

A. Stegemann¹, S. Jacker-Guhr¹, W. Geurtsen¹, A.K. Lührs¹

Beeinflussen temporäre Zemente die Haftkraft von Adhäsivsystemen?

Do temporary cements influence the bond strength of adhesives?



A. Stegemann

Einführung: Temporäre Zemente und Liner werden z.B. zur Zementierung von provisorischen Versorgungen oder bei der indirekten und direkten Pulpaüberkappung eingesetzt. Bei nachfolgend eingebrachten adhäsiv verankerten Restaurationen könnten Wechselwirkungen zwischen diesen Materialien und angewendeten Adhäsivsystemen bestehen. Ziel der Studie war daher die Untersuchung eines möglichen Einflusses von provisorischen Zementen und Linern auf den adhäsiven Verbund nach Anwendung verschiedener Adhäsivsysteme.

Methode: Die Kaufläche von 78 kariessfreien Molaren wurde mit Hilfe einer Niedertourensäge senkrecht zur Zahnachse plan geschliffen und zum Erzeugen einer Schmierschicht angeraut. Es wurden 3 verschiedene Adhäsivsysteme in Kombination mit 2 provisorischen Materialien untersucht: ein 2-Schritt 'Etch&Rinse'-Adhäsiv, ein 'Self Etch' All-in-one-Adhäsiv und ein 4-Schritt 'Selective Etch'-System sowie ein kalziumhydroxidhaltiger Liner und ein eugenolhaltiger temporärer Zement. Nach Vorbehandlung der Dentinoberflächen wurden die verschiedenen Adhäsivsysteme angewendet. In den Kontrollgruppen wurde das Adhäsivsystem direkt aufgetragen. Die Zähne wurden mit Komposit aufgebaut und für den Mikrozugversuch in Stäbchen gesägt (Verbundfläche ca. 1mm²). Nach Lagerung in Kochsalzlösung (24h bei 37°C) oder Thermocycling (5.000 Zyklen bei 5°C/55°C, Haltezeit 30s, TC) wurde der Mikrozugversuch durchgeführt (Vorschubgeschwindigkeit 1mm/Min) und statistisch ausgewertet (ANOVA, Scheffé-Test, Signifikanzniveau p<0,05). Die Frakturmodi wurden anschließend lichtmikroskopisch untersucht.

Ergebnisse: Die statistische Auswertung zeigte sowohl nach 24h als auch nach TC einen signifikanten Einfluss der Variablen „Adhäsivsystem“ und „Oberflächenbehandlung“ sowie deren Interaktion. Die signifikant höchste Verbundfestigkeit wurde vor und nach TC für das 'Self Etch'-Adhäsivsystem gemessen. Die Oberflächenvorbehandlung mit Temp Bond führte nach 24h zur Abnahme der Haftwerte. Für das 'Etch&Rinse'-Verfahren konnte sowohl nach 24h als auch

Introduction: Temporary cements and liners are used for example for the cementation of temporary restorations and for indirect and direct pulp capping. If an adhesively bonded restoration is placed afterwards, interactions between the temporary materials and the adhesives might occur.

Methods: The occlusal surface of 78 caries-free molars was ground flat with a diamond saw and roughened for the formation of a smear layer. Three different adhesives in combination with 2 temporary materials were examined: a 2-step 'etch&rinse' adhesive, a 'self etch' all-in-one adhesive and a 4-step 'selective etch' system together with a calcium hydroxide-containing liner as well as an eugenol containing temporary cement. After pre-treatment of the dentin surfaces with the temporary materials the different adhesives were used. In the control groups, the adhesive was applied without any further pre-treatment. The teeth were built up with composite and cut into sticks for the microtensile bond strength (μ TBS) testing (bonded surface approx. 1mm²). After storage in saline solution (24h at 37°C) or thermocycling (5.000 cycles at 5°C/55°C, dwell time 30sec, TC), the μ TBS was measured (crosshead speed: 1mm/min) and statistically analyzed (ANOVA, Scheffé-Test, level of significance p<0.05). The fracture modes were determined by means of light microscopy.

Results: The statistical analyses showed a significant influence of the factors „adhesive“, „surface pre-treatment“ and their interaction after 24h and TC. The significantly highest μ TBS was measured for the 'self etch' adhesive before and after TC. The pre-treatment with the eugenol containing material led to a decrease in μ TBS. For the 'etch&rinse' adhesive, no effects of the temporary materials were observed after 24h and TC. Overall, the 'selective etch'-groups showed the significantly lowest μ TBS and no influence of the surface pre-treatment. Regarding fracture analyses, the 'etch&rinse' groups showed predominantly adhesive fractures at the dentin-adhesive interface, whereas the 'self etch'-groups showed a uniform distribution of all fracture modes. The 'selective etch' groups showed, with very

¹ Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Peer-reviewed article: eingereicht: 16.07.2012, revidierte Fassung akzeptiert: 05.09.2012

DOI 10.3238/dzz.2013.0019-0029

nach TC kein Einfluss der Oberflächenvorbehandlung nachgewiesen werden. Das ‚Selective Etch‘-Verfahren zeigte insgesamt die niedrigsten Haftwerte und keinen signifikanten Einfluss der Oberflächenbehandlung. Alle ‚Etch&Rinse‘-Gruppen frakturierten überwiegend adhäsiv (Grenzfläche Dentin-Adhäsiv). Die ‚Self Etch‘-Gruppen wiesen eine relativ gleichmäßige Verteilung der Bruchmuster auf adhäsive, kohäsive und kombiniert adhäsiv/kohäsive Brüche vor. Die ‚Selective Etch‘-Gruppen frakturierten nahezu ausschließlich adhäsiv. Keine der Proben frakturierte komplett an der Grenzfläche Adhäsive-Komposit.

Schlussfolgerung: Provisorische Zemente auf Eugenolbasis können in Abhängigkeit vom angewendeten Adhäsivsystem den adhäsiven Verbund beeinflussen. Klinisch lassen Liner auf Kalziumhydroxidbasis bei anschließender adhäsiver Versorgung weniger Wechselwirkungen erwarten. (Dtsch Zahnärztl Z 2013, 68: 19–29)

Schlüsselwörter: Adhäsiv, Self Etch, Etch&Rinse, Selective Etch, Kalziumhydroxid, Eugenol, Thermocycling

Einleitung

Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung von Kompositen und der dazugehörigen Adhäsivsysteme decken diese Materialien ein breit gefächertes Indikationsspektrum ab. Zahnfarbene Kompositfüllungen bieten sowohl im Front- als auch im Seitenzahnbereich die Möglichkeit einer minimalinvasiven Therapie. Weiterhin werden kompositbasierte Materialien beispielsweise zum Stumpfaufbau vor einer prothetischen Versorgung oder zur adhäsiven Zementierung zahnärztlicher Restaurationen eingesetzt. Im Zuge dieser Therapiemaßnahmen kommen verschiedene Materialien wie z.B. *provisorische* Zemente, Liner etc. zum Einsatz, die durch mögliche Interaktionen das Behandlungsergebnis beeinflussen könnten.

So wird beispielsweise ein negativer Einfluss von eugenolhaltigen Zementen auf die Verbundhaftkraft von Adhäsivsystemen diskutiert [1, 7, 25], der beim Anmischen von Zinkoxid und Eugenol in Anwesenheit von geringsten Wassermengen entsteht. Dabei werden an der Oberfläche des Zements kleine Mengen von Eugenol herausgelöst, die in Form von freiem Eugenol in das Dentin penetrieren können und dort mit anschließend applizierten Adhäsivsystemen interagieren. Das Eugenol fungiert dabei als freier Radikalfänger, der die Polymerisation von Methacrylaten inhibiert [13].

