

V. Gisler¹, A. Stierli², J. Fischer³, N. Enkling¹, R. Mericske-Stern¹

Rauigkeitsabhängige Verbundfestigkeit eines selbstadhäsiven Kompositzementes an Dentin



V. Gisler

Das Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war die Prüfung der Verbundfestigkeit eines selbstadhäsiven Kompositzementes abhängig von der Oberflächenrauigkeit. Dazu wurden Scherversuche am Dentin für einen dualhärtenden, selbstadhäsiven, universellen Kompositzement (RelyX Unicem Aplicap) im Vergleich zu einem konventionellen Mehrkomponentensystem (RelyX ARC) des gleichen Herstellers durchgeführt und diskutiert. Es wurden Messungen der Adhäsion in Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit durchgeführt. Dabei handelte es sich um jeweils zehn Proben jeder Rauigkeit von SiC 220, 500, 1000, 2400 und 4000. Die Resultate zeigten, dass ein selbstadhäsives Kompositzement bezüglich Scherfestigkeit einem konventionellen Kompositzement mit selbstkonditionierendem Primer nicht nur gleichwertig, sondern überlegen sein kann. Zusätzliche praxisbezogene, speziell mit einem 15 µm Finierdiamanten behandelte Oberflächen lieferten eine durchschnittliche Scherfestigkeit von 4.12 ± 1.53 MPa bei RelyX ARC und 8.80 ± 2.67 MPa bei RelyX Unicem Aplicap. Unter Laborbedingungen hergestellte, feinere Oberflächen zeigten keine Signifikanz bezüglich Unterschiedlichkeiten in der Verbundfestigkeit. Die beobachtete Rauigkeitsabhängigkeit verlief dabei bei beiden Systemen ähnlich.

Schlüsselwörter: selbstadhäsive Kompositzemente, intertubuläres Dentin, Oberflächenrauigkeit, Scherkräfte

Bond strength of a self-adhesive composite to dentine in relation to surface roughness

The aim of this in-vitro study was to test the bond strength of a self-adhesive composite cement in relation to surface roughness. Shear tests were carried out on dentine and assessed for a dual-curing, self-adhesive universal composite cement (RelyX Unicem Aplicap) and compared with a conventional multi-component system (RelyX ARC) from the same manufacturer. Adhesion was measured in relation to surface roughness. This involved ten tests for each roughness of SiC 220, 500, 1000, 2400 and 4000. The results indicated that the shear bond strength of a self-adhesive composite cement is not only equal to that of a conventional composite cement with self-conditioning primer but is also superior in some cases. Additional clinically based tests for surfaces specially conditioned with a 15 µm finishing diamond produced a mean shear bond strength of 4.12 ± 1.53 MPa with RelyX ARC and 8.80 ± 2.67 MPa with RelyX Unicem Aplicap. Finer surfaces produced under laboratory conditions did not exhibit any significant differences in relation to the bond strength. The bond strength characteristics observed in relation to the surface roughness were similar for both systems.

Keywords: Self-adhesive composite cement, intertubular dentine, surface roughness, shear forces

¹ Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern

² Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahnmedizin, Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern

³ Klinik für Kronen- und Brückenprothetik, Teilprothetik und Zahnärztliche Materialkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Zürich

¹ Department of Dental Prosthetics, Departments of Dentistry of the University of Bern, Switzerland

² Department of Conservative, Preventive and Paedodontic Dentistry, Departments of Dentistry of the University of Bern, Switzerland

³ Department of Crown and Bridge Prosthetics, Partial Prosthetics and Dental Materials Science, Centre for Oral and Maxillofacial Dentistry of the University of Zürich, Switzerland

Übersetzung: LinguaDent

1 Einleitung

Die Mechanismen, auf denen ein reproduzierbarer dauerhafter Verbund zwischen Kompositen und dem Schmelz besteht, sind seit langem bekannt [3]. Hingegen ist bezüglich des Verbundes von Kompositen am Dentin noch immer nicht vollständig geklärt, in wie weit die einzelnen morphologisch unterscheidbaren Strukturen am Verbund beteiligt sind [12, 24, 28].

Dentin lässt sich in der Praxis aus rein physikalischen Gründen nicht absolut trocknen; Komponenten eines Dentinhaftmittels müssen deshalb hydrophil sein. Bei Zug- und Scherspannungen größer als 14 bis 15 MPa ist mit kohäsiven Abrissen zu rechnen [22]. Komposite und Kompositzemente sind im unpolymerten Zustand gefüllte Gemische von Monomeren, die als Dimethacrylate nach der Formel M-R-M aufgebaut sind, wobei R für das organische Zwischenglied und M für die reaktive Methacrylgruppe $H_2C=C(CH_3)-CO-O-$ steht. Komposite sind im Verhältnis zum Dentin hydrophob, zeigen eine Polymerisationsschrumpfung von 2 bis 3 Vol.% und können im Rahmen der Aushärtung Zugspannungen zwischen 2.8 und 7.3 MPa, im Maximum bis zu 30 MPa entwickeln [5]. Das Adhäsiv muss die Oberflächenunterschiede von Dentin und Komposit überbrücken [14].

Eine wesentliche Rolle spielt das Substrat, d. h. das Dentin, weil der Verbund maßgeblich durch inhärente Faktoren bestimmt wird, z. B. die Lokalisation des Dentinareals [26], den Grad der Sklerosierung [15] und Veränderungen der Zusammensetzung durch Karies oder chemische Agenzien [18, 23]. Während die Eigenschaften der Haftvermittler durch ihre Zusammensetzung beeinflusst werden können, ist eine Einflussnahme auf das Dentin nur auf Variationen der Vorbehandlung beschränkt.

Der Mechanismus der meisten aktuellen Dentinhaftvermittler beruht auf der Penetration von Monomeren in die durch Säureätzung (Konditionierung) eröffneten Dentintubuli und in das oberflächlich demineralisierte intertubuläre Dentin [27].

Selbstadhäsive Kompositzemente erleichtern den Vorgang der Zementierung. Statt Ätzen, Abspülen, Primern und Bonden muss bei diesen Zementen nur die Zahnhartsubstanz gereinigt und der Zement aufgebracht werden [2]. Phosphorylierte (Meth)Acrylate sind dazu in der Lage, Selbstadhäsion zu schaffen. Die saure Natur der phosphorylierten Acrylate erlaubt eine Demineralisierung der Zahnoberfläche und Penetration des Zementes in dieselbe (chemische Bindung am Dentin). Nach der Polymerisation wird eine mikromechanische Retention zwischen Zement und Zahn erreicht.

Das Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war die Untersuchung der Hypothese, dass die Verbundfestigkeit eines einfach zu handhabenden selbstadhäsiven Kompositzementes an Dentin derjenigen eines konventionellen Kompositzementes mit selbstkonditionierendem Primer des gleichen Herstellers nicht unterlegen ist. Es wurden verbundbrechende Scherkräftmessungen bei verschiedenen Oberflächenrauigkeiten durchgeführt und der Bruchmodus analysiert. Es wurde dabei die Abhängigkeit der Verbundfestigkeit von der Oberflächenrauigkeit des Dentins untersucht mit einer Nullhypothese, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen existieren.

1 Introduction

Though the basic mechanisms for attaining a reproducible permanent bond between composites and enamel have been known for a long time [3], it has not yet been fully explained to what extent individual, morphologically different structures contribute to the bond strength of composite to dentine [12, 24, 28].

