

Prime&Bond active®

Universal Adhesive



Inhalt

1	Einführung	4
2	Prime&Bond active® – Produktbeschreibung	5
2.1	Zusammensetzung im Überblick.....	5
2.2	Saure Monomere.....	6
2.3	Kunststoffbestandteile	7
2.4	Lösungsmittelsystem.....	10
3	In-vitro-Studien	12
3.1	Haftfestigkeit.....	13
3.1.1	Scherhaftfestigkeit an Schmelz und Dentin	13
3.1.2	Scherhaftfestigkeit an unterschiedlich feuchtem Dentin	14
3.1.3	Scherermüdigungsfestigkeit an unterschiedlich feuchtem Dentin	15
3.1.4	Scherhaftfestigkeit an Dentin mit unterschiedlichem Wassergehalt....	16
3.1.5	Mikrozugfestigkeit an Dentin bei indirekten Restaurationen.....	17
3.1.6	Scherhaftfestigkeit an Restaurationsmaterialien.....	19
3.1.7	Sofortige Scherhaftfestigkeit an Dentin.....	20
3.1.8	Retentionskraft an Kronenpräparationen	21
3.2	Mikromorphologie	22
3.2.1	Hybridschicht auf feuchtem und übertrocknetem Dentin	22
3.3	Randadaptation.....	24
3.3.1	Randadaptation bei Klasse-II-Kompositfüllungen	25
3.3.2	Randadaptation bei Klasse-V-Kompositfüllungen	26
3.3.3	Microleakage bei Klasse-V-Kompositfüllungen	27
3.3.4	Randadaptation bei indirekten Restaurationen.....	28
3.4	Filmdicke des Adhäsivs und Qualität der Polymerisation.....	29
3.4.1	Filmdicke.....	29
3.4.2	Konversionsrate	30
3.5	Fazit der In-vitro-Studien	31
4	Klinische Daten.....	32
4.1	Anwendertest zur Handhabung – Adhäsiv.....	32
4.1.1	Postoperative Überempfindlichkeit in der täglichen Praxis.....	34
4.2	Anwendertest zur Handhabung – neue Flasche mit Klappdeckel	35
4.3	Fazit der Anwendertests	36

5	Gebrauchsanweisung	36
6	Literatur	37
7	Glossar und Abkürzungen.....	40
8	Abbildungsverzeichnis	41
9	Tabellenverzeichnis.....	43

1 Einführung

Der Markt für Ein-Flaschen-Adhäsive ist heute komplexer denn je. Ständig werden neue Produkte eingeführt und treten neue Spieler auf den Plan. Seit kurzem gibt es eine neue, mit den etablierten Etch&Rinse- (E&R) und Self-Etch- (SE) Adhäsiven gleichermaßen konkurrierende Klasse von Ein-Schritt-Universaladhäsiven.^[1-10]

Der Begriff „universal“, nach dem die neuartigen Universaladhäsive benannt sind, ist bislang nicht eindeutig definiert. Eine Möglichkeit wäre, ihn für Produkte zu verwenden, die sich für alle drei Ätztechniken eignen, also E&R, SE und SEE (Selective-Enamel-Etch = selektive Schmelzätzung). So gesehen wäre Xeno[®] Select ein Vertreter dieser Adhäsivklasse.

Eine erweiterte Definition bezieht die Eignung für direkte und indirekte Restaurationen in Kombination mit dual- und selbsthärtenden Materialien mit ein, einschließlich zusätzlicher Primer-Eigenschaften bei Zirkonoxidkeramik.^[11] Im weitesten Sinne steht „universal“ also für unterschiedliche Ätztechniken und dentale Substrate. Hier kommt Prime&Bond active[®] mit seiner Active-Guard[™] Technologie ins Spiel.

Diverse Ein-Flaschen-Universaladhäsive sind bereits auf dem Markt. Also was genau macht Prime&Bond active[®] in Technologie und Handhabung so einzigartig? Warum ist Prime&Bond active[®] NICHT nur irgendein weiteres Universaladhäsiv?

Bei der Entwicklung von Prime&Bond active[®] konzentrierten wir uns auf Wünsche von Zahnärzten nach einem vielseitigen, robusten, anwenderfreundlichen, präzise und sparsam (vor-) dosierbaren Produkt. Es sollte noch einen weiteren Vorteil bieten – wir entwickelten eine neue, einhändig verwendbare Flasche. Prime&Bond active[®] steht aber für deutlich mehr als Vielseitigkeit und Haftfestigkeit. Wir möchten Zahnärzten mit einem innovativen und praktischen Adhäsiv die tägliche Arbeit erleichtern; daher legen wir besonderen Wert auf „*proaktive Handhabungseigenschaften*“.

2 Prime&Bond active® – Produktbeschreibung

Prime&Bond active® ist ein Ein-Komponenten-Universaladhäsiv. Es ist erhältlich in:

- Tri-laminierte Flasche mit Klappdeckel
- Unit Dose zum Einpatientengebrauch

Prime&Bond active® ist indiziert für:

- Direkte Restaurationen aus lichthärtenden Kompositen und Kompomeren
- Komposit-, Keramik- und Amalgamreparaturen
- Kavitätenlack bei neuen Amalgamfüllungen
- Mit Calibra® Ceram befestigte indirekte Restaurationen und Wurzelstifte
- Direkte Restaurationen und Stumpfaufbauten aus dual-/selbsthärtenden Kompositen¹
- Mit dual-/selbsthärtenden Kompositzementen befestigte indirekte Restaurationen und Wurzelstifte¹

2.1 Zusammensetzung im Überblick

Prime&Bond active® ist eine schwach ätzende (pH > 2,5) Adhäsiv-Formulierung mit einem neu entwickelten hydrolysestabilen Vernetzer, Phosphorsäureestern, Isopropanol und Wasser. Einen Überblick über die Zusammensetzung und die generellen Funktionen der einzelnen Bestandteile bietet Tabelle 1.

Bestandteil	Generelle Funktion
Bi- und multifunktionelles Acrylat	Oberflächenaktiver Vernetzer
Phosphorsäuremodifiziertes Acrylat	Ätzmittel, Haftvermittler, Primer
Initiator	Photoinitiator-System
Stabilisator	Lagerstabilisator für die Monomere
Isopropanol	Lösungsmittel für die Kunststoffe, Polaritätseinstellung
Wasser	Lösungsmittel für die Kunststoffe, Ätzhilfsmittel

Tabelle 1 Zusammensetzung von Prime&Bond active®, generelle Funktionen der Bestandteile.

¹ In Kombination mit dem Self Cure Activator von Dentsply Sirona.

Prime&Bond active® enthält keine anorganischen Füllerpartikel. Mit solchen Füllern wird in der Regel die Viskosität erhöht oder eine gleichmäßige, ausreichend dicke Adhäsivschicht sichergestellt. Doch bei Prime&Bond active® sind sowohl die niedrige Viskosität ($< 30 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) als auch die geringe Filmdicke nach der Polymerisation ($< 10 \mu\text{m}$) optimal. Für die erforderlichen filmbildenden Eigenschaften sorgt schon die Kunststoffzusammensetzung. Auf Füller kann deshalb verzichtet werden; sie würden die Formulierung nur unnötig komplizieren.

Zur Realisierung der gewünschten „proaktiven Handhabungseigenschaften“ wurden vor der Entwicklung alle handelsüblichen Adhäsiv-Bestandteile gründlich überprüft.

2.2 Saure Monomere

Bestandteile mit dem klaren Vorteil eines guten Eindringvermögens, wie die klinisch bewährten phosphorsäuremodifizierten Acrylate PENTA (Dipentaerythritolpentacrylatphosphat) und MDP (10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat), siehe Abbildung 1, wurden erwogen und dann auch in die Formulierung aufgenommen.

Wegen der Phosphorsäureester-Gruppen ist die Konzentration von MDP und PENTA äußerst wichtig. Wir kombinierten diese beiden Monomere so, dass die Adhäsiv-Formulierung am Ende den gewünschten pH-Wert von ca. 2,5 (schwach ätzend) hat. Neben der Balance von Hydrophilie und Hydrophobie in der Formulierung ist diese exakte pH-Kontrolle bei Universaladhäsiven entscheidend. Sie sorgt für volle Kompatibilität mit dual-/selbsthärtenden Kompositen und Kompositzementen.^[8]

Durch die Kombination des weitverbreiteten MDP mit dem von Dentsply Sirona patentierten PENTA vereint Prime&Bond active® die Vorteile dieser Monomere.