Kalziumhydroxid ist ein in der Zahnmedizin breit eingesetztes Material, z.B. zur Abdeckung pulpanaher Bereiche oder als intrakanaläre Einlage zur Behandlung von Pulpitiden [11]. Ein Vorteil von Kalziumhydroxid ist dessen Ionendissoziation hin zu Kalzium- und Hydroxylionen. Die Auswirkungen solcher Ionen auf die Zahnhartsubstanzoberfläche oder auch auf Mikroorganismen sind der Hauptgrund, weshalb sich Kalziumhydroxid in der Zahnmedizin etablieren konnte [26]. Untersuchungen haben aber auch gezeigt, dass Kalziumhydroxidrückstände trotz Reinigungsmaßnahmen (z.B. Spüllösungen zum Entfernen medikamentöser Einlagen) sowohl auf der Dentinoberfläche als auch in den Eingängen der Dentintubuli ver-

few exceptions, only adhesive fractures. None of the specimens fractured completely at the adhesive-composite interface.

Conclusion: Temporary cements, which contain eugenol have, dependent on the adhesive concept applied, a stronger influence on the adhesion when compared to calcium hydroxide containing materials. Clinically, temporary materials based on calcium hydroxide should less likely interact with dentin adhesives.

Keywords: adhesives, self etch, etch&rinse, selective etch, calcium hydroxide, eugenol, thermocycling

Introduction

Composites and adhesives underlie an ongoing development and cover widespread indications. A composite restoration is a minimal-invasive therapy for anterior and posterior lesions. Furthermore, composite resins can be used as build-ups prior to prosthetic restorations or for adhesive cementation of fixed dentures. During dental procedures, different materials such as temporary cements, liners etc. are used that might interfere with adhesion.

For eugenol-based cements a negative influence on the bond strength of adhesives is discussed [1, 7, 25]. After mixing of the cement eugenol is dissolved in the presence of water on the surface of the cement. Eugenol penetrates into the dentin, acts as radical scavenger and might interfere with applied adhesives by polymerization inhibition of methacrylates [13].

Calcium hydroxide is widely used in dentistry, for example for covering dentin areas close to the pulp (‘indirect pulp capping’) or as temporary root canal filling material during an endodontic treatment [11]. An advantage of this material is its dissociation into calcium- and hydroxyl ions. The antibacterial and anti-inflammatory effects are the main reason for the widespread use of calcium hydroxide in dentistry [26]. In contrast to these positive effects, other studies demonstrated that calcium hydroxide remnants, despite of cleaning measures like rinsing, remain on the dentin surface and in the dentin tubules while blocking their orifices. This could hamper the formation of an adequate hybrid layer, which is the prerequisite for dentin adhesion [5, 18]. Furthermore, after application of a self-etch adhesive onto a calcium hydroxide liner the adhesive became opaque and a change in surface morphology of the liner occurred [15]. This led to the assumption that not only calcium hydroxide pastes but also liners might interfere with dental adhesives. Therefore, the null-hypothesis which was set forth was that neither temporary cements nor

	Gruppe	Codierung
1	iBond Total Etch Kontrolle/control (Etch&Rinse) + 24Std. Lagerung/storage	E&R/K/IM
2	iBond Total Etch (Etch&Rinse) + Dycal + 24Std. Lagerung/storage	E&R/D/IM
3	iBond Total Etch (Etch&Rinse) + Temp Bond + 24Std. Lagerung/storage	E&R/TB/IM
4	iBond Self Etch Kontrolle/control + 24Std. Lagerung/storage	SE/K/IM
5	iBond Self Etch + Dycal + 24Std. Lagerung/storage	SE/D/IM
6	iBond Self Etch + Temp Bond + 24Std. Lagerung/storage	SE/TB/IM
7	Syntac Selective Etch Kontrolle/control + 24Std. Lagerung/storage	SeE/K/IM
8	Syntac Selective Etch + Dycal + 24Std. Lagerung/storage	SeE/D/IM
9	Syntac Selective Etch + Temp Bond + 24Std. Lagerung/storage	SeE/TB/IM
10	iBond Total Etch Kontrolle/control (Etch&Rinse) + Thermocycling	E&R/K/TC
11	iBond Total Etch (Etch&Rinse) + Dycal + Thermocycling	E&R/D/TC
12	iBond Total Etch (Etch&Rinse) + Temp Bond + Thermocycling	E&R/TB/TC
13	iBond Self Etch Kontrolle/control + Thermocycling	SE/K/TC
14	iBond Self Etch + Dycal + Thermocycling	SE/D/TC
15	iBond Self Etch + Temp Bond + Thermocycling	SE/TB/TC
16	Syntac Selective Etch Kontrolle/control + Thermocycling	SeE/K/TC
17	Syntac Selective Etch + Dycal + Thermocycling	SeE/D/TC
18	Syntac Selective Etch + Temp Bond + Thermocycling	SeE/TB/TC

Tabelle 1 Kontroll- und Versuchsgruppen.

Table 1 Control- and test-groups.

bleiben und diese blockieren können. Diese Rückstände könnten das Eindringen der adhäsiven Monomere in die Dentinoberfläche und die Dentintubuli und damit die Ausbildung einer adäquaten Hybridschicht verhindern [5, 18], die die Grundlage moderner Adhäsivtechnik darstellt. In der Literatur ist beispielsweise eine milchige Eintrübung selbstkonditionierender Adhäsive bei vorausgegangener Applikation kalziumhydroxidhaltiger Liner beschrieben, die weiterhin die Oberflächenmorphologie veränderten [15]. Dieser Umstand gibt Grund zur Annahme, dass nicht nur weich bleibende kalziumhydroxidhaltige medikamentöse Einlagen bei endodontischen Behandlungen, sondern auch erhärtende Liner zur Abdeckung pulpanaher Bereiche auf der Dentinoberfläche negativ mit Dentinhaftvermittlern interagieren könnten.

Die im Rahmen dieser Untersuchung aufgestellte Nullhypothese besagt, dass weder die Verwendung provisorischer Zemente/Liner noch das angewendete Adhäsivsystem einen Einfluss auf

the investigated adhesives influence the microtensile bond strength (μ TBS) after 24h and aging (thermocycling, TC).

Material

In order to examine the influence of temporary cements and aging on the μ TBS of adhesives, 78 caries-free molars (storage for a maximum of 2 months at 8°C in 0.5% chloramine T solution) were randomly divided into 18 different test and control groups. In order to obtain a flat dentin surface, the occlusal surface was ground perpendicular to the tooth axis with a water-cooled low-speed diamond saw (IsoMet, Buehler GmbH, Düsseldorf and Ampuwa Spüllösung, Fresenius Kabi, Bad Homburg, both Germany). A standardized smear layer was created by roughening the surface with sand paper (P 600, Buehler GmbH, Düsseldorf, Germany). Afterwards, the teeth (n=4 per

Produkt	Hersteller	LOT	Anwendung
Dycal Ivory	Dentsply, Konstanz, Deutschland	Base: 023406 Catalyst: 023407	1:1 anmischen für 10s, auftragen, Abbindezeit: 2,5 bis 3,5min 1:1 mixing for 10s, application, setting time 2.5 to 3.5min
Temp Bond Temporary Cement	Kerr Corporation, Orange, USA	3487641	1:1 anmischen für 30s, auftragen, Abbindezeit: 7min 1:1 mixing for 30s, application, setting time 7min
Syntac Primer	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	N 11162	auftragen, Einwirkzeit: 15s, Überschuss verblasen, lufttrocknen application, contact time 15s, dispersion of excess, air-drying
Syntac Adhesive	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	N 49642	auftragen, Einwirkzeit: 10s, lufttrocknen application, contact time 10s, air-drying
Heliobond	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	N 44963	auftragen, Einwirkzeit: 10s, dünn verblasen, 10s polymerisieren application, contact time 10s, air-blowing to a thin layer, polymerization for 10s
iBond Self Etch	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland	010109	auftragen, Einwirkzeit: 20s, 5 bis 10s verblasen, 20s polymerisieren application, contact time 20s, air-blowing for 5 to 10s, polymerization
DeTrey Conditioner 36	Dentsply, Konstanz, Deutschland	1006002311	Oberflächenkonditionierung für 20s, absprühen mit Wasser für 30s, lufttrocknen etching of the surface for 20s, rinsing with water spray for 30s, air-drying
iBond Total Etch	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland	010029	auftragen, Einwirkzeit: 15s, verblasen, 20s polymerisieren application, contact time 15s, air-blowing, polymerization for 20s
Venus Diamond Color A1	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland	010027	pro Inkrement (Dicke max. 2mm) Polymerisationszeit: 20s polymerization of each increment (thickness max. 2mm) for 20s

Tabelle 2 Materialien, Hersteller und Anwendung.