For purely physical reasons, dentine cannot be completely dried in practice; components of the dentine bond therefore have to be hydrophilic. Tensile and shear stresses greater than 14 to 15 MPa could result in cohesive destruction [22]. Unpolymerized composites and composite cements are filled mixtures of monomers, which are dimethacrylates and are structured according to the formula M-R-M, where R is the organic intermediate link and M the reactive methacrylate group $H_2C=C(CH_3)-CO-O-$. Composites are more hydrophobic than dentine, have a polymerization shrinkage of 2 to 3 % per vol., and could develop tensile stresses between 2.8 and 7.3 MPa during setting; they can even develop stresses up to 30 MPa [5]. The adhesive has to compensate for superficial differences between dentine and composite [14].

An important role is played by the substrate, i. e. the dentine, as the bond strength is mainly determined by inherent factors, e. g. locality of the dentine area [26], degree of sclerotisation [15] and change in composition due to caries or chemical agents [18, 23]. While the properties of the bonding agent can be influenced by its composition, dentine can only be influenced by varying the type of conditioning.

The mechanism of the majority of dentine bonding agents currently on the market is based on penetration of monomers into the dentinal tubuli, which have been exposed by acid etching (conditioning), and into the superficially demineralised intertubular dentine [27].

Self-adhesive composite cements simplify the cementation procedure. With these cements, the tooth structure simply has to be cleaned before applying the cement instead of etching, rinsing, priming, and bonding [2]. Phosphorylated (meth)acrylates are able to create self adhesion. The acidic nature of phosphorylated acrylates allows demineralization of the tooth surface and penetration of the cement in a single stage (chemical bond to the dentine). Micromechanical retention is attained between the cement and tooth following polymerization.

The aim of this study was to test the hypothesis that the bond strength to dentine of an easy-to-use, self-adhesive composite is similar to that of a conventional composite cement with a self-conditioning primer from the same manufacturer. Shear forces capable of breaking the bond were measured with different degrees of surface roughness and the modulus of rupture analysed. The relationship of the bond strength to the surface roughness of the dentine was examined based on a null hypothesis that there were no significant differences between the systems.

	RelyX Unicem	RelyX ARC
Zusammensetzung (gem. Herstellerangaben)	Pulver: Glaspulver, Initiator, Kieselsäure, Subst. Pyrimidin, Calciumhydroxid, Peroxo-Verbindung, Pigment Flüssigkeit: Methacrylierter Phosphorsäureester, Dimethacrylat, Acetat, Stabilisator, Initiator	bis-GMA, TEGDMA, Silizium- und Zirkonium-Glas
Dentin-Ätzung	Nicht nötig	35-prozentige Phosphorsäure (Scotchbond, 3M Espe), 15 s, gründlich abspülen
Dentin-Priming	Nicht nötig	Ethanol, HEMA, bis-GMA (Adper Scotchbond 1XT, 3M Espe): auftragen, leicht verblasen und während 10 s lighthärten. Filmdicke: 10 µm

Tabelle 1 Übersicht über die verwendeten Zemente und Vorbehandlungsschritte.

	RelyX Unicem	RelyX ARC
Composition (according to the manufacturer)	Powder: Glass powder, initiator, silicic acid, substituted pyrimidine, calcium hydroxide, peroxide compound, pigment Liquid: Methacrylated phosphoric acid ester, dimethacrylate, acetate, stabilizer, initiator	bis-GMA, TEGDMA, silicon and zirconium glass
Dentine etching	Not required	35 per cent phosphoric acid (Scotchbond, 3M Espe), 15 s, rinse thoroughly
Dentine priming	Not required	Ethanol, HEMA, bis-GMA (Adper Scotchbond 1XT, 3M Espe): apply, lightly blow dry and light cure for 10 s. Film thickness: 10 µm

Table 1 Overview of the cements used and conditioning stages.

(Tab. 1 u. 2 sowie Abb. 1–4: V. Gisler)

2 Materialien und Methode

2.1 Die untersuchten Zemente

Konventioneller Kompositzement mit selbstkonditionierendem Primer: 3M RelyX ARC (3M Espe, Seefeld, D) ist ein definitiver, dualhärtender Paste-Paste-Befestigungszement auf Kompositbasis, der mit dem 3M Single Bond Dental Adhesive System angewendet werden muss. Zusammen mit RelyX ARC ergibt sich ein Adhäsivsystem, das sich gemäß Herstellerangaben für die Befestigung von Keramik, Kompositen und Legierungen eignet. Zusätzlich lässt es sich auch für die Zementierung von Wurzelkanalstiften anwenden.

Selbstadhäsiver Kompositzement: 3M RelyX Unicem Aplicap (3M Espe) ist ein dualhärtender, selbstadhäsiver, universeller Komposit-Befestigungszement in einer Kapsel (Pulver-Flüssigkeit), hergestellt für adhäsives Befestigen von keramischen, metallischen oder indirekten Kompositrestaurationen.

In Tabelle 1 ist eine Übersicht der beiden Systeme gegeben.

2.2 Herstellung der Prüfkörper

Es wurden 60 kariesfreie und frisch extrahierte, dritte obere und untere Molaren, die für ein Maximum von drei Monaten in vierprozentigem Formalin gelagert wurden [13], verwendet. Die Zähne wurden mittels Specific Resin 20 (Struers, Birmensdorf, CH) in einem Kalteinbettverfahren unter Vakuum in Zylindern fixiert. Das Dentin wurde anschließend mit Hilfe einer Trennmaschine (Accutom-5, Struers) freigelegt und zur Sicherstellung einheitlicher Oberflächen maschinell beschliffen (Tegra Force/Tegra Pol, Struers).

Um die Oberflächen der Proben zu variieren, wurden diese durch vorhergehendes Beschleifen mit verschiedenen Papier-

2 Materials and methods

2.1 Cements examined

Conventional composite cement with self-conditioning primer: 3M RelyX ARC (3M Espe, Seefeld, D) is a permanent, dual-curing paste-paste composite luting cement, which is intended for use with the 3M Single Bond Dental Adhesive System. Together with RelyX ARC an adhesive system is produced that, according to the manufacturer, is suitable for the cementation of porcelain, composites and alloys. It can also be used for cementation of root canal posts.

Self-adhesive composite cement: 3M RelyX Unicem Aplicap (3M Espe) is a dual-curing, self-adhesive universal composite luting cement in a capsule (powder-liquid), manufactured for adhesive retention of porcelain, metal or indirect composite restorations.

Table 1 includes an overview of the two systems.

2.2 Fabricating the samples

Sixty caries-free, recently extracted upper and lower third molars, which were stored for a maximum of three months in a four percent formaldehyde solution [13], were used for fabricating the samples. The teeth were fixed in cylinders with Specific Resin 20 (Struers, Birmensdorf, CH) using a cold-embedding technique under vacuum. The dentine was then exposed using a cut-off machine (Accutom-5, Struers) and mechanically ground (Tegra Force/ Tegra Pol, Struers) to ensure uniform surfaces.