Beide Monomere ätzen die Zahnschicht verlässlich an und setzen dabei solvatisierte Calciumionen frei. Diese werden sofort durch irreversible Calcium-Phosphat-Komplexbildung in der Hybridschicht festgehalten. Da MDP und PENTA polymerisierbare Doppelbindungen haben, werden ihre jeweiligen Calcium-Phosphat-Komplexe dann beim Aushärten in das Polymernetzwerk integriert. MDP enthält insbesondere eine lange, relativ hydrophobe Alkyl-Linkerkette und eine Doppelbindung pro Molekül. Es bildet selbstorganisierende Nanoschichtstrukturen, die die Hybridschicht des Adhäsivs zusätzlich festigen.^[12-17]

Das PENTA-Molekül zeigt zwar eine ähnliche Komplexbildung mit Calcium-Ionen wie MDP, aber wegen seiner voluminösen Struktur entsteht wohl keine Nanoschicht.^[18] Dafür hat PENTA spezielle Vorteile, die MDP nicht bietet. Es besitzt einen hydrophilen Kern und fünf Doppelbindungen pro Molekül. Deshalb ist es nicht nur ein hocheffektiver Vernetzer, sondern auch ein exzellentes Benetzungsmittel – und das macht Prime&Bond active® so einzigartig.

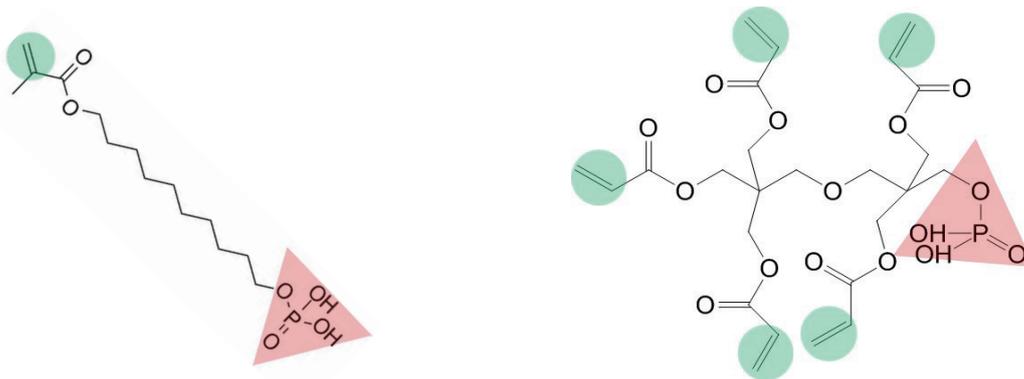


Abbildung 1 Strukturformeln der in Prime&Bond active® enthaltenen sauren Monomere MDP (links) und PENTA (rechts). Reaktive Doppelbindungen (Kreise) und saure Gruppen (Dreiecke) sind markiert.

2.3 Kunststoffbestandteile

Auch handelsübliche bi- und multifunktionelle Acrylate erschienen zunächst geeignet. Bei genauerer Betrachtung hätten sie aber unerwünschte Einschränkungen mit sich gebracht; daher wurden sie bei der weiteren Entwicklung nicht berücksichtigt.^[6]

Bei konventionellen Adhäsiven besteht die Acrylat-Mischung meist aus zwei aufeinander abgestimmten Teilen A und B: A ist ein Vernetzer wie bisGMA (Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat) oder (D)UDMA ((Di-) Urethandimethacrylat), B ein Reaktivverdünner wie das niedermolekulare HEMA (2-Hydroxyethylmethacrylat) oder das hochflexible TEGDMA (Triethylenglycoldimethacrylat).

Der eher hydrophobe Teil A sorgt vor allem durch Bildung eines dichten und stabilen Netzwerks bei der Polymerisation für hohe klinische Langlebigkeit, der eher hydrophile Teil B reduziert insbesondere die hohe Viskosität und erhöht die Matrixlöslichkeit von A. Teil B stellt zwar ein gutes Eindringvermögen der Mischung aus A und B (A+B) in das Dentin sicher, aber A und B haben beide auch Nachteile. So kann A starke Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Molekülen bilden, was eine sehr hohe

intrinsische Viskosität ($> 100 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) und eine geringe Wasserlöslichkeit zur Folge hat. Dagegen zeigt B eine exzellente Wasserlöslichkeit und eine sehr niedrige Viskosität ($< 0,01 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), was jedoch zu einer hohen Wassersorption, einer starken Auswaschung von unpolymerisiertem B aus dem gehärteten Material und damit zu unerwünschten Wasserbäumchen in der Hybridschicht führen kann.

Natürlich ist auf der Basis von A+B eine gut ausbalancierte Kunststoffzusammensetzung herstellbar. Unter Idealbedingungen lässt sich ein stabiles Gleichgewicht erzielen, das hochwertige Produkte ermöglicht. Aber A+B bleibt ein binäres System, bei dem die Teile A und B weiter gegensätzliche chemische und physikalische Eigenschaften haben. Daher ist ein System A+B von Natur aus empfindlich gegenüber äußeren Einflüssen, die *Abweichungen vom bestehenden Gleichgewicht bewirken*. So verschiebt etwa die selektive Verdunstung eines Teils, A oder B, das Konzentrationsverhältnis A/B in der Formulierung. Die Eigenschaften des Gegenübers, B oder A, dominieren nun und destabilisieren damit das Gleichgewicht. Auch die Zugabe eines dritten Teils C, wie z.B. Wasser, stört das Gleichgewicht, was zu drei verschiedenen Szenarien führen kann: I. Wasser wird aktiv eingebunden, aber es kommt schnell zu einer Phasentrennung von A, B oder Mischphasen daraus (*nachteilig*).

II. Wasser wird nicht oder nur geringfügig eingebunden (*passiv*). Mit zunehmender Wassermenge kann es zum Kollaps des homogenen Systems A+B+C und damit zu einer irreversiblen Phasentrennung in A+B einerseits und C andererseits kommen. Oder das Gemisch bzw. Adhäsiv vom Typ A+B und die zugegebene Wasserphase C vermengen sich erst gar nicht, siehe Abbildung 2.

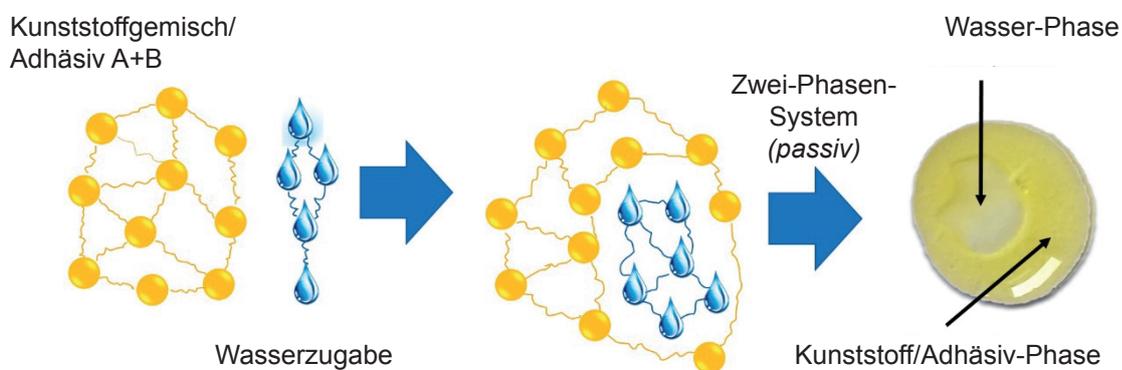


Abbildung 2 Passives Verhalten eines Kunststoffgemischs bzw. Adhäsivs vom Typ A+B bei Kontakt mit einer kleinen Wassermenge C; es verbleibt ein heterogenes, aus den Phasen A+B und C bestehendes System.