Table 2 Materials, manufacturers and instructions.

die Mikrozugfestigkeit (microtensile bond strength, μ TBS) nach 24h bzw. künstlicher Alterung (Thermocycling, TC) hat.

Material und Methode

Um den Einfluss verschiedener *provisorischer* Zemente und künstlicher Alterung durch TC auf die μ TBS von Dentinhaftvermittlern zu untersuchen, wurden 78 kariesfreie Oberkiefer- und Unterkiefermolaren (Lagerung für maximal 2 Monate bei 8°C bis zur weiteren Verarbeitung in 0,5%iger Chloramin T-Lösung) randomisiert und 18 verschiedenen Versuchs- und Kontrollgruppen zugeordnet.

Die Kaufläche der Zähne wurde zum Schaffen einer planan Dentinoberfläche mit Hilfe einer Niedertourensäge (IsoMet, Buehler GmbH, Düsseldorf, Deutschland) senkrecht zur Zahnachse unter Wasserkühlung (Ampuwa Spüllösung, Fresenius Ka-

group, if, attributed to the size of the teeth, the required number of 40 sticks per group was not reached by using 4 teeth, a fifth tooth was added for 6 groups in total) were treated according to their respective test group (table 1).

During this study, three different adhesive systems were investigated: a 2-step 'etch&rins' adhesive (iBond Total Etch, E&R), a 'self etch' all-in one adhesive (iBond Self Etch, both Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, SE), and as control a 4-step 'selective etch' system (Syntac with Heliobond, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein, SeLE), that was used in a self-etch mode on dentin (i.e. without phosphoric acid etching, table 2).

To examine the interaction between liners and temporary cements, 2 small dots of a calcium hydroxide liner (Dycal, Dentsply, Konstanz, Germany, D) were applied opposite to each other in the periphery of the dentin surface (groups E&R/D, DE/D and SeLE/D). Furthermore, the surface of the other half of the tested teeth was covered with an eugenol-con-

bi, Bad Homburg, Deutschland) abgetragen. Nach Anrauen der Dentinoberfläche mit Schleifpapier (P 600, Buehler GmbH, Düsseldorf, Deutschland) zum Erzeugen einer standardisierten Schmierschicht wurden die Zähne (n=4/5 pro Gruppe; wenn die erforderliche Stäbchenanzahl von 40 pro Gruppe bedingt durch unterschiedliche Zahngrößen nicht erreicht wurde, wurde in insgesamt 6 Gruppen die Zahnzahl von 4 auf 5 Zähne erhöht) entsprechend der jeweiligen Versuchsgruppe weiterbehandelt (Tab. 1).

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 3 verschiedene Adhäsivsysteme eingesetzt: ein 2-Schritt ‚Etch&Rinse‘-Adhäsiv (iBond Total Etch, E&R), ein ‚Self Etch‘ All-in-one Adhäsiv (iBond Self Etch, SE, beide Heraeus Kulzer GmbH, Hanau) und als Kontrollgruppe ein 4-Schritt ‚Selective Etch‘-System (Syntac und Heliobond, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein SeE), das am Dentin selbstkonditionierend eingesetzt wurde (Tab. 2).

Zur Untersuchung der Wechselwirkung von Linern bzw. provisorischen Zementen wurden für jedes der genannten Adhäsivsysteme auf die Hälfte der präparierten Dentinflächen jeweils 2 Punkte eines kalziumhydroxidhaltigen Liners (Dycal, Dentsply, Konstanz, Deutschland, D) in der Peripherie der Dentinoberfläche an gegenüberliegenden Bereichen aufgetragen (Gruppen E&R/D, SE/D, SeE/D). Nach dessen Aushärtung wurde das entsprechende Adhäsivsystem aufgetragen. Die andere Hälfte der Dentinflächen wurde mit einer Schicht aus eugenolhaltigem temporären Zement (Temp Bond, Kerr, Washington D.C., USA, TB) bedeckt und für 24h in einer physiologischen Natriumchloridlösung (NaCl 0,9% Spüllösung, Fresenius Kabi, Bad Homburg, Deutschland) in einem Wärmeschrank (37°C und 100% Luftfeuchtigkeit) gelagert (Gruppen E&R/TB, SE/TB, SeE/TB). Anschließend wurde die Zementschicht mit Hilfe eines Instrumentes vorsichtig abgesprengt und die Dentinoberfläche mit einem Zahnreinigungsbürstchen (5.000U/min, Wasserkühlung) gesäubert.

In den Kontrollgruppen (E&R/K, SE/K, SeE/K) wurde keine Oberflächenbehandlung der Dentinfläche durchgeführt und das Adhäsivsystem direkt aufgetragen.

Bei den E&R-Gruppen erfolgte eine Oberflächenkonditionierung mit 36%iger Orthophosphorsäure (DeTrey Conditioner 36, Dentsply, Konstanz, Deutschland), während die Konditionierung der Oberfläche sowohl bei den SE-, als auch bei den SeE-Gruppen durch die adhäsivimmanente saure Komponente des Adhäsivsystems übernommen wurde. Bei den Gruppen, in denen der Kalziumhydroxidliner verwendet wurde, wurde die Orthophosphorsäure über den Dycalpunkten aufgebracht und anschließend auf der gesamten Dentinoberfläche verteilt.

Die verschiedenen Adhäsivsysteme wurden nach Herstellerangaben (Tab. 2) auf die Dentinoberflächen aufgetragen und polymerisiert (Astralis 5, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein Leistung >750mW/cm²). Dabei wurden insbesondere bei den Versuchsgruppen, in denen der kalziumhydroxidhaltige Liner zur Anwendung kam, die Pinselstriche des Occlubrushes bei der Benetzung der Dentinoberfläche gleichmäßig häufig über die Dycalpunkte geführt. Die adhäsiv behandelten Dentinoberflächen wurden anschließend mit einem Kompositaufbau (Farbe A1, Venus Diamond, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) in 4 Schichten aufgebaut, wobei jede Schicht 20s und der gesamte Kompositaufbau abschließend von jeder Seite ebenfalls 20s polymerisiert wurde.