The surfaces were first ground with different paper grit sizes of 220, 500, 1000, 2400 to 4000 SiC to vary the surface

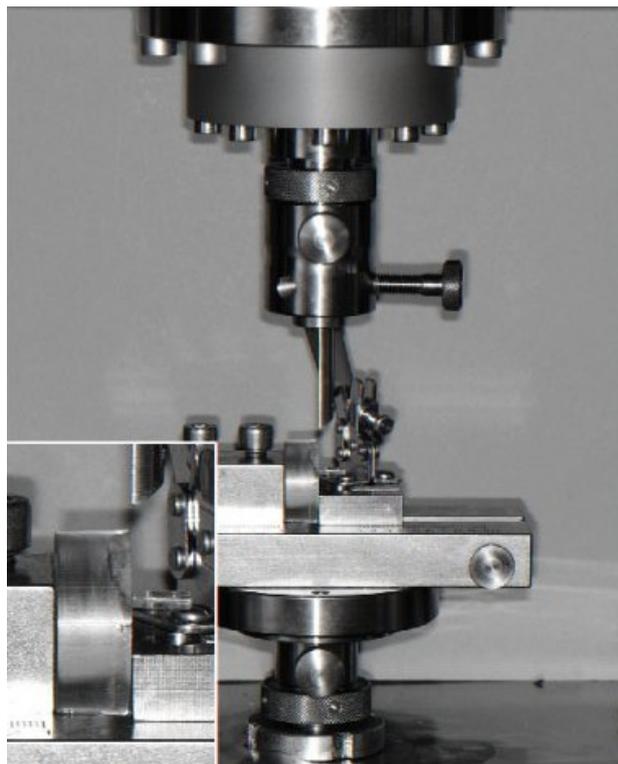


Abbildung 1 Im Harzzyylinder fixierte Probe mit angeklebtem Plexiglasstäbchen, (siehe vergrößerten Ausschnitt), eingespannt in der Universalprüfmaschine Zwick 010 für die Abscherversuche.

Figure 1 Sample fixed in the resin cylinder with bonded Plexiglas rod (see magnified section) clamped in a Zwick 010 universal testing machine for the shear tests.

körnungen von 220, 500, 1000, 2400 und 4000 SiC angeraut. Im Vergleich dazu und um den Bezug zur Praxis herzustellen, wurden weitere Proben durch Präparation mit einem 15 µm Finierdiamanten (Intensiv SA, Grancia, CH) hergestellt. Bei allen Messungen wurden die Plexiglasstäbchen während der Klebevorgänge mit einer Anpresskraft von 5 N an das Dentin gedrückt.

Zur Bestimmung der Oberflächenrauigkeiten, welche mit den erwähnten SiC-Papieren und dem Finierdiamanten erreicht werden konnten, stand ein Perthometer S2 (Mahr, Göttingen, D) zur Verfügung. Damit wurde der Mittenrauwert Ra bestimmt, welcher mathematisch definiert ist als

wobei $Z(x)$ die Profilwerte des Rauheitsprofils sind und N deren Anzahl.

Gegen das Dentin wurden Plexiglasstäbchen von 3 mm Durchmesser und einem Zentimeter Länge geklebt. Um die Haftung der Kompositzemente am Plexiglas zu verbessern, wurden die Stäbchen an der Klebeseite mit einem Druck von 2 bar in einem Abstand von 1 mm bis 4 mm rechtwinklig zur Zylinderoberfläche sandgestrahlt. Durch eine Klebvorrichtung wurde sichergestellt, dass die Stäbchen senkrecht an das Dentin geklebt wurden.

Das Anmischen der Kompositzemente erfolgte gemäß Herstellerangaben. Die Überschüsse wurden mit einem Skalpell entfernt, und nach Ende der Selbsthärtung wurde bei beiden Kompositzementen von der Seite mit 700 mW/cm² für 40 Sekunden definitiv polymerisiert. Schließlich wurden die Proben in einem Wasserbad (destilliertes Wasser bei einer Temperatur von 37° C) während 24 Stunden stehend gelagert. Das Wasserbad seinerseits befand sich in einem Wärmeschrank (UM 200 Memmert, Schwabach, D).

roughness of the samples. Other samples were prepared with a 15 µm finishing diamond (Intensiv SA, Grancia, CH) as a comparison and to simulate clinical conditions. The Plexiglas rods were pressed onto the dentine with an application force of 5 N during the adhesive procedure for all measurements.

A Perthometer S2 (Mahr, Göttingen, D) was used for determining the degree of surface roughness, which was produced using the above-mentioned SiC papers and finishing diamonds. A mean roughness value of R_a was determined – expressed mathematically as

with $Z(x)$ being the profile values of the roughness profile and N the number of values.

Plexiglas rods 3 mm in diameter and one centimetre long were bonded to the dentine. The ends of the rods to be bonded were sandblasted at a distance of 1 mm to 4 mm at right angles to the surface of the cylinder using a pressure of 2 bar to improve the bond of the composite to the Plexiglas. A bonding apparatus was used to ensure that the rods were bonded at right angles to the dentine.

The composite cement was mixed according to the manufacturer's instructions. Any excess was removed with a scalpel and both cements were fully polymerized from the side using 700 mW/cm² for 40 seconds after self curing. Finally, the samples were stored upright in a water bath (distilled water at a temperature of 37° C) for 24 hours. The water bath was in a heating chamber (UM 200 Memmert, Schwabach, D).

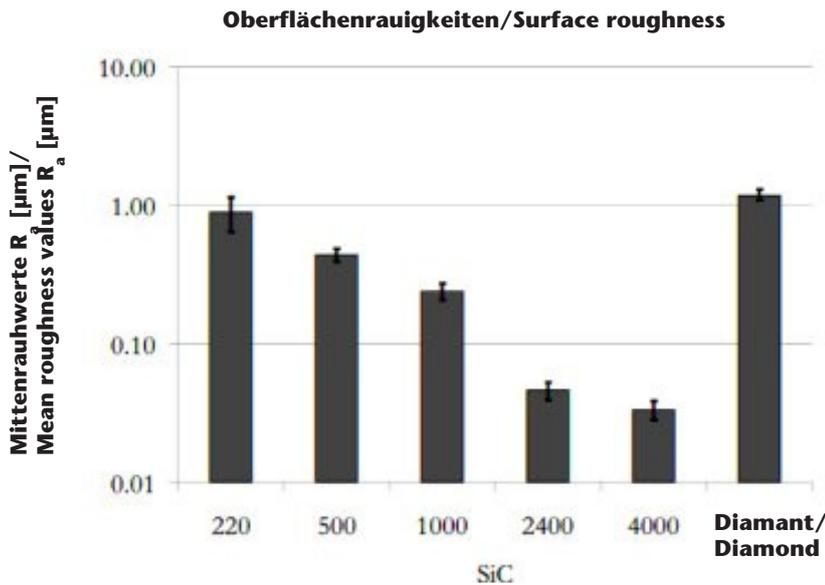


Abbildung 2 Logarithmische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittenrauwerte R_a für verschiedene Oberflächenbeschleifungen.

Figure 2 Logarithmic scale illustration of the means and standard deviations of the average roughness R_a for different surface preparations.

2.3 Abscherversuche

Nach erfolgter Wasserlagerung wurde die Probe mit angeklebtem Plexiglasstäbchen auf der Seite des Epoxidharzes in eine Haltevorrichtung eingespannt, so dass das Stäbchen jeweils freilag (vergrößerter Ausschnitt von Abbildung 1). Der Punkt der Kraftapplikation befand sich in 1 mm Abstand von der Kante des eingespannten Epoxidzylinders am frei hängenden Plexiglasstäbchen. Unter diesen Voraussetzungen wurde die Probe in die Universalprüfmaschine (Z 010, Zwick, Ulm, D) eingespannt und mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit von 2.5 mm/min abgeschert. Festgehalten wurde dabei die maximale Kraft bei eintretendem Bruch. Die Prüfanordnung ist in Abbildung 1 gezeigt.