Daher lassen sich auf A+B basierende Adhäsivsysteme in den heterogenen Szenarien I und II nicht gleichmäßig auf einer Fläche verteilen und bilden keine homogene Adhäsivschicht. Bei zu feuchten Substraten sähe das Resultat wie in Abbildung 2 aus. Bei stark saugfähigen Substraten wie übertröcknetem Dentin käme es dagegen zu einer nachteiligen Verschiebung des Konzentrationsverhältnisses A/B, bemerkbar als ungenügende Benetzungs- und/oder Eindringfähigkeit.

Dieses unerwünschte Verhalten und die Strategie zu seiner Vermeidung sind eine Frage von molekularer Thermodynamik, Mischkinetik und Benetzungseigenschaften von Flüssigkeiten auf Oberflächen. Bei der Entwicklung von Prime&Bond active® wurde das wünschenswerteste, *aktive* Szenario III angestrebt.

Das bedeutet, wir verfolgten bei Prime&Bond active® anstelle des oben erläuterten klassischen Ansatzes A+B den innovativen Ansatz A-B. Das neue Konzept A-B sollte alle erwünschten, nützlichen Eigenschaften in nur einem Molekül kombinieren und zugleich unerwünschte Eigenschaften minimieren oder möglichst ganz ausschließen. So entstand letztlich unsere Active-Guard™ Technologie. Eine höhere Kompatibilität mit Wasser gelang mit einem einzigen Monomer vom Typ A-B. Ein neuer, flüssiger, bifunktioneller Acrylat-Vernetzer mit N-Allyl-Funktionen zeigte eine hohe Reaktivität bei der Polymerisation ($> 150 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$). Und da Wasserstoffbrückenbindungen vermieden wurden, war die Viskosität sehr niedrig ($< 0,5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$).

Das Konzept balanciert die in einem Molekül untrennbar verbundenen hydrophoben und hydrophilen Merkmale von A und B sorgfältig aus. So sorgt die Active-Guard™ Technologie für eine optimale Oberflächenspannung und einen geringen Kontaktwinkel auf dentalen Substraten. Auch die relativ hohe Oberflächenspannung von Wasser ($72,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$) konnte effektiv überwunden werden. Eine „proaktive“, spontane Einbindung kleiner Wassermengen wird ohne unerwünschte Phasentrennung realisiert, siehe Abbildung 3. Die Strukturformel des neuen Vernetzers zeigt Abbildung 4.

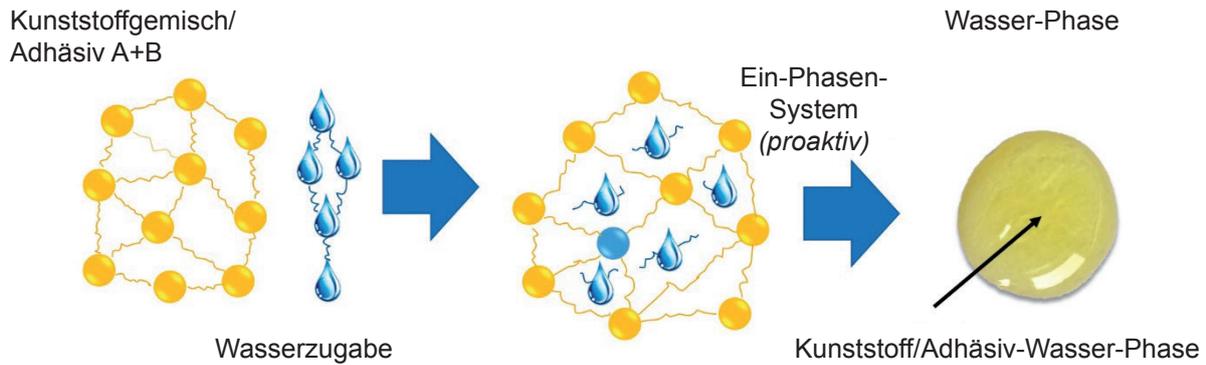


Abbildung 3 „Proaktives“ Verhalten eines Kunststoffgemischs bzw. Adhäsivs vom Typ A-B bei Kontakt mit einer kleinen Wassermenge C (Active-Guard™ Technologie von Dentsply Sirona, führt schnell zu einer einzigen, homogenen Phase).

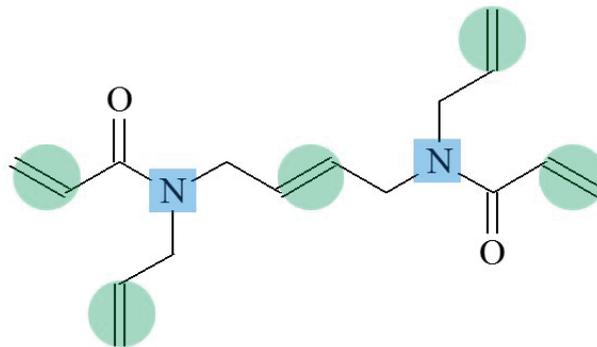


Abbildung 4 Strukturformel des neuen Vernetzers, der Bestandteil der Active-Guard™ Technologie ist. Reaktive Doppelbindungen (Kreise) und N-Allyl-Zentren (Quadrate) sind markiert.

2.4 Lösungsmittelsystem

Auch die Wahl des Lösungsmittelsystems sollte bei der Entwicklung von Adhäsiven gut überlegt sein. Es gibt aber keine allgemeingültige Antwort auf die Frage, welches Lösungsmittelsystem für welche Kunststoffzusammensetzung gewählt werden sollte. Nach der Entscheidung für ein bestimmtes Kunststoffgemisch ist das Lösungsmittelsystem individuell und unter Beachtung der anvisierten Verdunstungszeiten anzupassen.^[7] Dabei sollten Vor- und Nachteile der einzelnen (Co-)Lösungsmittel und ihre möglichen Einflüsse berücksichtigt werden, siehe Abbildung 5.

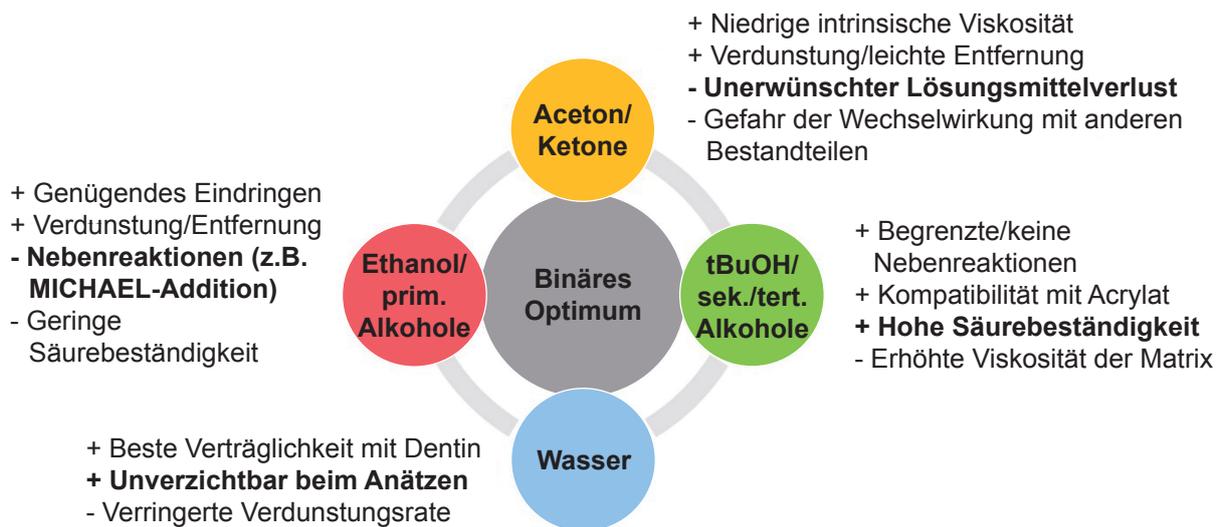


Abbildung 5 Überblick über gängige Lösungsmittelsysteme in Adhäsiven und ihre Vor- und Nachteile.

Der Ausgangspunkt ist klar: Wasser ist ein wesentlicher Teil der Formulierung. Es sorgt dafür, dass bei Anwendung des Universaladhäsivs in SE- oder SEE-Technik ausreichend angeätzt wird. Doch wegen seiner hohen relativen Polarität (1,000) und seines niedrigen Dampfdrucks lässt sich Wasser vor der Lichthärtung nur schwer durch Verblasen entfernen. Deshalb wird es meist mit einem Co-Lösungsmittel in einer sog. binären Mischung kombiniert.