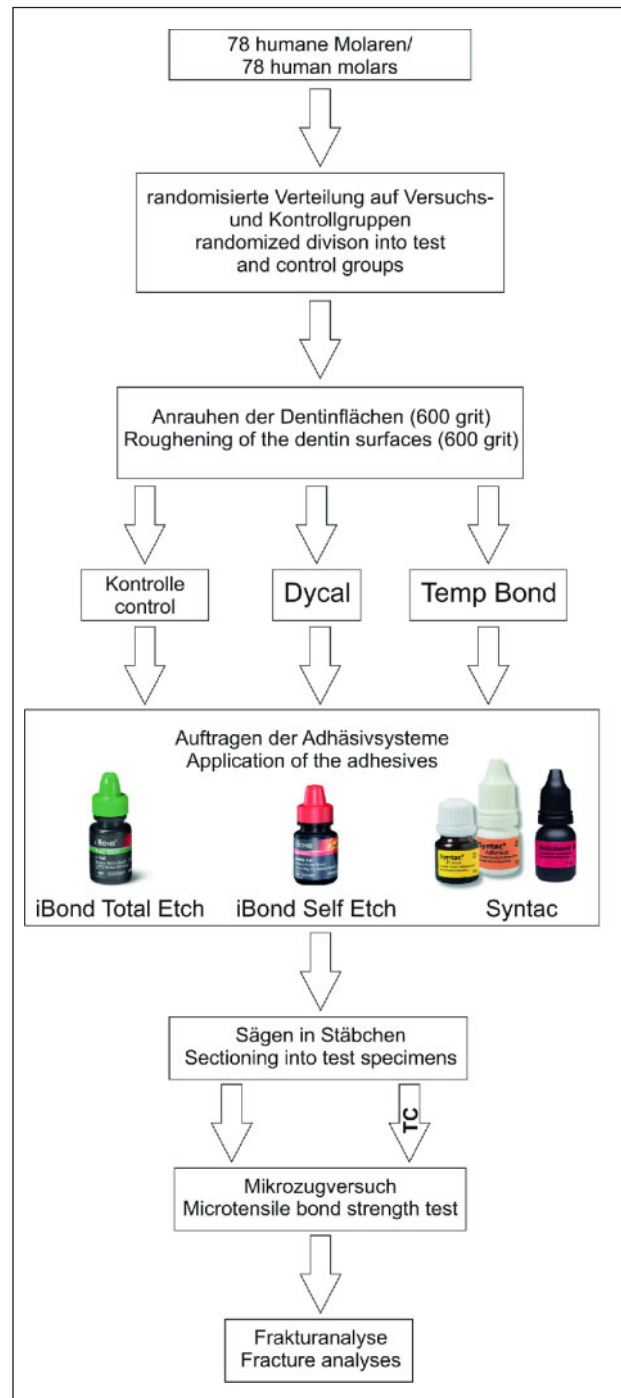


Abbildung 1 Schematische Darstellung des Versuchsablaufes.
Figure 1 Schematic illustrating the study design.

taining temporary cement (Temp Bond, Kerr, Washington DC, USA, TB) and stored in saline solution (NaCl 0,9% Spüllösung, Fresenius Kabi, Bad Homburg, Germany) for 24h at 37°C (groups E&R/TB, SE/TB and SeE/TB). Afterwards, the layer of temporary cement was carefully removed with a hand instrument and the dentin surface was cleaned with a water-cooled rotating brush (5.000rpm).

For the control groups (E&R/C, SE/C and SeE/C), the adhesive system was applied directly at the dentin surface without any pre-treatment.

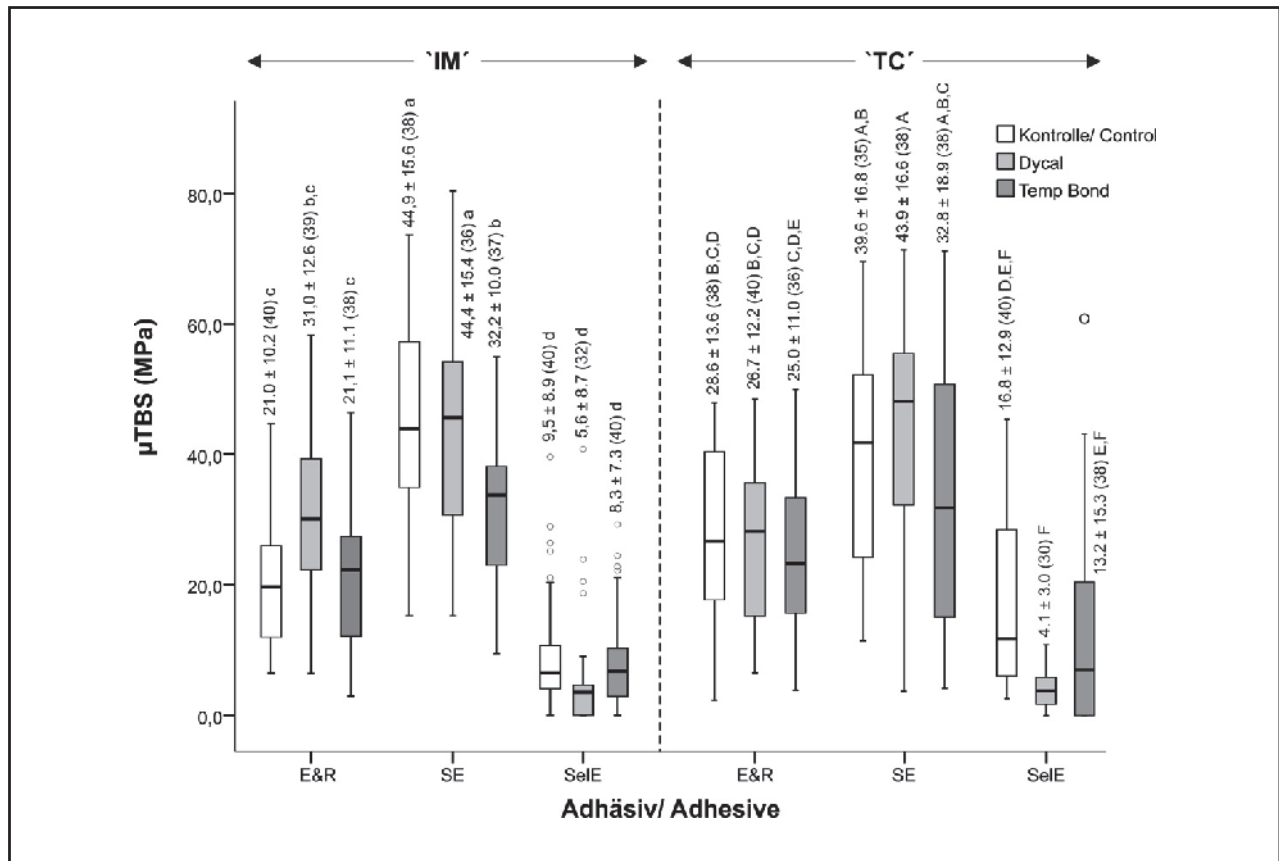


Abbildung 2 Ergebnisse des Mikrozugversuchs für die verschiedenen Vorgehensweisen (E&R, SE, SelE) nach 24h (‘IM’) und TC (‘TC’), vertikale Legenden: Mittelwerte und Standardabweichung der Versuchs- und Kontrollgruppen, μ TBS in MPa, Anzahl (n) der Prüfkörper pro Gruppe, Signifikanzniveau; Gruppen mit dem gleichen Groß- oder Kleinbuchstaben besitzen das gleiche Signifikanzniveau.

Figure 2 Mean values and standard deviation of test- and control groups after 24h (‘IM’) and artificial aging (‘TC’), μ TBS in MPa, number (n) of specimens per group, letter indicating the level of significance, groups with the same capital or lower case letter are not significantly different.

Danach wurden die Wurzeln aller aufgebauten Zähne mittels der Niedertourensäge ca. 3mm unterhalb der Verbundzone abgetrennt. Alle Zähne wurden daraufhin für den Mikrozugversuch in Stäbchen gesägt (Verbundfläche ca. 1mm²) und bei einer 16-/40-fachen Vergrößerung auf etwaige Fehlstellen wie z.B. Blasen, inhomogene Schichtung usw. im Bereich der Verbundfläche unter einem Lichtmikroskop (Stemi SV 6, Zeiss, Jena, Deutschland) untersucht. Stäbchen, die Fehlstellen aufwiesen, wurden aufgrund einer möglichen Verfälschung des Untersuchungsergebnisses verworfen.