Alle Proben wurden nach dem Abschern lichtmikroskopisch analysiert und nur diejenigen Proben ausgewertet, bei denen die Klebeschicht zu mehr als 50 % auf dem Plexiglasstäbchen verblieben war. Damit wurde sichergestellt, dass die Verbundkraft zwischen Zement und Dentin gemessen wurde und nicht diejenige zum Plexiglasstäbchen.

Die Experimente zu den Scherkräftmessungen, die zum Bruch des Zementes am Dentin führten, wurden parallel für beide Kompositzemente durchgeführt. Pro Versuchsaufbau wurden jeweils zehn Proben vermessen. Dabei wurden für die gesamte Studie insgesamt 60 Zähne gebraucht. Deren Oberflächen wurden nach jedem Abscherversuch wieder neu präpariert und für weitere Versuche verwendet (dabei wurde die Anzahl vorhergehender Beschleifungen notiert, um Messvariationen aufgrund dieser ausschließen zu können). Damit für die einzelnen Resultate jeweils zehn Messungen vorhanden waren, bei denen der Bruch im Kompositzement und nicht an den Verbundstellen zum Plexiglas erfolgte (was in 2 % der Fälle vorkam), waren in einigen Versuchsserien zusätzliche Proben und Messungen nötig. Die fehlerhaften Messungen wurden verworfen. Die Resultate wurden mit dem Student's t-Test und dem Wilcoxon-Test auf Signifikanz (Signifikanzniveau $p < 0.05$) geprüft. Dazu wurde die Prozedur Univariate des Programms SAS (SAS Institute Inc., Cary NC, USA) verwendet.

2.3 Shear tests

After storage in water, the samples with the bonded Plexiglas rods were clamped on the side of the epoxy resin in a jig such that the rod was exposed (magnified section, Figure 1). The force application point was 1 mm from the edge of the clamped epoxy cylinder at the exposed Plexiglas rod. Under these test conditions the sample was clamped in a universal testing machine (Z 010, Zwick, Ulm, D) and sheared off using a constant feed speed of 2.5 mm/min. The maximum force at the point of fracture was recorded. The test set-up is shown in Figure 1.

All the samples were analysed using a light microscope and only samples with more than 50 % of the adhesive layer remaining on the Plexiglas rods were included in the assessment. This ensured that the bond strength between cement and dentine was measured and not that between the cement and Plexiglas rods.

The experiments for measuring the shear strength, which resulted in the fracture of the cement at the dentine, were carried out simultaneously for both composite cements. Ten samples each were tested per test set-up. A total of 60 teeth were used in the tests for the entire study. The surfaces of the teeth were prepared again after each shear test and used for subsequent tests (the number of previous preparations was noted to rule out any associated variations in measurement).

Additional samples and measurements were required in some of the test series to ensure that there were ten measurements each for the individual results, in which the fracture was in the composite cement and not at the connection to the Plexiglas (which occurred in 2 % of cases). These incorrect measurements were discarded. The results were tested for significance (significance level $p < 0.05$) using the Student's t-test and Wilcoxon test. This included application of the univariate procedure of the SAS programme (SAS Institute Inc., Cary NC, USA).

Each of the significance tests compared two sample pools. The t-tests were completed under the assumption of equal variance of both sample pools and a normal distribution of results.

Oberflächenrauigkeit/ Surface roughness	RelyX ARC				RelyX Unicem Aplicap				Signifikanz Unterschiede (P-Wert) Significance differences (P value)
	Mittelwert	Standardabweichung	Min. Messwert	Max. Messwert	Mittelwert	Standardabweichung	Min. Messwert	Max. Messwert	
	Mean	Standard deviation	Min. value	Max. value	Mean	Standard deviation	Min. value	Max. value	
SiC 220	4.26	± 1.70	2.16	7.42	8.37	± 2.81	5.76	13.68	0.0019
SiC 500	4.56	± 2.16	2.36	8.55	8.43	± 2.42	5.25	11.90	0.0031
SiC 1000	5.67	± 1.60	3.79	8.71	10.08	± 2.12	6.96	14.00	0.0005
SiC 2400	5.63	± 1.79	3.49	9.20	10.15	± 3.07	5.72	14.28	0.0057
SiC 4000	4.81	± 1.92	2.53	8.43	9.32	± 2.32	5.09	12.37	0.0005
Finierdiamant Finishing diamond	4.12	± 1.53	2.82	8.00	8.80	± 2.67	5.31	12.41	0.0017

Tabelle 2 Oberflächenrauigkeitsabhängige Mittelwerte und Standardabweichungen der Scherfestigkeit für beide Zemente.

Table 2 Means and standard deviations of the shear strength for the two cements in relation to surface roughness.

Die Signifikanztests prüften jeweils zwei Probenpools gegeneinander. Der t-Test wurde unter der Annahme von gleicher Varianz jeweils beider Probenpools und bei einer Normalverteilung der Ergebnisse durchgeführt.

Auf eine Untersuchung der Einwirkung von Thermocycling wurde verzichtet, um die primäre Festigkeit und nicht die Langzeitstabilität zu untersuchen. Es ist bekannt, dass Thermocycling die Verbundfestigkeit reduziert [8].

3 Resultate

Zum Vergleich der Oberflächenrauigkeiten, wie sie zwischen den verschiedenen SiC-Papieren und dem 15 µm Finierdiamanten entstanden, wurden die Dentinoberflächen aller Proben mit dem Perthometer vermessen. Die Resultate sind in Abbildung 2 aufgezeigt.

Zusätzlich wurde versucht, die Oberflächen einiger Proben nach Bearbeitung mit SiC 4000-Schleifpapier mit Polierpaste und Poliertuch weiter zu behandeln; die resultierenden Oberflächenrauigkeiten lagen allerdings nicht unter denjenigen, welche nur durch SiC 4000-Papier entstanden waren (0.03 µm).

Bei den zum Bruch führenden Scherkräften wurden jeweils Proben mit gleicher Oberflächenbehandlung aber unterschiedlichem Zement gegeneinander verglichen. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, fällt die Verbundfestigkeit von RelyX Unicem Aplicap gegenüber derjenigen von RelyX ARC wesentlich höher aus. Statistische Auswertungen ergaben, dass diese Unterschiede zwischen den Zementen äußerst signifikant sind mit P-Werten zwischen 0.001 und 0.006 für jeweils gleiche Rauigkeiten (siehe Tabelle 2 für eine detaillierte Auflistung).

Bei einer minimalen Rauigkeit von 0.03 µm (SiC 4000) resultierten Mittelwerte bei RelyX ARC von 4.81 ± 1.70 MPa und bei RelyX Unicem Aplicap von 9.32 ± 2.81 MPa. Mit zunehmender Rauigkeit stiegen die Mittelwerte zuerst bis auf ein Maximum von 5.67 ± 1.60 MPa respektive 10.15 ± 3.07 MPa an, um dann abzufallen.

The effect of thermocycling was not tested, as the intention was to test primary bond strength and not long-term durability. Thermocycling is known to reduce the bond strength [8].

3 Results

The dentine surfaces of all samples were measured with a Perthometer to compare the surface roughness produced by the different SiC papers and 15 µm finishing diamonds. The results are shown in Figure 2.

The surfaces of some samples were also prepared further with polishing paste and a polishing cloth after conditioning with SiC 4000 in an attempt to produce a smoother surface; the resulting surface roughness, however, was not less than that produced by using only SiC 4000 paper (0.03 µm).