Ein möglicher Kandidat, Isopropanol, ist in jedem Verhältnis vollständig wasserlöslich. Seine Viskosität ist niedrig (2,4 mPa*s bei 20°C), mehr als 400-mal niedriger als die von Wasser (1.000 Pa*s bei 20°C). Die relative Polarität ist bei Isopropanol (0,546) geringer als z.B. beim primären Alkohol Ethanol (0,654). Die Viskosität ist bei Isopropanol (2,4 mPa*s) doppelt so hoch wie bei Ethanol (1,2 mPa*s). Isopropanol hat zwar einen ähnlich hohen Siedepunkt (82°C) wie Ethanol (78°C), aber in Kombination mit Wasser in komplexeren Adhäsiv-Mischungen können sich unterschiedliche Löslichkeits-, Benetzungs- und Verdunstungseigenschaften ergeben.

Obwohl Isopropanol weniger hydrophil und etwas viskoser als Ethanol ist, schien es uns zur Kombination mit unserer neuen, niedrigviskosen Active-Guard™ Technologie perfekt geeignet. Als Co-Lösungsmittel bot Isopropanol die beste Balance zwischen Polarität und Benetzungseigenschaften bei verschieden hoher Restfeuchtigkeit. Es erwies sich als vorteilhaft in Bezug auf die Lagerstabilität der Formulierung (z.B. ge-

ringere Gefahr einer Michael-Addition als bei Ethanol), sparsame Dosierbarkeit und *prompte Entfernbareit* des Wasser-Alkohol-Dampfes. Dank des optimierten Wasser-Isopropanol-Lösungsmittelsystems kann Prime&Bond active® selbst nach 30 min Lagerung im geschlossenen CliXdish™ noch problemlos verwendet werden.

Prime&Bond active® ist sehr technikrobust, auch bei übertrocknetem oder zu feuchtem Dentin. Es ist gegenüber variierender Feuchtigkeit unempfindlich und zeigt auf Zähnen eine aktive Feuchtigkeitskontrolle; es bedeckt von selbst die gesamte Zahnfläche und verhindert so praktisch jede postoperative Überempfindlichkeit. Bei indirekten Restaurationen bildet es dank niedriger Viskosität und geringer Filmdicke eine dünne, gleichmäßige, lückenlose Adhäsivschicht für höchste Passgenauigkeit. Seine Formulierung ist frei von HEMA, UDMA, TEGDMA und Bisphenol.

3 In-vitro-Studien

Da die klinische Leistung von Adhäsiven stark vom Anwender und anderen Einflussfaktoren abhängt, sollte ein neues Adhäsiv zunächst in vitro unter möglichst kontrollierten Bedingungen geprüft werden, die objektive Vergleiche mit Kontrollprodukten zulassen. Es gibt aber nicht die eine In-vitro-Testmethode, die eine eindeutige Vorhersage des klinischen Verhaltens erlaubt; das Universaladhäsiv Prime&Bond active® wurde daher vielfältig getestet, um sein Potential bei den verschiedenen Ätztechniken (Etch&Rinse, Self-Etch und Selective Enamel-Etch) zu ermitteln. Geprüft wurden u.a. Haftfestigkeit an Schmelz und Dentin, Mikromorphologie, Randadaptation sowie Filmdicke und Polymerisation.

3.1 Haftfestigkeit

3.1.1 Scherhaftfestigkeit an Schmelz und Dentin

(PROF. MARK LATTA, Creighton University, USA)

Bei extrahierten menschlichen Zähnen wurden freigelegte Dentin- und Schmelzflächen plangeschliffen (Körnung 600), um die Schmierschicht zu standardisieren. Je Substrat wurden vier Gruppen à 12 Prüfkörper getestet. Zwei Adhäsive wurden anleitungsgemäß jeweils in Etch&Rinse- und Self-Etch-Technik auf Schmelz und Dentin aufgetragen. Nach der Lichthärtung der Adhäsive wurden Kompositzylinder mit einer Ultradent Haltevorrichtung auf die Oberflächen aufgebracht und lichtgehärtet. Die Prüfkörper wurden 24 h bei 37°C in Wasser gelagert und dann einem Thermocycling unterzogen (6.000 Zyklen bei 5/55°C). Nach weiteren 24 h Lagerung wurde die Scherhaftfestigkeit in der Ultradent Prüfmaschine mit einer eingekerbten Klinge bei einer Traversengeschwindigkeit von 1 mm/min ermittelt. Die statistische Auswertung erfolgte durch parametrische Tests bei $p < 0,05$.

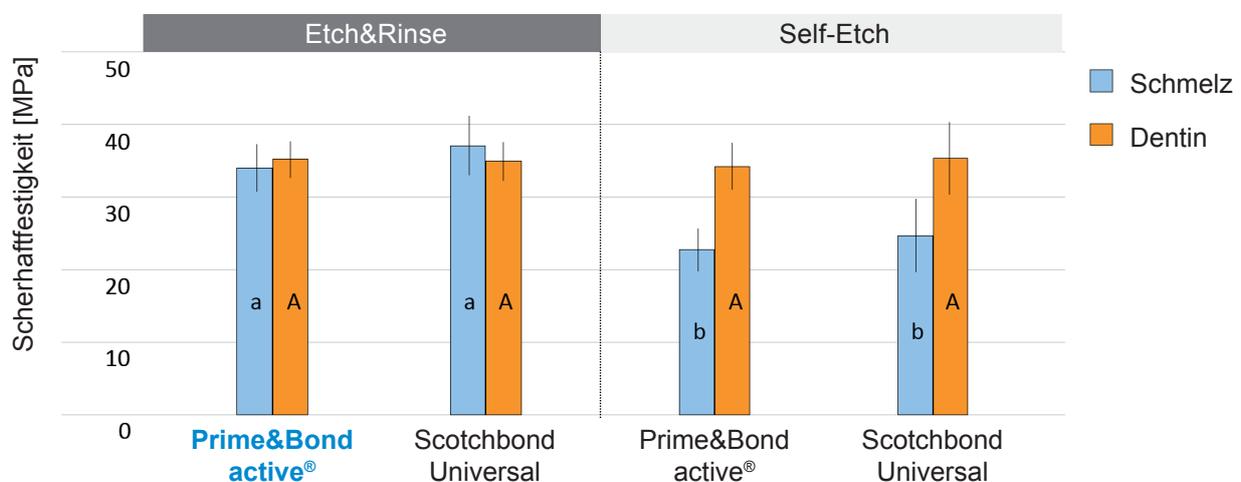


Abbildung 6 Haftfestigkeit von Adhäsiven an Schmelz und Dentin in Etch&Rinse- und Self-Etch-Technik nach Thermocycling. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Bei Schmelz zeigten beide Universaladhäsive in der Etch&Rinse-Technik signifikant höhere mittlere Haftfestigkeitswerte als in der Self-Etch-Technik. Dies spricht für die Selective-Enamel-Etch-Technik, d.h. ein Anätzen der Schmelzränder mit Phosphorsäure. Dagegen hatte bei Dentin die Ätztechnik (Etch&Rinse oder Self-Etch) keinen signifikanten Einfluss auf die Haftfestigkeit (Abbildung 6).

3.1.2 Scherhaftfestigkeit an unterschiedlich feuchtem Dentin

(PROF. MARK LATTA, Creighton University, USA)

Extrahierte menschliche Molaren wurden mesiodistal halbiert, fixiert und nass geschliffen (Körnung 4.000), um ebene Dentinflächen mit standardisierter Schmierschicht zu erhalten. Diese wurden dann in der Etch&Rinse-Technik angeätzt und in 15 Gruppen à 15 Prüfkörper eingeteilt. Die Dentinhaftung wurde unter Idealbedingungen (d.h. feuchtes Dentin) und bei problematischen Feuchtigkeitsgraden geprüft. Übertrocknetes Dentin wurde durch starke Lufttrocknung für 10 s simuliert, zu feuchtes Dentin durch Auftrag von 2,5 µl destilliertem Wasser auf eine 4 mm große, runde Fläche. Nach anleitungsgemäßer Applikation und Lichthärtung der Adhäsive wurden mit Messingformen Kompositzylinder auf das behandelte Dentin aufgebracht. Das Komposit wurde verdichtet und lichtgehärtet, dann wurden die Prüfkörper 24 h bei 37°C in Wasser gelagert. Die Scherhaftfestigkeit wurde mit einer Prüfmaschine bei einer Traversengeschwindigkeit von 1 mm/min bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte bei $p < 0,05$.