Die Hälfte der Stäbchen wurde in physiologischer Kochsalzlösung gelagert (24h bei 37°C) bevor sie dem Mikrozugversuch zugeführt wurden (Gruppen IM). Die andere Hälfte wurde zunächst einem TC-Verfahren (5.000 Zyklen bei 5°C/55°C, Haltezeit 30s) unterzogen (Gruppen TC). Alle Versuchs- und Kontrollgruppen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Die genaue Querschnittsfläche eines jeden Probenstäbchens wurde mit einem digitalen Mess-Schieber (Powerfix Electronic Caliper, Paget Trading Ltd., London, UK) gemessen. Der Mikrozugversuch wurde in einer Universal-Prüf-Maschine (MTD-500, SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham, Deutschland) durchgeführt (Vorschubgeschwindigkeit 1mm/Min). Jedes Stäbchen wurde bis zum vollständigen Bruch belastet. Anschließend

For all etch&rins groups (E&R) the dentin surface was etched with 36% phosphoric acid (DeTrey Conditioner 36, Dentsply, Konstanz, Germany). For the SE and SelE groups, a self-etching primer was applied to the surface. The adhesive systems were applied according to the manufacturers' instructions (table 2) and polymerized (Astralis 5, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein, power output >750mW/cm²). For the groups where the calcium hydroxide liner was applied previous to the adhesive application, the brush was moved with a uniform pressure across the Dycal dots. A composite build-up was applied in 4 layers to the adhesively treated surface (Venus Diamond, color A1, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Germany). Every layer was polymerized for 20s from the top. Finally, the whole build-up was polymerized for 20s from each side. All teeth were detached from their roots approximately 3mm below the interface and cut in small sticks for the microtensile bond strength test (surface area approx. 1mm²). Each stick was checked under the light microscope (Stemi SV 6, Zeiss, Jena, Germany) for imperfections, for example air bubbles, inhomogeneous layering etc. Sticks with air-bubbles, inhomogeneities etc. were excluded from testing.

Before testing the μ TBS, groups IM were stored for 24h at 37°C and groups TC were thermocycled (5.000 cycles at

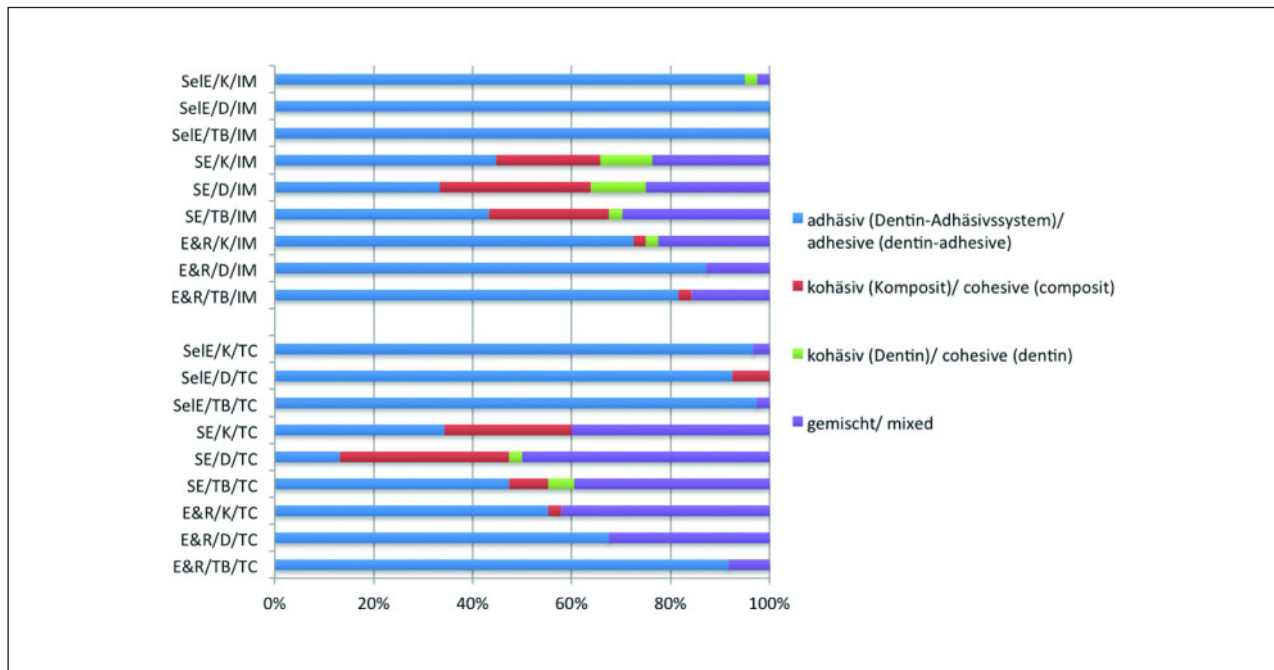


Abbildung 3 Ergebnisse der Frakturanalyse.

Figure 3 Results of the fracture analyses.

(Tab. 1 u. 2, Abb. 1-3: A.K. Lührs u. A. Stegemann)

wurden die Frakturmodi lichtmikroskopisch bei 16-/40-facher Vergrößerung untersucht. Der Versuchsablauf ist in Abbildung 1 dargestellt.

Probenstäbchen, die beim Abmessen der Querschnittsfläche oder bei der Befestigung auf den Traversen der Prüfmaschine zerbrachen, wurden von der statistischen Analyse ausgeschlossen. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des 2-way ANOVA und des Scheffé-Tests bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

Ergebnisse

Die statistische Auswertung der Daten mittels der Zwei-Wege Varianzanalyse (ANOVA) zeigte sowohl nach 24h als auch nach TC einen signifikanten Einfluss der Variablen „Adhäsivsystem“ und „Oberflächenbehandlung“ sowie deren Interaktion. Die Versuchsergebnisse sind Abbildung 2 aufgeführt.

Die höchste Verbundfestigkeit in den Kontrollgruppen wurde sowohl vor ($44,9 \pm 15,6 \text{ MPa}$) als auch nach TC ($39,6 \pm 16,8 \text{ MPa}$) für das Self Etch-Adhäsivsystem (SE/K/IM und SE/K/TC) gemessen. Sie war signifikant höher als das Etch&Rinse- und das Selective Etch-System (E&R/K/IM und SelE/K/IM ($p < 0,001$) bzw. E&R/K/TC und SelE/K/TC ($p = 0,006/p = 0,000$)).

Betrachtet man die Ergebnisse für die einzelnen Adhäsivsysteme in Bezug auf mögliche Wechselwirkungen bedingt durch die Oberflächenbehandlung, so konnte sowohl nach 24h als auch nach TC für das Etch&Rinse-Verfahren kein Einfluss der Oberflächenvorbehandlung nachgewiesen werden. Bei Anwendung der Self Etch-Technik wurden nach 24h signifikant niedrigere Haftwerte nach Oberflächenvorbehandlung mit Temp Bond gemessen ($p = 0,007$). Nach dem TC war dieser Unterschied nicht mehr nachweisbar.

$5^\circ/55^\circ\text{C}$, dwell time 30 seconds). All test- and control groups are shown in table 1.

In order to obtain the surface area at the interface, each stick was measured with a digital caliper (Powerfix Electronic Caliper, Paget Trading Ltd., London, UK) before measuring the μTBS in a universal testing machine (MTD-500, SD Mechatronik, Feldkirchen-Westerham, Germany). Each stick was loaded until failure occurred, and the fracture mode was determined by means of light-microscopy (16-/40-fold magnification). The study design is illustrated in figure 1.

Sticks that fractured during measurement or during attachment to the testing machine were excluded from the test. The 2-way-Anova and the Scheffé-test were performed for statistical analyses at a .05 level of significance (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

Results

The statistical analyses revealed both after 24h and after TC a significant influence of the factors “adhesive” and “TC” as well as their interaction. The results are shown in figure 2.

Regarding the control groups, the self-etch adhesive revealed the highest μTBS before ($44.9 \pm 15.6 \text{ MPa}$) and after TC ($39.6 \pm 16.8 \text{ MPa}$). After 24h, the values were significantly higher when compared to total etch- and selective etch groups (E&R/K/IM and SelE/K/IM ($p < 0.001$)). After TC, the values dropped, but were still significantly different to the Selective Etch adhesive (SelE/K/TC ($p < 0.001$)).