The bond fracture forces measured for samples with the same surface preparation but using different cements were compared in the shear tests. As illustrated in Figure 3, the bond strength of RelyX Unicem Aplicap is considerably higher than that of RelyX ARC. Statistical analysis indicated that these differences between the cements are highly significant with P values between 0.001 and 0.006 for the same degrees of roughness (see Table 2 for a detailed list).

A minimal roughness of 0.03 µm (SiC 4000) resulted in mean values of 4.81 ± 1.70 MPa for RelyX ARC and 9.32 ± 2.81 MPa for RelyX Unicem Aplicap. With greater roughness the mean initially increased to a maximum of 5.67 ± 1.60 MPa and 10.15 ± 3.07 MPa respectively before dropping.

In general, the two composite cements exhibited the same shear strength curve path for different degrees of surface

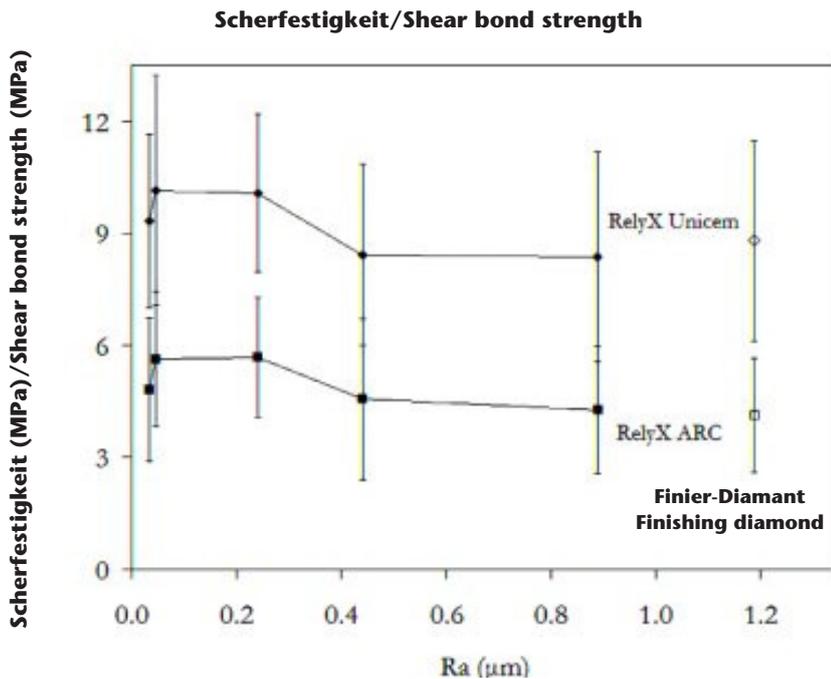


Abbildung 3 Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen für die Scherfestigkeit bis zum Bruch für verschiedene Rauigkeiten Ra der Dentineoberflächen bei RelyX Unicem Aplicap und RelyX ARC. Die Unterschiede zwischen den Zementen sind signifikant mit Wahrscheinlichkeiten zwischen 0.001 und 0.006 für jeweils gleiche Rauigkeiten.

Figure 3 Comparison of means and standard deviations for the shear bond strength until fracture for different degrees of roughness Ra of the dentine surface with RelyX Unicem Aplicap and RelyX ARC. The differences between the cements are significant with probabilities between 0.001 and 0.006 for the same degrees of roughness.

Vom Prinzip her wiesen beide Kompositzemente für verschiedene Oberflächenrauigkeiten den gleichen Kurvenverlauf für die Scherfestigkeit auf. Dabei nahm die Scherfestigkeit zuerst zu, bildete zwischen etwa 0.05 µm und 0.2 µm ein Maximum und näherte sich dann asymptotisch wieder einem niedrigeren Wert. Die erhaltenen Messpunkte deuten auf eine gewisse Abhängigkeit hin, die durch den Verlauf der Verbindungsgeraden in Abbildung 3 dargestellt ist.

Bei RelyX ARC fielen die Mittelwerte der Scherkräfte in den Bereich zwischen 4.26 MPa für eine Rauigkeit von 0.90 µm und 5.67 MPa für 0.24 µm. Der tiefste gemessene Einzelwert war dabei 2.08 MPa bei 0.44 µm, der höchste 9.20 MPa bei 0.03 µm. Die Standardabweichungen lagen durchschnittlich bei ± 37 % der Mittelwerte. Die Mittelwerte der Scherfestigkeiten bei den verschiedenen Rauigkeiten ergaben keine signifikanten Unterschiede.

Die Mittelwerte der Scherkräfte bei RelyX Unicem Aplicap fielen in den Bereich zwischen 8.37 MPa für eine Rauigkeit von 0.90 µm und 10.15 MPa für 0.05 µm. Der tiefste gemessene Einzelwert war dabei 5.09 MPa bei 0.03 µm, der höchste 14.28 MPa bei 0.05 µm. Die Standardabweichungen lagen bei ± 28 %. Wiederum zeigten die Mittelwerte keine signifikanten Unterschiede. Tabelle 2 listet alle ermittelten Mittelwerte und Standardabweichungen für beide Zemente auf.

Kontrolluntersuchungen zeigten, dass die Verbundzone in der Vergrößerung unter dem Rasterelektronenmikroskop für beide Zemente sehr homogen ist (siehe Abb. 4).

4 Diskussion

Die vorgestellte Untersuchung hatte zum Ziel, herauszufinden, wie groß die Verbundfestigkeit eines dualhärtenden, selbstadhäsiven Komposit-Befestigungszementes am Dentin in Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit im Vergleich zu einem konventionellen Kompositzement mit selbstkonditionierendem Primer ist.

roughness. The shear strength increased initially, built up to a maximum between a roughness of approx. 0.05 µm and 0.2 µm, and then dropped asymptotically. The measuring points obtained indicate a systematic relationship as illustrated by the path of the connecting lines in Figure 3.

The mean of the shear forces with RelyX ARC was between 4.26 MPa for a roughness of 0.90 µm and 5.67 MPa for 0.24 µm. The lowest measured single value was 2.08 MPa with 0.44 µm and the highest 9.20 MPa with 0.03 µm. The average standard deviations were ± 37 % of the mean. The means of the shear strength with different degrees of roughness did not produce any significant differences. Table 2 lists all recorded means and standard deviations for the two cements.

The means of the shear forces with RelyX Unicem Aplicap were between 8.37 MPa for a roughness of 0.90 µm and 10.15 MPa for 0.05 µm. The lowest single value measured was 5.09 MPa with 0.03 µm and the highest 14.28 MPa with 0.05 µm. Standard deviations were ± 28 %. Again, the mean values did not indicate any significant differences. Table 2 lists all recorded means and standard deviations for the two cements.

Control examinations under magnification using a scanning electron microscope indicated that the bond zone is very homogeneous (see Fig. 4).

4 Discussion

The aim of the present study was to determine the bond strength of a dual-curing, self-adhesive composite luting cement in relation to the surface roughness and compare it with a conventional composite cement with a self-conditioning primer.