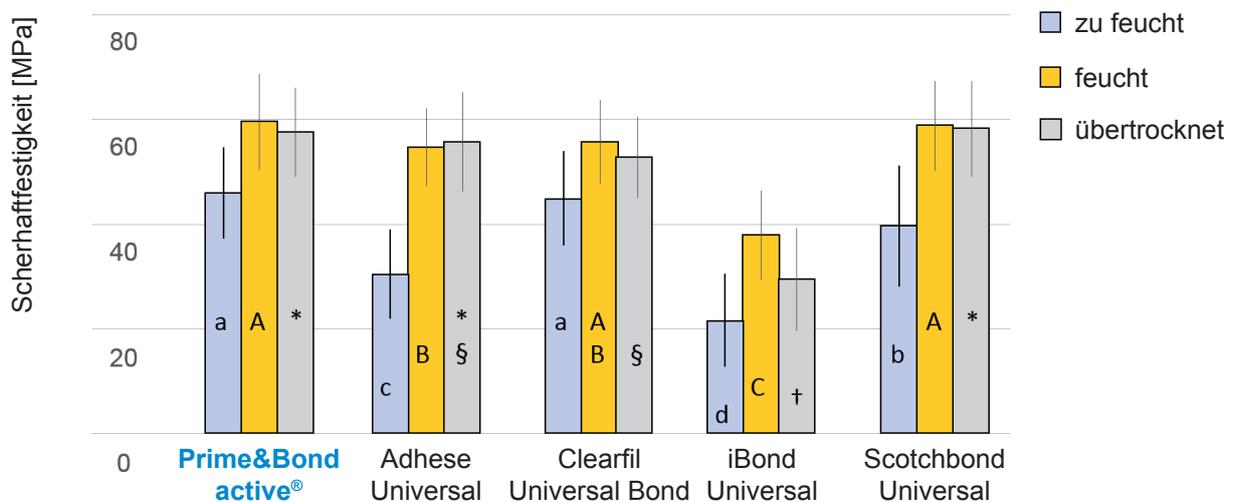


Abbildung 7 Haftfestigkeit von Adhäsiven an unterschiedlich feuchtem Dentin in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben oder Symbolen unterscheiden sich signifikant.

Zwischen den Adhäsiven gab es signifikante Unterschiede. Bei idealer Feuchtigkeit war Prime&Bond active® zwar bezüglich der mittleren Haftfestigkeit statistisch gleichwertig mit Clearfil Universal und Scotchbond Universal. Doch unter suboptimalen Bedingungen war dies anders: Clearfil Universal zeigte auf übertrocknetem Dentin eine signifikant geringere Haftfestigkeit, und Scotchbond Universal auf zu feuchtem Dentin (Abbildung 7).

3.1.3 Scherermüdungsfestigkeit an unterschiedlich feuchtem Dentin

(PROF. MARK LATTA, Creighton University, USA)

Prüfkörperherstellung und Bonding erfolgten für die einzelnen Gruppen (n = 15) wie bei der im vorangehenden Kapitel beschriebenen Haftfestigkeitsprüfung. Nach 24 h Wasserlagerung bei 37°C wurde mit einer Prüfmaschine durch sinusförmige Belastung der Prüfkörper bei einer Frequenz von 10 Hz in 50.000 Zyklen oder bis zum Versagen die Scherermüdungsfestigkeit ermittelt. Je nach Überleben oder Versagen des Prüfkörpers wurde die Last in Schritten von ca. 10 % der Anfangslast nach oben oder unten angepasst. Die maximale Anfangslast lag bei 50-60 % der für das jeweilige Testadhäsiv ermittelten Scherhaftfestigkeit (vgl. Kapitel 3.1.2). Die untere Lastgrenze betrug fast null (0,4 N). Die statistische Auswertung erfolgte bei $p < 0,05$.

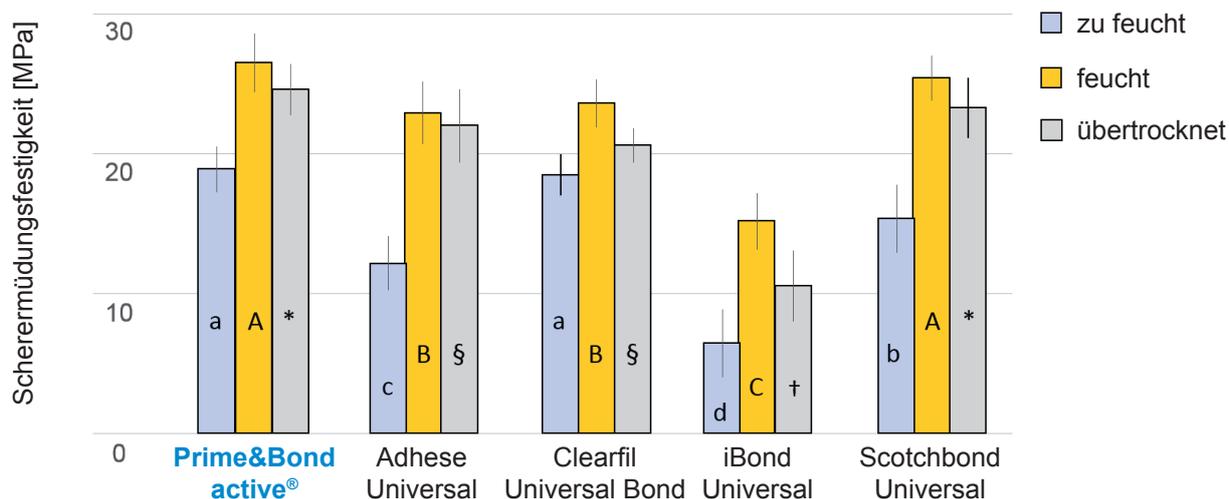


Abbildung 8 Ermüdungsfestigkeit von Adhäsiven an unterschiedlich feuchtem Dentin in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben oder Symbolen unterscheiden sich signifikant.

Unter idealen Feuchtigkeitsbedingungen war bei Prime&Bond active® die Ermüdungsfestigkeit ähnlich hoch wie bei Scotchbond Universal. Auf zu feuchtem und zu trockenem Dentin zeigte Prime&Bond active® ebenfalls hohe mittlere Ermüdungsfestigkeiten, während bei einigen anderen Adhäsiven die Werte hier signifikant niedriger lagen (Abbildung 8).

3.1.4 Scherhaftfestigkeit an Dentin mit unterschiedlichem Wassergehalt

(R&D DENTSPLY SIRONA, Konstanz, Deutschland)

Zwei Prüfer testeten fünf Adhäsive auf ihre Haftfestigkeit an Dentin mit unterschiedlichem Wassergehalt. An extrahierten menschlichen Zähnen wurden ebene Dentinflächen präpariert und in 15 Gruppen à 30 Prüfkörper eingeteilt. Das Dentin wurde in der Etch&Rinse-Technik angeätzt, und die Haftung unter Idealbedingungen (d.h. feuchtes Dentin) und bei problematischen Feuchtigkeitsgraden geprüft. Zu feuchtes Dentin wurde durch Auftrag von 2,5 µl (25 Vol.%) oder 4 µl (40 Vol.%) destilliertem Wasser auf eine 4 mm große, runde Fläche simuliert. Nach anleitungsgemäßer Applikation und Lichthärtung der Adhäsive wurden Kompositzylinder mit einer Ultradent Haltevorrichtung auf die Oberflächen aufgebracht und lichtgehärtet. Die Prüfkörper wurden 24 h bei 37°C in Wasser gelagert, danach wurde die Scherhaftfestigkeit in der Ultradent Prüfmaschine mit einer eingekerbten Klinge bei einer Traversengeschwindigkeit von 1 mm/min ermittelt. Die statistische Auswertung erfolgte durch parametrische Tests bei $p < 0,05$.