When the results are compared with regard to the different surface pre-treatments, no significant difference after 24h and TC for the total etch approach was found. For the self-etch approach, the μTBS after 24h of water storage was significantly

Für die Gruppen des Selective Etch-Verfahrens wurden die insgesamt signifikant niedrigsten Haftwerte gemessen. Sowohl nach 24h als auch nach TC konnte kein signifikanter Einfluss der Oberflächenbehandlung nachgewiesen werden, allerdings wiesen die Gruppen, die mit dem kalziumhydroxidhaltigen Material vorbehandelt wurden (SeIe/D/IM und SeIe/D/TC), tendenziell niedrigere Haftwerte auf.

Die Frakturanalyse (Abb. 3) ergab sowohl nach 24h als auch nach TC für alle Etch&Rinse-Gruppen überwiegend adhäsive Frakturen an der Grenzfläche zwischen Dentin und Adhäsivsystem. Bei den Self Etch-Gruppen lag nach 24h und auch nach TC eine relativ gleichmäßige Verteilung der Bruchmuster auf adhäsive (Grenzfläche Dentin-Adhäsivsystem), kohäsive und kombiniert adhäsiv/kohäsive Brüche vor.

Die Selective Etch-Gruppen stellen im Vergleich zu allen anderen Gruppen eine Ausnahme dar, da hier sowohl nach 24h als auch nach TC nahezu ausschließlich adhäsive Brüche auftraten.

Für keine der untersuchten Gruppen lagen reine Adhäsivfrakturen zwischen dem Adhäsivsystem und dem Komposit vor.

Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchung zur Wechselwirkung zwischen provisorischen Befestigungsmaterialien und verschiedenen Adhäsivsystemen konnten nach 24h einen signifikanten Einfluss des eugenolhaltigen Materials auf die Mikrozugfestigkeit nachweisen. Die Nullhypothese kann für diesen Versuchsteil nicht bestätigt werden. Nach dem TC relativierten sich diese Ergebnisse jedoch wieder, da für keines der untersuchten Adhäsivsysteme eine Wechselwirkung festgestellt wurde. Die Nullhypothese kann für die Ergebnisse nach TC bestätigt werden. Zwischen den Adhäsivsystemen bestehen sowohl nach 24h als auch nach TC signifikante Unterschiede. Die aufgestellte Nullhypothese ist bezüglich des Einflusses der Adhäsivsysteme widerlegt.

Zur Ermittlung der Ergebnisse wurde in dieser Studie der Mikrozugversuch als Testverfahren eingesetzt. Dieses Verfahren übt im Vergleich zu anderen konventionellen Methoden weniger Stress auf die Probenkörper aus, da ein horizontaler Kraftansatz und eine bessere Stressverteilung auf einer kleinen Verbundoberfläche von ca. 1mm² zum Einsatz kommen. Dadurch werden weniger kohäsive Spannungsbrüche verursacht, die das Testergebnis verfälschen könnten. Weiterhin können anwenderinduzierte Fehler bei der Verwendung der jeweiligen Adhäsivsysteme aufgrund der Verkleinerung der zu untersuchenden Verbundoberfläche auf ca. 1mm² nahezu ausgeschlossen werden [20].

In der Literatur werden verschiedene Formen von Probenkörpern beschrieben, wobei das Spektrum von rechteckigen, wenig bearbeiteten Formen bis hin zu komplexen, sanduhrartigen Gebilden reicht. In dieser Studie wurden rechteckige Probenkörper verwendet, da die Verbundoberfläche während ihrer Herstellung der im Vergleich zu anderen Formen geringsten Belastung ausgesetzt ist [19, 20].

Im Rahmen dieser Untersuchung hat sich für das Etch&Rinse-Verfahren (iBond Total Etch) kein Einfluss durch eine Oberflächenvorbehandlung mit Eugenol oder Kalziumhydroxid ergeben. Ein Grund für diesen Sachverhalt könnte ein Maskierungseffekt sein, der durch den Konditionierungsvorgang während der Vorbehandlung entsteht. Durch Demineralisierung mit Orthophosphorsäure könnte es zu einem „Reinigungseffekt“ auf der

lower for the pre-treatment with the eugenol containing cement ($p=0.007$). After TC, this difference did not exist anymore.

Overall, the selective-etch approach showed the lowest μ TBS. No significant difference was present after 24h and TC for both pre-treatments, but the groups pretreated with the calcium hydroxide liner (SeIe/D/IM and SeIe/D/TC) showed a slight decrease of the μ TBS.

The fracture analyses (figure 3) illustrated predominantly adhesive failures at the dentin-adhesive interface for all selective etch groups, independent of pre-treatment and aging. For the total etch group, the fracture mode distribution was more diverse with a higher amount of mixed fractures but the adhesive fractures (dentin-adhesive interface) still being dominant. For the self etch adhesive, apart from adhesive fractures, a higher amount of cohesive and mixed fractures occurred. No fractures occurred completely at the adhesive-composite interface.

Discussion

This study about possible interactions between temporary luting agents and different adhesives documents a significant effect of the eugenol containing material on the μ TBS of the investigated dentin adhesives. For this part of the study, the null-hypothesis has to be rejected. After TC there was no significant interaction between the different adhesives and the temporary luting materials. The null-hypothesis was confirmed for the TC results. Because there were significant differences between the adhesives after 24h and after TC, the null-hypothesis regarding the influence of the adhesives on the μ TBS has to be rejected as well.

The testing procedure used in this study was the μ TBS. Compared to other methods, less stress occurs within the specimen, because force is applied horizontally. Furthermore, the stress is distributed more equally on a small bonded surface of approx. 1mm². This leads to less stress-induced cohesive fractures that might impair the test results. Also, the risk of operator-induced mistakes during the application is minimized because of the decreased size of the bonded surface [20].

Different specimen shapes, rectangular and very little processed ones in contrast to complex, hourglass-shaped forms are described in the literature. In our study we used rectangular specimens, because the least stress occurs at the interface during the manufacturing process compared to other shapes [19, 20].

In this study, the μ TBS of the total etch adhesive (iBond Total Etch) was not influenced by eugenol or calcium hydroxide containing materials. The reason for this could be that a possible interaction is masked by the etch&rinse procedure. The surface demineralization could cause a “cleaning effect” which might be stronger than the effects generated by the surface pre-treatments [22]. The surface is demineralized by phosphoric acid into deeper layers, and etching and rinsing might remove the remnants of the materials used for the pre-treatment.

The self etch adhesive (iBond) showed a decrease in μ TBS after 24h and application of an eugenol containing temporary cement (Temp Bond). Eugenol could cause a negative effect because of interactions with the adhesive [7, 9, 17, 25] that may lead to an inhibition of the polymerization [13]. On the contrary, other authors described that this negative interaction

Oberfläche der Zahnhartsubstanz kommen [22], der stärker ist als die Auswirkungen der angewendeten Oberflächenbehandlungen. Die Dentinoberfläche wird durch die Orthophosphorsäure bis in tiefere Schichten demineralisiert, wobei im Zuge des Konditionierens und Spülens wahrscheinlich auch die Inhaltsstoffe der Oberflächenvorbehandlung beseitigt werden.

Der Verlust an μ TBS beim Self Etch-Adhäsiv (iBond Self Etch) lässt sich nach 24h-Lagerung und Applikation von eugenolhaltigem Zement (Temp Bond) mit dem negativen Einfluss durch Eugenol erklären [7, 9, 17, 25], das in Wechselwirkung mit dem Adhäsivsystem tritt und dabei die Ausbildung und Verknüpfung von Polymerisationsketten inhibiert [13]. *Silva* et al. beschreiben aber auch, dass der Negativeffekt von Eugenol nach 24h höher ist als nach einer Woche und begründen dies damit, dass in den ersten 24h die Diffusion von Eugenol in das Dentin ihr Maximum erreicht und danach kontinuierlich abnimmt. Weiterhin wird in derselben Untersuchung eine Wartezeit von einer Woche bis zur definitiven adhäsiven Versorgung propagiert, um eine weitere Reduktion der Eugenolkonzentration zu erreichen, was klinisch zum Teil nicht praktikabel ist [25].