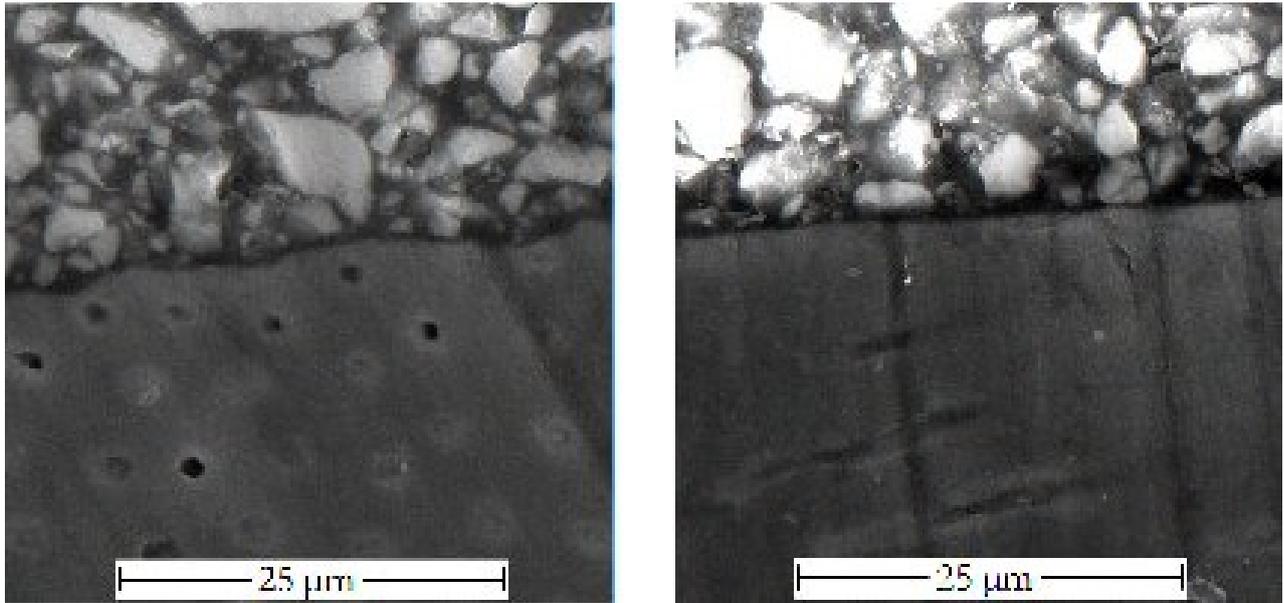


Abbildung 4 2000-fache Vergrößerung der Verbundzone zwischen RelyX ARC und Dentin (links) sowie RelyX Unicem Aplicap und Dentin (rechts) unter einem Rasterelektronenmikroskop (ESEM).

Figure 4 2000-fold magnification of the bonding zone between RelyX ARC and dentine (left) as well as RelyX Unicem Aplicap and dentine (right) under an environmental scanning electron microscope (ESEM).

Eine Bestimmung des Mittenrauwertes Ra wurde für alle fünf SiC-Papier-Rauigkeiten und für die Präparation mit einem Finierdiamanten gemacht. Diese Werte wurden ermittelt, um Aussagen über den Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf die Scherfestigkeit der beiden Produkte RelyX ARC und RelyX Unicem Aplicap zu erhalten. Wünschenswert ist die Bestimmung der Scherfestigkeit bei einer Oberflächenrauigkeit von Ra kleiner als den hier erreichten $0.03\ \mu\text{m}$, oder sogar die Bestimmung bei einer perfekt glatten Oberfläche, um die theoretischen Überlegungen zu stützen. Damit könnte man die reine chemische Verbundfestigkeit zwischen Kompositzement und Dentin ermitteln, ohne die mechanische Komponente der Adhäsion einzuschließen. Deshalb wurden die Oberflächen einiger Proben nach Bearbeitung mit SiC 4000-Schleifpapier mit Polierpaste und Poliertuch weiter behandelt. Die Oberflächenrauigkeiten dieser Proben lagen allerdings durchschnittlich nicht unter denjenigen Rauigkeiten von Proben, welche nur mit SiC 4000-Papier bearbeitet wurden ($0.03\ \mu\text{m}$). Dies erlaubt den Schluss, dass wahrscheinlich die maximale Feinheit der Dentinoberfläche durch die Dimensionen der Dentintubuli limitiert ist. Eine Bestimmung der rein chemischen Verbundfestigkeit ist damit nicht möglich.

Ein Finierdiamant mit Körnung $15\ \mu\text{m}$ hinterlässt eine Oberfläche, welche noch rauer ist als die durch SiC 220-Papier erzeugte Oberfläche. Dieser Wert wurde ermittelt, um einen Praxisbezug der Messergebnisse herzustellen. Interessant wäre noch die Untersuchung der Scherkräfte mit einem grobkörnigeren Präparierdiamanten; aus dem Verlauf in Abbildung 3 lässt sich folgern, dass tendenziell bei rauerer Oberflächen tiefere Haftwerte erzielt werden.

Der Zweikomponenten-Zement RelyX ARC beinhaltet einen separaten Ätzschritt zur Konditionierung des Dentins

The mean roughness Ra was determined for all five grades of SiC paper roughness and preparation with a finishing diamond. This value was determined to gain information on the influence of surface roughness on the shear bond strength of the two products RelyX ARC and RelyX Unicem Aplicap. Ideally, the shear bond strength should be determined with an Ra surface roughness smaller than $0.03\ \mu\text{m}$, which was obtained in this study, or even determined with a perfectly smooth surface to support theoretical considerations. This could be used to determine the purely chemical bond strength between the composite cement and dentine without including the mechanical components of adhesion. The surfaces of some samples were, therefore, further prepared with polishing paste and a polishing cloth after conditioning with SiC 4000 paper. The surface roughness of these samples, however, was not lower than the roughness of samples that were only conditioned with SiC 4000 paper ($0.03\ \mu\text{m}$). This leads to the conclusion that the maximum smoothness of the dentine surface is probably restricted by the dimensions of the dentinal tubuli. It is therefore impossible to determine the purely chemical bond strength.

A finishing diamond with a grit size of $15\ \mu\text{m}$ produces a surface that is even rougher than that produced by SiC 220 paper. This value was determined to create practice-related measuring results. It would have been interesting to test the shear bond strength using a preparation diamond with a coarse grit; it can be assumed from the comparisons in Figure 3 that rougher surfaces tend to produce lower bond strengths.

The two-component cement RelyX ARC includes a separate etch stage for conditioning the dentine, which dissolves the smear layer. Self-etching systems contain acidic monomers that penetrate through the smear layer into the mineralized dentine and dissolve smear plugs to retain them inside the den-

und löst somit den Smear Layer auf. Selbstätzende Systeme beinhalten saure Monomere, die über den Smear Layer hinaus ins mineralisierte Dentin penetrieren und Smear Plugs auflösen, um sie innerhalb der Dentintubuli zu halten [25]. Deshalb sind selbstätzende Primer weniger sensitiv in Bezug auf regionale Unterschiede als Mehrkomponenten-Adhäsive, welche einen separaten Säureätzschritt benötigen [6, 20]. Außerdem ist es möglich, dass das generelle Fehlen der Säureätzung in einem größeren Dauerhaftverbund resultiert, weil dadurch keine Kollagenfasern freigelegt werden [7, 10]. Die selbstätzenden Adhäsive entfernen den Smear Layer nicht, sondern modifizieren diesen und binden ihn bei der Aushärtung in die Hybridschicht ein: sie fixieren ihn. Ob eine Entfernung des Smear Layer notwendig ist oder ob er belassen werden und durch geeignete Maßnahmen fixiert werden kann, war lange Zeit umstritten. Wie man heute weiß, führen beide Ansätze zu guten Haftungsergebnissen am Dentin [9]. Smear Layer und Smear Plugs können als effektive, natürliche Kavitäten-Liner dienen, welche die Dentintubuli versiegeln und die Permeabilität vermindern [19].