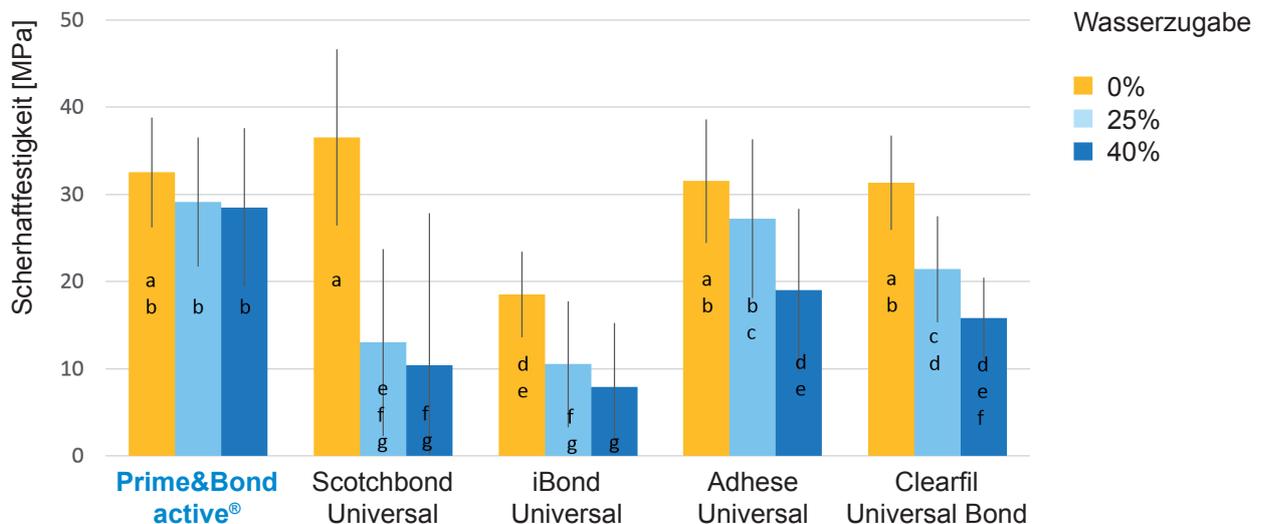


Abbildung 9 Haftfestigkeit von Adhäsiven an Dentin mit unterschiedlichem Wassergehalt in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Bei idealer Feuchtigkeit unterschieden sich die Testadhäsive nicht signifikant, mit Ausnahme von iBond Universal. Bei zunehmendem Wassergehalt erwies sich aber Prime&Bond active® als unempfindlich gegenüber zu feuchtem Dentin, während die anderen Adhäsive signifikant niedrigere mittlere Haftfestigkeiten und damit eine geringere Toleranz gegenüber Wasserüberschüssen zeigten (Abbildung 9).

3.1.5 Mikrozugfestigkeit an Dentin bei indirekten Restaurationen

(PROF. ROLAND FRANKENBERGER, Universität Marburg, Deutschland)

Bei extrahierten menschlichen Molaren wurden 120 Klasse-I-Kavitäten (4 x 4 mm, Tiefe 3 mm) präpariert. Mit CEREC gefertigte Glaskeramik-Inlays (Celtra Duo) wurden mit Flusssäure angeätzt, silanisiert und mit diversen Kombinationen aus Adhäsiv und Befestigungskomposit anleitungsgemäß eingesetzt. Lichtgehärtet wurden die in der Etch&Rinse- oder Self-Etch-Technik angewandten Adhäsive entweder vor Einsetzen des Inlays (vorgehärtet) oder zusammen mit dem Befestigungskomposit durch die Restauration (nicht vorgehärtet). Prime&Bond active® wurde entweder mit Self Cure Activator (SCA) und Calibra Automix oder mit Calibra Ceram ohne SCA kombiniert. Nach 24 h Wasserlagerung bei 37°C wurden aus den Prüfkörpern Komposit-Dentin-Stäbchen mit 0,5 mm² Querschnittsfläche gesägt. Nach weiteren 24 h Wasserlagerung bei 37°C wurden je Gruppe 20 Stäbchen auf die Mikrozugfestigkeit ihres Haftverbunds geprüft. Zur Bruchanalyse diente ein Rasterelektronenmikroskop (REM). Die statistische Auswertung erfolgte durch nichtparametrische Tests bei $p < 0,05$.

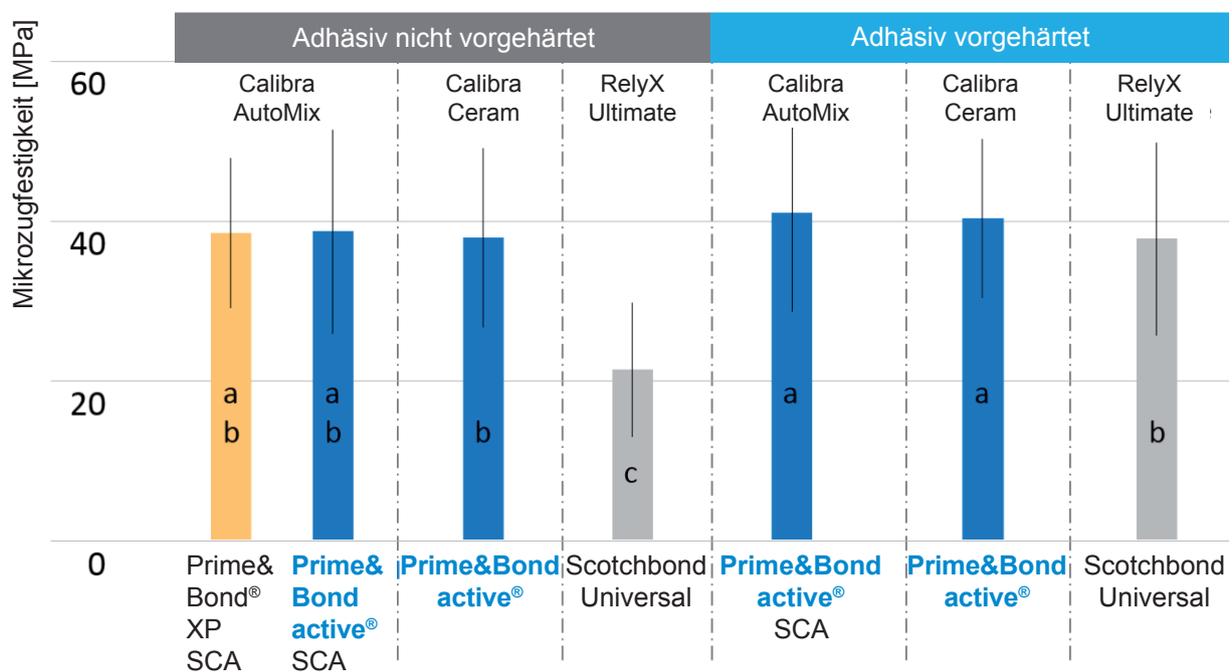


Abbildung 10 Haftfestigkeit diverser Befestigungssysteme an Dentin bei Keramik-Inlays in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. SCA = Self Cure Activator (als Etch&Rinse-Kontrolle diente Prime&Bond XP).