Nach dem TC lag kein signifikanter Negativeffekt mehr durch Eugenol vor, was vor allem dem TC-Vorgang selber zuzuschreiben ist. Der künstliche Alterungsprozess des Haftverbundes egalisiert scheinbar die zuvor signifikant höheren Werte der IM-Gruppe auf ein nicht signifikant unterschiedliches Niveau der TC-Gruppe und maskiert damit mögliche Effekte, die von einer Eugenolbehandlung ausgehen. In der Literatur finden sich sowohl Belege gegen [24] als auch für [16, 28] einen signifikanten Einfluss des TC. Dabei verursacht das TC wahrscheinlich eine mechanische Stressbelastung an der Grenzfläche zwischen Zahn und künstlichem Restaurationsmaterial, da bei beiden Materialien verschiedene thermische Expansions- und Kontraktionskoeffizienten vorliegen [3, 10].

Auch die Dauer bzw. die Anzahl der TC-Zyklen können einen Einfluss auf die Intensität des TC-Effekts haben. Daher muss idealerweise zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Studien eine Zyklenanzahl gewählt werden, die in der Literatur breite Anwendung findet und damit repräsentativ ist [16, 23]. Ist die Anzahl TC-Zyklen nicht ausreichend, so ist der Effekt der künstlichen Alterung zu gering, um Aussagen über Reduktion der Haftwerte, bedingt durch diesen Alterungsprozess, zu treffen. Basierend auf der Annahme, dass pro Tag, insbesondere während der Nahrungsaufnahme, in der Mundhöhle 20 bis 50 Temperaturwechsel stattfinden, entsprechen die in dieser Untersuchung angewendeten 5.000 TC-Zyklen einer intraoralen Verweildauer von etwa einem halben Jahr [14, 23].

Weitere provisorische Zemente, die in der Zahnheilkunde ein großes Einsatzgebiet haben, sind Kalziumhydroxidhaltige Liner, wie z.B. Dycal. Kalziumhydroxid wird unter anderem sowohl als medikamentöse Einlage in der Endodontie als auch bei der direkten oder indirekten Überkappung angewendet [11] und steht damit bei Verwendung von Adhäsiven in direktem Kontakt zur Verbundoberfläche des Restaurationsmaterials. Damit liegt die Vermutung nahe, dass auch bei diesem Material Wechselwirkungen den Haftverbund der beteiligten Materialien negativ beeinflussen könnten. Diese Vermutung wurde in der Literatur bereits kontrovers diskutiert, wobei eine Tendenz in Richtung eines nicht signifikanten Einflusses festgestellt wurde [2, 9]. Untersuchungen ergaben sogar einen gewissen Anstieg der Haftwerte nach einer Verwendung von Kalziumhydroxid als 14 Tage an-

is stronger after 24h than after one week, because eugenol reaches its diffusion maximum after 24h. Afterwards, its diffusion capacity decreases continuously. As a consequence of these results, an adhesive restoration should only be placed with a delay of one week after use of eugenol containing materials, which is sometimes clinically not applicable [25].

After TC, the negative influence of eugenol on the μ TBS of the self etch adhesive was not detectable anymore, which was caused by the TC itself. The artificial aging of the bonded interfaces equalizes the significant differences in bond strength between the 24h values and the values after TC. The scientific literature provides evidence against [24] and for an effect caused by TC [16, 28]. The stress at the interface between tooth and restoration that might occur during TC is caused by the different expansion and contraction coefficients of the materials [3, 10]. Also, the duration and the number of cycles can influence the effect caused by TC. To make results from different studies better comparable, a specific, defined number of cycles should be chosen [16, 23]. If the number of cycles is too little, the effect of the artificial aging might be minor and no conclusions concerning a decrease of the bond strength values can be drawn from the obtained results. In the oral cavity, approximately 20 to 50 temperature changes occur, especially during ingestion. In this study, 5.000 TC cycles were applied which corresponds to an intraoral period of 6 months [14, 23].

Another material, which is frequently used in dentistry, is calcium hydroxide. Calcium hydroxide is applied, for example, as a temporary root canal filling during endodontic therapy and for direct or indirect pulp capping [11]. Furthermore, calcium hydroxide liners are used for temporary cementation. As a consequence, surfaces that were in contact with calcium hydroxide are subsequently treated with dentin adhesives. This leads to the assumption that interactions may be possible that may impair adhesion. The dental literature shows controversy regarding this topic. Nevertheless there is a tendency that no significant influences could be found [2, 9]. In some studies even an increase of bond strength was detected after calcium hydroxide was used for 14 days as a temporary root canal filling [8]. Another study did not document an effect of calcium hydroxide after 7 or 30 days [27]. *Andreassen* et al. found a decrease of up to 50% in dentin ultimate strength by increasing treatment times to 60 days and 1 year after application of a calcium hydroxide which was probably caused by a reduction of the organic contents in dentin [4]. This loss of ultimate strength could be the cause for an increase of cohesive fractures after use of calcium hydroxide.

The null hypothesis regarding the interaction between calcium hydroxide containing, temporary luting agents was confirmed for the different adhesive systems after 24h and TC, because no significant effect on the μ TBS was detected. Nevertheless our study showed a tendency towards decreased μ TBS values after TC for the selective etch adhesive when compared to the control or eugenol pre-treated groups. One reason for the lower values of the selective etch adhesive can be the technique sensitivity or this 4-step system [21]. Compared to 1- or 2-step systems, operator induced mistakes may occur more frequently. An extended etching period, for example, can lead to a deep demineralization of the dentin and an excessive drying afterwards may cause a collapse of the demineralized and exposed collagen network. Furthermore, each one of the 4 application steps might influence the enamel etch pattern and the

dauernde medikamentöse Einlage im Wurzelkanal [8]. Windley et al. verzeichneten bei einer Kurzzeitbehandlung mit Kalziumhydroxid von 7 oder 30 Tagen keinen signifikanten Einfluss auf die Haftwerte [27]. Weiterhin konnten Andreasen et al. bei einer ansteigenden Dauer einer Kalziumhydroxidbehandlung von 60 Tagen bis zu einem Jahr eine Abnahme der Bruchfestigkeit von Dentin, nach Applikation einer medikamentösen Einlage mit einem kalziumhydroxidhaltigen Präparat, von bis zu 50% feststellen, was vermutlich auf eine Reduktion der organischen Bestandteile des Dentins zurückzuführen ist [4]. Diese Abnahme der Dentinbruchfestigkeit könnte bei einer adhäsiven Versorgung und vorangegangener Verwendung von Kalziumhydroxid für einen Anstieg der kohäsiven Brüche verantwortlich sein.

Die Nullhypothese zur Wechselwirkung zwischen kalziumhydroxidhaltigen Befestigungsmaterialien und den verschiedenen Adhäsivsystemen konnte jedoch sowohl nach 24h als auch nach TC bestätigt werden, da auch in der vorliegenden Untersuchung kein signifikanter Einfluss des kalziumhydroxidhaltigen Materials auf die Mikrozugfestigkeit nachgewiesen werden konnte.

Eine Tendenz zu einem negativen Einfluss der Kalziumhydroxidmaterialien ist jedoch in dieser Untersuchung dahingehend erkennbar, dass beim Selective Etch-Verfahren für die Anwendung von Dycal tendenziell niedrigere Haftwerte zu verzeichnen waren als bei den Kontrollgruppen oder den mit Temp Bond vorbehandelten Versuchsgruppen, die jedoch nicht signifikant unterschiedlich waren.