Wenn weder Ätzen noch andere Vorbehandlungen des Dentins nötig sind, wird die Handhabung eines Zementes klar einfacher. Durch weniger Arbeitsschritte können eventuell Fehlerquellen reduziert werden. Bonding und Konditionierung der Zahnstruktur sind bei einem Zement wie RelyX Unicem Aplicap unnötig, weil ohne Vorbehandlung ein Verbund zwischen der Restauration und der Zahnstruktur erreicht wird, welche vergleichbar ist mit demjenigen von Mehrkomponenten-Adhäsivtechnologien. Seine mechanischen Eigenschaften sind denen von Zinkphosphat- und Glasionomern überlegen. Zudem setzt es in der initialen Phase Fluoridionen frei. Die in den Resultaten erwähnten tieferen Standardabweichungen für alle Messungen bei RelyX Unicem Aplicap gegenüber RelyX ARC mögen ein Indikator hierfür sein. Nebst diesem für die praktische Anwendung positiven Effekt konnte hier gezeigt werden, dass ein selbstadhäsives Kompositzement wie RelyX Unicem Aplicap heute keine Nachteile in Bezug auf Scherfestigkeit mehr beinhaltet, sondern anderen Adhäsiven sogar überlegen sein kann. Die hohen erzielten Haftkräfte für RelyX Unicem Aplicap mögen im ersten Moment als im Widerspruch zur Literatur erscheinen, wo der Zement teilweise schlechter als RelyX ARC abgeschnitten hatte [8]. In jener Studie wurde jedoch ein anderer Versuchsaufbau gewählt (Stahlzylinder an Dentin), und RelyX Unicem Aplicap wurde nur chemischhärtend getestet. Da dualhärtende Zemente eine optimale Konversionsrate nur mit zusätzlicher Photoaktivierung erhalten, ist eine hier durchgeführte Lichthärtung für optimale Verbundqualitäten notwendig [4]. Um dies einfach zu erreichen, wurden lichtdurchlässige Plexiglasstäbchen ans Dentin geklebt. Es gibt allerdings spezifisch zu RelyX Unicem Aplicap Studien mit nicht verminderten Haftwerten bei opaken Versuchskörpern [21].

In der Literatur wurde die Scherkraft von RelyX Unicem Aplicap auch bezüglich Zahnschmelz und an Silikatkeramik getestet [1, 11]. Da sowohl Schmelz als auch Silikatkeramiken durch einen separaten Ätzschritt ein sehr gutes retentives Muster erhalten, sind dort schlechtere Haftwerte von RelyX Unicem Aplicap möglich und erklärbar. Der Zement schnitt im Vergleich bezüglich Dentin-Verbundfestigkeit nicht schlechter ab.

tinal tubuli [25]. Self-etching primers are therefore less sensitive to surface area differences than multi-component adhesives, which require a separate acid etch stage [6, 20]. It is also possible that a strong permanent bond is produced if there is a general lack of acid etching, as this does not expose collagen fibres [7, 10]. Self-etching adhesives do not remove the smear layer, but modify it and bind it into the hybrid layer during curing: self-adhesives fixate the smear layer. It has been a matter of discussion for some time whether it is necessary to remove the smear layer or whether it can be left and fixated using appropriate procedures. According to recent findings both methods produce a good dentine bond [9]. Smear layers and smear plugs can be used as effective, natural cavity liners, which seal the dentinal tubuli and reduce permeability [19].

A cement is considerably easier to use if etching or other types of dentine conditioning are not required. Fewer working stages may reduce possible sources of error. Bonding and conditioning of the tooth structure are not required with a cement such as RelyX Unicem Aplicap as a bond is attained between the restoration and tooth structure without conditioning, which is comparable to that of multi-component adhesive technology cements. The mechanical properties of RelyX Unicem Aplicap are superior to those of zinc phosphate and glass ionomer cements. It also releases fluoride ions in the initial phase. The lower standard deviations in the results of all measurements for RelyX Unicem Aplicap in comparison with RelyX ARC may be an indicator for this. Apart from this positive effect in terms of practical application, it was also exhibited in this study that a self-adhesive composite cement like RelyX Unicem Aplicap no longer has inherent disadvantages with regard to bond strength, but is even superior to other adhesives in some cases. At first glance the high bond strengths produced for RelyX Unicem Aplicap appear to contradict the literature, in which the cement had performed poorer than RelyX ARC in some cases [8]. A different test set-up was however selected in that study (steel cylinder to dentine) and RelyX Unicem Aplicap was only tested in the chemical-curing mode. As dual-curing cements only attain an optimal conversion rate with photoactivation, light-curing is required in this instance to produce optimal bonding qualities [4]. Translucent Plexiglas rods were bonded to the dentine to facilitate light curing. There are, however, studies specifically on RelyX Unicem Aplicap which did not result in reduced bond strength values even with opaque test samples [21].

In the literature the bond strength of RelyX Unicem Aplicap was also tested in relation to enamel and silica ceramic [1, 11]. As a separate etching stage produces an excellent retentive pattern on both enamel and silica ceramics, this may explain why it is possible that poorer bond values were attained for RelyX Unicem Aplicap in these tests. RelyX Unicem Aplicap cement produced a comparable bond strength to dentine.

Tensile and shear stresses greater than 14 to 15 MPa can cause cohesive destruction within the dentine [22]. In the present study, there were only a few isolated measurements in this region. Despite this, there is the possibility that in some cases the bond of RelyX Unicem Aplicap to dentine was stronger than the actual dentine structure.

Finally, it should be noted that greater importance is also increasingly being placed on the inclusion of thermocycling and intrapulpal pressure for in-vitro studies [8, 16]. The present

Zug- und Scherspannungen über 14 bis 15 MPa können zu kohäsiven Abrissen innerhalb des Dentins führen [22]. Bei der vorliegenden Untersuchung lagen lediglich wenige Einzelmessungen in diesem Bereich. Trotzdem besteht die Möglichkeit, dass teilweise der Verbund von RelyX Unicem Aplicap zum Dentin stärker war als die Dentinstruktur selbst.

Schließlich ist zu berücksichtigen, dass bei In-vitro-Studien auch dem Einbezug von Thermocycling und intrapulpärem Druck immer mehr Bedeutung zugesprochen wird [8, 16]. Die vorliegende Untersuchung konzentrierte sich auf die Verbundfestigkeit der untersuchten Zemente am Dentin, weil es in dieser Untersuchung um die primäre Festigkeit und nicht die Langzeitstabilität ging. Es besteht die Gefahr, dass nach Thermocycling keine Unterschiede mehr beobachtet werden, die initial da waren. Aufgrund der Ergebnisse kann gesagt werden, dass die Rauigkeit keinen Einfluss auf die Verbundfestigkeit hat, dass also die Verbundfestigkeit nicht durch die Mikroverzahnung auf der Ebene Rauigkeit, sondern durch die Mikroverzahnung auf der Ebene tags/chemischer Verbund erfolgt. Für den klinischen Langzeiterfolg ist neben den initialen Haftwerten auch das Alterungsverhalten der Dentinhaftung und der Verbund zum prothetischen Werkstoff entscheidend [8].

study concentrated on the bond strength of the tested cement on dentine, as the aim of the study was to investigate primary bond strength and not long-term durability. There is the risk that differences, which were initially present, are no longer evident following thermocycling.

Based on the results, it can be stated that roughness does not influence the bond strength and that bond strength is not produced by microretention at the roughness level but by microretention at the tags/chemical bond level. Apart from the initial bond strength, the ageing characteristics of the dentine bond and bond to the prosthetic material are decisive factors for long-term clinical success [8].