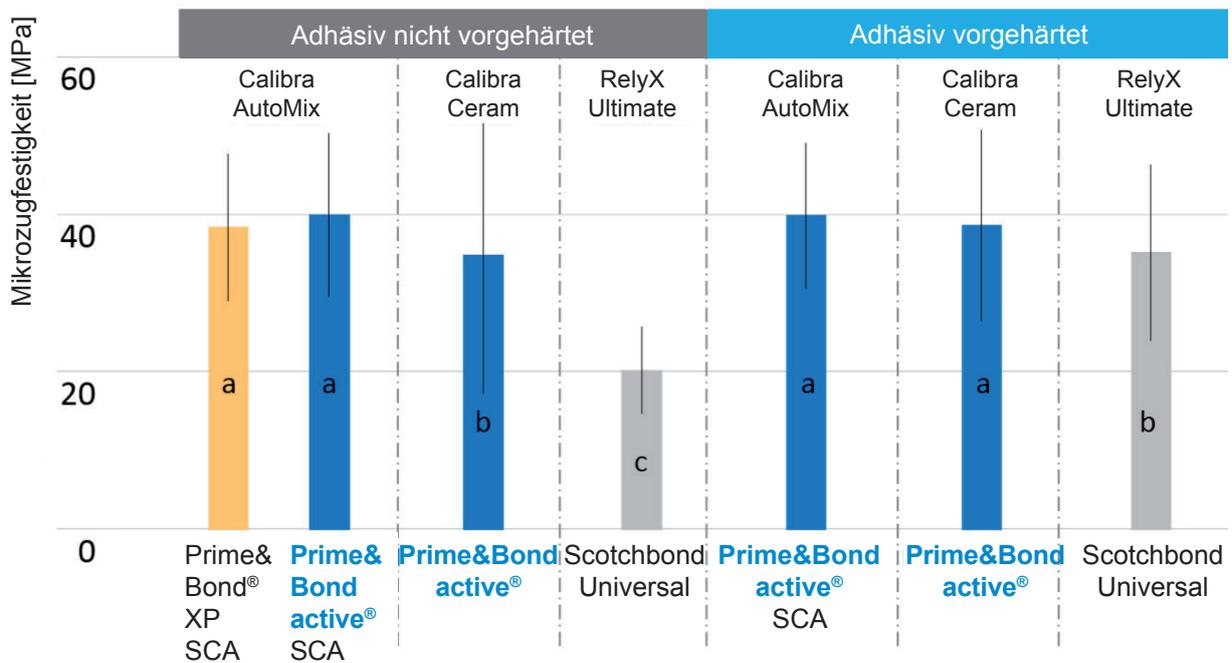


Abbildung 11 Haftfestigkeit diverser Befestigungssysteme an Dentin bei Keramik-Inlays in der Self-Etch-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. SCA = Self Cure Activator (als Etch&Rinse-Kontrolle diente Prime&Bond XP).

Ohne vorherige Lichthärtung des Adhäsivs zeigten Prime&Bond XP (in Kombination mit SCA und Calibra Automix) und Prime&Bond active® (in Kombination mit SCA und Calibra Automix oder mit Calibra Ceram ohne SCA) signifikant höhere mittlere Haftfestigkeiten als das Befestigungssystem Scotchbond Universal/RelyX Ultimate. Bei Lichthärtung des Adhäsivs vor Einsetzen der Restauration waren die Haftfestigkeiten statistisch gleichwertig oder signifikant höher als bei gleichzeitiger Lichthärtung von Adhäsiv und Befestigungskomposit unter dem dicken Keramik-Inlay (Abbildung 10 und Abbildung 11). Prime&Bond active® sollte daher vor Einsetzen der Restauration lichtgehärtet werden. Optional lässt sich das Adhäsiv auch zusammen mit dem Befestigungskomposit lichthärten, aber nur bei ausreichend lichtdurchlässigen Restaurationen (Keramikstärke $\leq 2,5$ mm).

3.1.6 Scherhaftfestigkeit an Restaurationsmaterialien

(R&D DENTSPLY SIRONA, Milford, USA)

In dieser Studie wurden die Haftfestigkeiten zweier Befestigungssysteme an diversen Restaurationsmaterialien verglichen. Pro Befestigungssystem wurden fünf Substrate mit je mindestens sechs Prüfkörpern getestet: Glaskeramik (IPS e.max), Zirkonoxid (Cercon), polymerisiertes Komposit (TPH Spectra LV), Nichtedel- und Edelmetalllegierung (Duceranum U, SMG-CF). Die Oberflächen wurden bei der Glaskeramik durch Anätzen mit Flusssäure und Silanisieren und bei den anderen Materialien durch Abstrahlen mit Aluminiumoxid (50 µm) und anschließende Ultraschallreinigung in destilliertem Wasser (10 min) vorbehandelt. Die Adhäsive und die entsprechenden Befestigungskomposite wurden anleitungsgemäß auf die vorbehandelten Flächen aufgetragen. Dann wurden Edelstahlstäbchen mit 3,2 mm Durchmesser abgestrahlt, ultraschallgereinigt und an diesen Flächen befestigt. Nach 10 min Selbsthärtung der Befestigungssysteme bei 37°C und kontrollierter Druckkraft wurden die Prüfkörper 24 h bei 37°C in Wasser gelagert. Die Scherhaftfestigkeit wurde mit einer Prüfmaschine bei einer Traversengeschwindigkeit von 1 mm/min bestimmt.

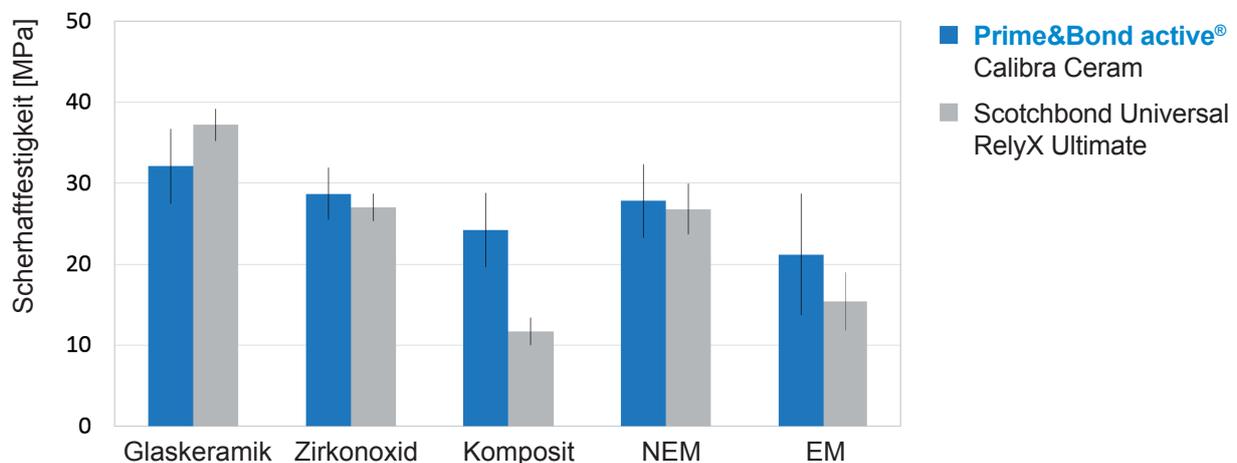


Abbildung 12 Scherhaftfestigkeit von Befestigungssystemen an diversen Restaurationsmaterialien.

Die Haftfestigkeiten von Prime&Bond active® in Kombination mit Calibra Ceram an Glaskeramik, Zirkonoxid, polymerisiertem Komposit, Nichtedel- und Edelmetalllegierung waren mit den Werten von Scotchbond Universal in Kombination mit RelyX Ultimate vergleichbar oder höher.

3.1.7 Sofortige Scherhaftfestigkeit an Dentin

(R&D DENTSPLY SIRONA, Milford, USA)

Bei extrahierten menschlichen Molaren wurden je Gruppe sechs Dentinflächen plan- geschliffen (Körnung 600), um die Schmierschicht zu standardisieren. Die Testadhäsive wurden anleitungsgemäß in der Self-Etch-Technik auf das Dentin aufgetragen. Dann wurden Edelstahlstäbchen mit 3,2 mm Durchmesser abgestrahlt, ultraschall- gereinigt und getrocknet. Nach der anleitungsgemäßen Polymerisation der Adhäsive (Prime&Bond active® wurde lichtgehärtet, Scotchbond Universal und Multilink Primer A/B nicht) wurden die entsprechenden Befestigungskomposite auf die Stahlstäbchen aufgetragen und diese am behandelten Dentin befestigt. Darauf folgten 5,5 min Selbst- härtung bei 37°C und kontrollierter Druckkraft. Direkt nach Auftrag der Befestigungs- komposite (6 min) wurden die Prüfkörper getestet. Die Scherhaftfestigkeit wurde mit einer Prüfmaschine bei einer Traversengeschwindigkeit von 1 mm/min bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte durch parametrische Tests bei $p < 0,05$.

