Minderung der Haftkraft nach TC war nachweisbar, da diese Tendenz für alle Gruppen nahezu identisch ist.

Um die Auswahl eines geeigneten Reparaturmaterials bei der Siloranreparatur zu treffen, können die Proben entweder mit dem identischen Material oder mit einem konventionellen Komposit repariert werden. Ivanovas et al. (2010) konnten nachweisen, dass die Reparatur eines Silorans mit einem Siloran unter Verwendung eines „Siloran-Flowable“ hohe Verbundwerte im Scherversuch (33,0 MPa) ergab [6]. In Abweichung zu der oben beschriebenen Methode stand hier der direkte Vergleich von Methacrylat-basiertem Komposit und Siloran im Fokus der Untersuchung. Die Vergleichbarkeit mit der vorliegenden Studie bildet sich in den Gruppen ohne zusätzliche Oberflächenbehandlung ab (B und P/B). Übereinstimmend lässt sich sagen, dass der Gebrauch eines „Bonding Agents“ (ungefüllt) oder eines Flowables (gefüllt) ausschlaggebend für eine effektive Reparatur von Siloranen ist.

Differenzierter zu betrachten ist eine Siloranreparatur im klinischen Zusammenhang. Bei der Indikationsstellung „Füllungsreparatur“ ist nicht immer eine exakte Angabe über die Art des adhäsiven Füllungsmaterials *in situ* möglich. In die Überlegung mit einbezogen werden muss, wie ein sicherer Verbund eines siloranbasierten Komposites mit dem gewählten Reparaturwerkstoff zu bewerten ist. Handelt es sich um ein Siloran, so ist als Resultat der oben beschriebenen Methode bei einer Reparatur mit Siloran die Silikatisierung, Silanisierung und die Anwendung des zugehörigen Bonding Agents anzuraten.

Handelt es sich um ein Siloran-basiertes Komposit, welches mit einem konventionellen Komposit repariert wird, so ist nach der vorliegenden Studie über die Vorgehensweise bei der

Reparatur keine genaue Aussage zu treffen. Weitere Untersuchungen hinsichtlich dieser Thematik sind notwendig.

## Schlussfolgerung

Silorane wiesen nach der Reparatur in Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung eine hohe Mikrozugfestigkeit auf. Die für die Reparatur konventioneller Komposite etablierten Methoden sind gleichermaßen für Silorane anwendbar. Die Oberflächenbehandlung mit CoJet und Silanisierung oder Sandstrahlen mit Aluminiumoxid und der Anwendung des Siloranbondings ergaben hohe Verbundwerte. Die zusätzliche Anwendung des Silorane-Primers führt jedoch zu verminderten Haftwerten.

## Danksagung

Besonderer Dank geht an Dr. L. Hoy, Institut für Biometrie, Medizinische Hochschule Hannover, für die Unterstützung während der statistischen Auswertung unserer Daten. 

**Interessenkonflikt:** Die Autorin/ der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht. Die in dieser Studie verwendeten Materialien wurden durch die Firma 3M Espe, Seefeld, zur Verfügung gestellt.

### Korrespondenzadresse

Barbara Görmann  
Dr. Anne-Katrin Lührs  
Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde  
Medizinische Hochschule Hannover  
Carl Neuberg-Str. 1  
30625 Hannover  
E-Mail: barbara.goermann@yahoo.de;  
Luehrs.Anne-Katrin@mh-hannover.de

## Literatur

- Cardoso PE, Braga RR, Carrilho MR: Evaluation of micro-tensile, shear and tensile tests determining the bond strength of three adhesive systems. *Dent Mater* 14, 394–398 (1998)
- 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* 19, 90–99 (2007)
- Foitzik M, Attin T: Filling revision – possibilities and execution. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114, 1003–1011 (2004)
- Frankenberger R, Roth S, Krämer N, Pelka M, Petschelt A: Effect of preparation

- mode on Class II resin composites repair. J Oral Rehabil 30, 559–564 (2003)
5. Hannig C, Laubach S, Hahn P, Attin T: Shear bond strength of repaired adhesive filling materials using different repair procedures. J Adhes Dent 8, 35–40 (2006)
  6. Ivanovas S, Hickel R, Ilie N: How to repair fillings made by Silorane-based composites. Clin Oral Investig (2010), DOI: 10.1007/s00784-010-0473-z [Epub ahead of print]
  7. Krejci I, Lieber CM, Lutz F: Time required to remove totally bonded tooth-colored posterior restorations and related tooth substance loss. Dent Mater 11, 34–40 (1995)
  8. Lühns AK, Görmann B, Jacker-Guhr S, Geurtsen W: Repairability of dental siloranes in vitro. Dent Mater 27, 144–149 (2011)
  9. Maneenut C, Sakoolnamarka R, Tyas MJ: The repair potential of resin composite materials. Dent Mater 27, e20–27 (2011)
  10. 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 29, 481–508 (2004)
  11. Moser S, Hickel R, Ilie N: Strength of aged repairs made by silorane- and dimethacrylate-based composites. Abstract Nr. 0049, Pan European Federation of the International Association for Dental Research, London (2008), [http://iadr.confex.com/iadr/pef08/techprogram/abstract\\_111428.htm](http://iadr.confex.com/iadr/pef08/techprogram/abstract_111428.htm)
  12. Moser S, Hickel R, Ilie N: Are siloranes compatibel with methacrylate-based composites? Dent Mater 25, e14–e15 (2009)
  13. 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 23, 1276–1282 (2007)
  14. Palin WM, Fleming GJ, Nathwani H, Burke FJ, Randall RC: In vitro cuspal deflection and microleakage of maxillary premolars restored with novel low-shrink dental composites. Dent Mater 21, 324–235 (2005)
  15. Papacchini F et al.: Composite-to-composite microtensile bond strength in the repair of a microfilled hybrid resin: effect of surface treatment and oxygen inhibition. J Adhes Dent 9, 25–31 (2007)
  16. Pashley DH et al.: The microtensile bond test: a review. J Adhes Dent 1, 299–309 (1999)
  17. Passos SP, Ozcan M, Vanderlei AD, Leite FP, Kimpara ET, Bottino MA: Bond strength durability of direct and indirect composite systems following surface conditioning for repair. J Adhes Dent 9, 443–447 (2007)
  18. Selcuk S: Intraorale Reparatur von festsitzendem Zahnersatz. Med Diss, Hamburg 2006
  19. Shawkat ES, Shortall AC, Addison O, Palin WM: Oxygen inhibition and incremental layer bond strengths of resin composites. Dent Mater 25, 1338–1346 (2009)
  20. Tezvergil-Mutluay A, Lassila LV, Vallittu PK: Incremental layers bonding of silorane composite: the initial bonding properties. J Dent 36, 560–563 (2008)
  21. Watts DC, Wahbi MA: Shrinkage-stress kinetics of silorane versus dimethacrylate resin-composites. Abstract No. 2680, IADR 83rd General Session and Exhibition, Baltimore (2005), <http://iadr.confex.com/iadr/2005Balt/techprogramforcd/A63873.htm>
  22. Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R: Siloranes in dental composites. Dent Mater 21, 68–74 (2005)

# Wer noch bohrt, hat kein Icon.

Abwarten, gucken, fluoridieren – und dann doch irgendwann bohren? Bis gestern vielleicht die einzige Möglichkeit. Heute schließt die Kariesinfiltration die Lücke zwischen »wait & see« und »drill & fill«. Schonend und einfacher als man denkt.

Im Bild: der Icon-Approximal-Tip.  
Nähere Infos unter [dmg-dental.com](http://dmg-dental.com)