DZZ

Korrespondenzadresse:

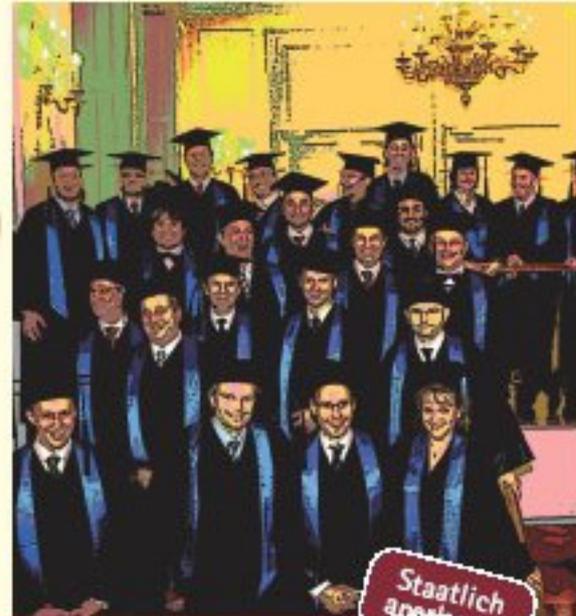
Dr. Vanessa Gisler
Klinik für Zahnärztliche Prothetik
Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern
Freiburgstrasse 7, CH-3010 Bern
Tel.: +41 (0)31/ 632 25 84
Fax: +41 (0)31/ 632 49 33
E-Mail: vanessa.gisler@zmk.unibe.ch

Literatur

1. Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G: Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig* 9, 161–167 (2005)
2. Behr M: Konventionelles versus adhäsives Zementieren von festsitzendem Zahnersatz. *Dtsch Zahnärztl Z* 62, 704–705 (2007)
3. Buonocore MG: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34, 849–853 (1955)
4. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC: Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil* 29, 257–262 (2002)
5. Civelek A, Ersoy M, L'Hotelier E, Soyman M, Say E C: Polymerization shrinkage and microleakage in Class II cavities of various resin composites. *Oper Dent* 28, 635–641 (2003)
6. Giannini M, Carvalho RM, Martins LRM, Dias CT S, Pashley DH: The influence of tubule density and area of solid dentin on bond strength of two adhesive systems to dentin. *J Adhesive Dent* 3, 315–324 (2001)
7. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H: In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *J Dent Res* 79, 1385–1391 (2000)
8. Holderegger C, Sailer I, Schuhmacher C, Schläpfer R, Hämmerle C, Fischer J: Shear bond strength of resin cements to human dentin. *Dent Mater*. [Epub ahead of print] (2008)
9. Janda R: Schmelz-Dentin-Adhäsive – Stand der Entwicklung. *DFZ*, 37–46 (2008)
10. Kato G, Nakabayashi N: The durability of adhesion to phosphoric acid etched, wet dentin substrates. *Dent Mater* 14, 347–352 (1998)
11. Kumbuloglu O, Lassila LVJ, User A, Toksavul S, Vallittu PK: Shear bond strength of composite resin cements to lithium disilicate ceramics. *J Oral Rehabil* 32, 128–133 (2005)
12. La Torre G, Marigo L, Boari A: Bonding of composite resin to dentin: SEM observation of one-component enamel-dentin bonding systems. *Minerva Stomatol* 48, 297–305 (1999)
13. Lee JJ, Nettey-Marbell A, Cook A Jr, Pimenta LA, Leonard R, Ritter AV: Using extracted teeth for research: the effect of storage medium and sterilization on dentin bond strengths. *J Am Dent Assoc* 138, 1599–1603 (2007)
14. Lutz F, Krejci I, Schüpbach P: Adhäsivsysteme für zahnfarbene Restaurationen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 103, 537–549 (1993)
15. Marshall GW, Chang YJ, Saeki K, Gansky SA, Marshall SJ: Citric acid etching of cervical sclerotic dentine lesions, an AFM study. *J Biomed Mater Res* 49, 338–344 (2000)
16. Mazzitelli C, Monticelli F, Osorio R, Casucci A, Toledano M, Ferrari M: Effect of simulated pulpal pressure on self-adhesive cements bonding to dentin. *Dent Mater* 24, 1156–1163 (2008)
17. Nikaido T, Kunzelmann K H, Chen H, Ogata M, Harada N, Yamaguchi S, Cox C F, Hickel R, Tagami J: Evaluation of thermal cycling and mechanical loading on bond strength of a self-etching primer system to dentin. *Dent Mater* 18, 269–275 (2002)
18. Nikaido T, Takano Y, Sasafuchi J, Burrow MF, Tagami J: Bond strengths to endodontically-treated teeth. *Am J Dent* 12, 177–180 (1999)
19. Pashley DH, Michelich V, Kehl T: Dentin permeability: effects of smear layer removal. *J Prosthet Dent* 46, 531–537 (1981)
20. Pereira PNR, Okuda M, Sano H, Yoshikawa T, Burrow MF, Tagami J: Effect of intrinsic wetness and regional difference on dentin bond strength. *Dent Mater* 15, 4653 (1999)
21. Piwowarczyk A, Ottl P, Lindemann K, Zipprich H, Bender R, Lauer H-C: Langzeit-Haftverbund zwischen Befestigungszementen und keramischen Werkstoffen. *Dtsch Zahnärztl Z* 60, 314–320 (2005)

22. Prati C, Biagini G, Rizzoli C, Nucci C, Zucchini C, Montanari G: Shear bond strength and SEM evaluation of dentinal bonding systems. *Am J Dent* 3, 283–288 (1990)
23. Sonoda H, Banerjee A, Sherriff M, Tagami J, Watson T: An in vitro investigation of microtensile bond strengths of two dentine adhesives to caries-affected dentine. *J Dent* 33, 335–342 (2005)
24. Stangel I, Ellis TH, Sacher E: Adhesion to tooth structure mediated by contemporary bonding systems. *Dent Clin North Am* 51, 677–694 (2007)
25. Tay FR, Sano H, Carvalho RM, Pashley DH: An ultrastructural study of the influence of acidity of self-etching primers and smear layer thickness on bonding to intact dentin. *J Adhesive Dent* 2, 83–98 (2000)
26. Tam LE, Yim D: Effect of dentine depth on the fracture toughness of dentinecomposite adhesive interfaces. *J Dent* 25, 339–346 (1997)
27. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G: Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71, 1530–1540 (1992)
28. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, Inoue S, Tagawa Y, Suzuki K, De Munck J, Van Meerbeek B: Comparative Study on Adhesive Performance of Functional Monomers. *J Dent Res* 83, 454–458 (2004)

Gehören Sie zur Elite!



Staatlich
anerkannt

Der Master of Science in Periodontology

- Schwerpunkt Orale Ästhetische Chirurgie
- Schwerpunkt Implantologie
- Alle Teilnehmer operieren an der Universität selbstständig unter Anleitung von renommierten Dozenten
- Zwei starke Partner:
Semmelweis Universität Budapest
Steinbeis Hochschule Berlin
- An der Semmelweis Universität ist das Fach Zahnmedizin in Forschung und Lehre vertreten.
- Volle Anrechnung des DGP/APW-Curriculums Parodontologie



Kontakt: STI der Steinbeis-Hochschule Berlin
Bismarckstr. 27 · 67059 Ludwigshafen
Tel.: 06 21 68 12 44 52 · Fax: 06 21 68 12 44 66
E-Mail: info@paro-master.de