Ein Grund für die niedrigen Haftwerte beim Selective Etch-Verfahren in dieser vorliegenden Untersuchung könnte die Techniksensitivität dieses 4-Schritt-Systems sein [21], das im Vergleich zum 1-Schritt Self Etch- oder auch dem 2-Schritt Etch&Rinse-System mehr anwenderbedingte Fehler ermöglicht. So kann z.B. ein verlängerter Konditionierungsvorgang mit Phosphorsäure das Dentin tief demineralisieren und ein anschließendes exzessives Trocknen der Verbundoberfläche einen Kollaps des freigelegten Kollagennetzwerkes verursachen. Des Weiteren liegen mögliche Fehlerquellen in den 4 verschiedenen Arbeitsschritten, da mit jedem Applikationsvorgang das Ätzmuster oder auch das Kollagennetzwerk beeinträchtigt werden können [6, 12]. Auch wenn Pashley et al. diesen Anwenderfehler beim Mikrozugversuch nahezu ausschließen [20], kann er dennoch nicht vollständig von der Hand gewiesen werden [21]. Im Falle des untersuchten Selective Etch-Systems haben sowohl der TC-Vorgang als auch die an sich niedrigen Haftwerte einen möglichen Einfluss der eugenol- oder kalziumhydroxidhaltigen Materialien maskiert.

Schlussfolgerung

Provisorische Zemente auf Eugenolbasis beeinflussen, in Abhängigkeit vom angewendeten Adhäsivsystem, den adhäsiven Verbund stärker als kalziumhydroxidhaltige Materialien. Klinisch lassen provisorische Zemente auf Kalziumhydroxidbasis bei anschließender adhäsiver Versorgung weniger Wechselwirkungen erwarten. Weitere Untersuchungen sollten den Einfluss der sauren Komponente von Adhäsivsystemen auf den basischen Liner genauer untersuchen, da mögliche Wechselwirkungen mit den Adhäsivsystemen vom pH-Wert und der Art der Säure abhängig sein könnten.

exposed collagen [6, 12]. Even though operator induced mistakes during the μ TBS test are ruled out [20], mistakes can occur during this procedure [21]. In our study, a possible influence of calcium hydroxide and eugenol on the selective etch adhesive was masked by TC and the already low initial bond strength.


Conclusion

Temporary cements which contain eugenol have, dependant of the used adhesive technique, a stronger influence on adhesion when compared to calcium hydroxide containing materials. Clinically, temporary material based on calcium hydroxide should less likely interact with applied adhesives. Further research should focus on the influence of the acid component of adhesives on calcium hydroxide liners, because possible interactions might be dependant on the pH value and the chemical composition of the adhesive. DZZ

Korrespondenzadresse

Dr. A.-K. Lührs
Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und
Präventive Zahnheilkunde
Medizinische Hochschule Hannover
Carl Neuberg-Str. 1
30625 Hannover
Luehrs.Anne-Katrin@mh-hannover.de

Danksagung

Die Autoren danken Dr. L. Hoy, Institut für Biometrie, Medizinische Hochschule Hannover, für die Unterstützung während der statistischen Auswertung der erhobenen Daten. 

Interessenkonflikt: Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht. Teile der in der Studie verwendeten Materialien wurden von der Firma Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland zur Verfügung gestellt.

Literatur

1. Alfredo E, de Souza ES, Marchesan MA, Paulino SM, Gariba-Silva R, Sousa-Neto MD: Effect of eugenol-based endodontic cement on the adhesion of intraradicular posts. *Braz Dent J* 2006;17:130–133
2. Altintas SH, Tak O, Secilmis A, Usumez A: Effect of provisional cements on shear bond strength of porcelain laminate veneers. *Eur J Dent* 2011;5:373–379
3. Amaral FL, Colucci V, Palma-Dibb RG, Corona SA: Assessment of in vitro methods used to promote adhesive interface degradation: a critical review. *J Esthet Restor Dent* 2007;19:340–354
4. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC: Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol* 2002;18:134–137
5. Calt S, Serper A: Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod* 1999;25:431–433
6. Cardoso MV, de Almeida Neves A, Mine A et al.: Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Aust Dent J* 2011;56(Suppl1):31–44
7. Carvalho CN, de Oliveira Bauer JR, Loguercio AD, Reis A: Effect of ZOE temporary restoration on resin-dentin bond strength using different adhesive strategies. *J Esthet Restor Dent* 2007;19:144–152
8. Carvalho CN, Bauer J, Ferrari PH et al.: Influence of calcium hydroxide intracanal medication on bond strength of two endodontic resin-based sealers assessed by micropush-out test. *Dent Traumatol* (2012), doi: 10.1111/j.1600-9657.2011.01109.x, epub ahead of print
9. Cecchin D, Farina AP, Souza MA, Carlini-Júnior B, Ferraz CC: Effect of root canal sealers on bond strength of fibre-glass posts cemented with self-adhesive resin cements. *Int Endod J* 2011;44:314–320
10. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M et al.: A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res* 2005;84:118–132
11. Farhad A, Mohammadi Z: Calcium hydroxide: a review. *Int Dent J* 2005;55:293–301
12. Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A: Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 2000;25:324–330
13. Fujisawa S, Kadoma Y: Action of eugenol as a retarder against polymerization of methyl methacrylate by benzoyl peroxide. *Biomaterials* 1997;18:701–703
14. Gale MS, Darvell BW: Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;7:89–99
15. Guhr S, Günay H, Lührs AK: Influence of calcium hydroxide liners on shear bond strength of self-etch adhesives. *Dtsch Zahnärztl Z* 2008;63:120–127
16. Helvatjoglu-Antoniades M, Koliniotou-Kubia E, Dionyssopoulos P: The effect of thermal cycling on the bovine dentine shear bond strength of current adhesive systems. *J Oral Rehabil* 2004;31:911–917
17. Millstein PL, Nathanson D: Effect of eugenol and eugenol cements on cured composite resin. *J Prosthet Dent* 1983;50:211–215
18. Pashley DH, Kalathoor S, Burnham D: The effects of calcium hydroxide on dentin permeability. *J Dent Res* 1986;65:417–420
19. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshizawa M, Carvalho RM: Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater* 1995;11:117–125
20. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H et al.: The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent* 1999;1:299–309
21. Peutzfeldt A, Asmussen E: Adhesive systems: effect on bond strength of incorrect use. *J Adhes Dent* 2002;4:233–242
22. Puppini-Rontani RM, Caetano E, Garcia-Godoy F, De Goes MF: Effect of antimicrobial agents on the micromorphology of primary dentin. *J Clin Pediatr Dent* 2001;25:137–141
23. Saboia VP, Silva FC, Nato F et al.: Analysis of differential artificial ageing of the adhesive interface produced by a two-step etch-and-rinse adhesive. *Eur J Oral Sci* 2009;117:618–624
24. Sheets JL, Wilcox CW, Barkmeier WW, Nunn ME: The effect of phosphoric acid pre-etching and thermocycling on self-etching adhesive enamel bonding. *J Prosthet Dent* 2012;107:102–108
25. Silva JP, Queiroz DM, Azevedo LH et al.: Effect of eugenol exposure time and post-removal delay on the bond strength of a self-etching adhesive to dentin. *Oper Dent* 2011;36:66–71
26. Siqueira JF Jr, Lopes HP: Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *Int Endod J* 1999;32:361–369
27. Windley W 3rd, Ritter A, Trope M: The effect of short-term calcium hydroxide treatment on dentin bond strengths to composite resin. *Dent Traumatol* 2003;19:79–84
28. Xie C, Han Y, Zhao XY, Wang ZY, He HM: Microtensile bond strength of one- and two-step self-etching adhesives on sclerotic dentin: the effects of thermocycling. *Oper Dent* 2010;35:547–555