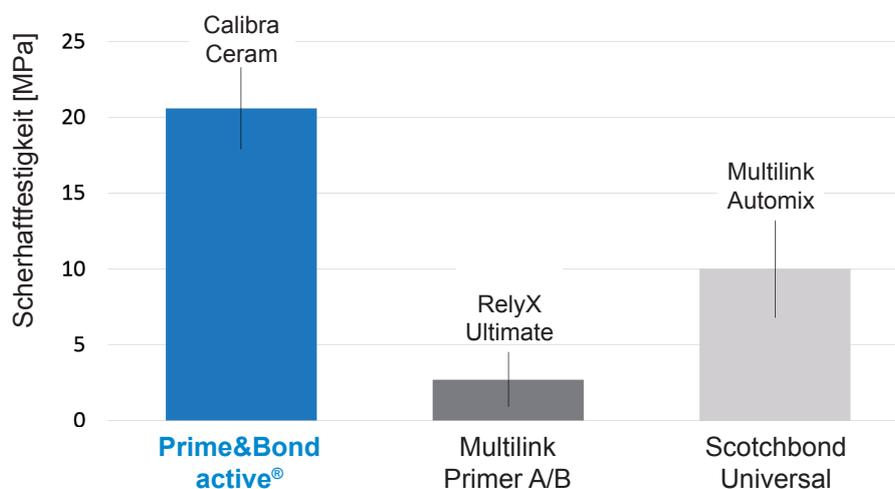


Abbildung 13 Sofortige Scherhaftfestigkeit dreier Befestigungssysteme an Dentin (anlei- tungsgemäß wurde Prime&Bond active® lichtgehärtet, Scotchbond Univer- sal und Multilink Primer A/B jedoch nicht).

Prime&Bond active® zeigte in Kombination mit Calibra Ceram sechs Minuten nach Auftrag des Befestigungskomposits eine signifikant höhere mittlere Haftfestigkeit an Dentin als die anderen geprüften Befestigungssysteme.

3.1.8 Retentionskraft an Kronenpräparationen

(PROF. JOHN BURGESS, University of Alabama, USA)

Je Gruppe wurden 10 extrahierte menschliche Prämolaren zur Standardisierung der Kronenpräparation in Acryl eingebettet und in einer Drehmaschine bearbeitet (Konvergenzwinkel 22°, Höhe 3 mm). Die Okklusalfächen wurden plangeschliffen. Dann wurden die Präparationen gescannt und ihre jeweiligen Oberflächen gemessen. Mit CEREC gefertigte Glaskeramik-Kronen (Celtra Duo, IPS e.max) wurden mit Flusssäure angeätzt, silanisert und mit diversen Kombinationen aus Adhäsiv und Befestigungskomposit eingesetzt. Die Adhäsive wurden anleitungsgemäß in der Self-Etch-Technik angewandt und polymerisiert, und die Kronen wurden mit dem entsprechenden Befestigungskomposit bei Selbsthärtung unter kontrollierter Druckkraft aufgesetzt. Nach 24 h Wasserlagerung bei 37°C wurden die Prüfkörper einem Thermocycling unterzogen (10.000 Zyklen bei 5/50°C). Dann wurden sie in einer speziellen Haltevorrichtung befestigt, in die Prüfmaschine eingespannt und bei einer Traversengeschwindigkeit von 0,5 mm/min bis zum Versagen auf Zug belastet. Es wurde zwischen adhäsivem, kohäsivem und gemischtem Versagen unterschieden.

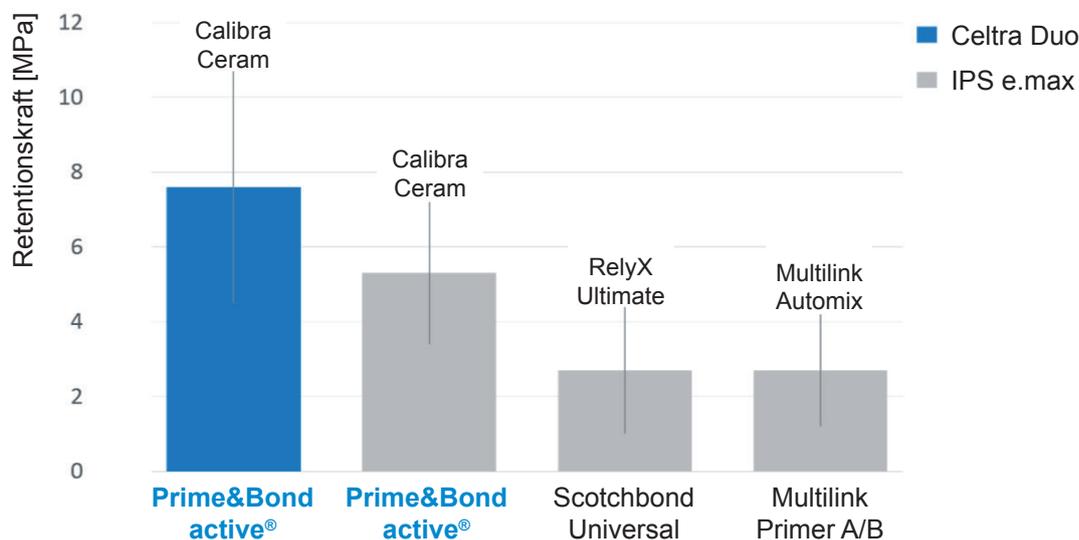


Abbildung 14 Retentionskraft diverser Befestigungssysteme bei Keramik-Kronen. Die Resultate für Prime&Bond active/Calibra Ceram stammen aus einer separaten Studie, bei der dieselben Prüfer exakt dieselben, oben genannten Methoden anwandten (anleitungsgemäß wurde Prime&Bond active® lichtgehärtet, Scotchbond Universal und Multilink Primer A/B jedoch nicht).

Die Kombination aus Prime&Bond active® und Calibra Ceram sorgte für eine bessere Kronenretention als die anderen geprüften Befestigungssysteme.

3.2 Mikromorphologie

Eine unvollständige Infiltration und Versiegelung des Dentins gehört zu den Hauptursachen postoperativer Überempfindlichkeit und mangelnder Haftfestigkeit. Nach dem Anätzen mit Phosphorsäure sollte das Dentin feucht bleiben, damit die Kollagenfasern nicht kollabieren und so die Infiltration durch das Adhäsiv behindern. Da aber in der klinischen Praxis die Feuchtigkeit nicht immer ideal für das Bonding ist, wäre ein Adhäsiv wünschenswert, das auch auf zu feuchtem oder über trockenem Dentin eine gute Leistung zeigt. Um die Fähigkeit von Adhäsiven zur Benetzung und Infiltration von Dentin zu prüfen, wurde die Komposit-Dentin-Grenzfläche mittels Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie (FE-REM) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) sichtbar gemacht.

3.2.1 Hybridschicht auf feuchtem und über trockenem Dentin

(PROF. ANDRE REIS, Universidade de Guarulhos, Brasilien)

Freigelegte Dentinflächen bei 24 extrahierten menschlichen Molaren wurden zur Standardisierung der Schmierschicht plangeschliffen (Körnung 600) und in acht Gruppen eingeteilt. Nach dem Anätzen in der Etch&Rinse-Technik wurde bei idealer Feuchtigkeit sowie nach 10 s Lufttrocknung zur Simulation von über trockenem Dentin der Verbund geprüft. Dazu wurden die Flächen mit vier Universaladhäsiven behandelt und mit dem Komposit SDR dünn beschichtet. Adhäsiv und Komposit wurden separat lichtgehärtet. Nach 24 h Wasserlagerung wurden die Prüfkörper in je zwei Komposit-Dentin-Scheiben, zur Untersuchung mittels FE-REM bzw. TEM, zerschnitten. Die Scheiben für die FE-REM-Analyse wurden in Epoxidharz eingebettet und in Natriumhypochlorit deproteinisiert. Danach wurden sie mit Ethanol in zunehmender Konzentration dehydriert und sputterbeschichtet. Die Scheiben für die TEM-Analyse wurden erst angefärbt und mit Ethanol in zunehmender Konzentration dehydriert. Nach Einbettung in Epoxidharz wurden dann Dünnschliffe angefertigt. Bei beiden mikroskopischen Untersuchungen wurden für die verschiedenen Testadhäsive jeweils repräsentative Komposit-Dentin-Grenzflächen auf feuchtem und über trockenem Dentin aufgenommen.

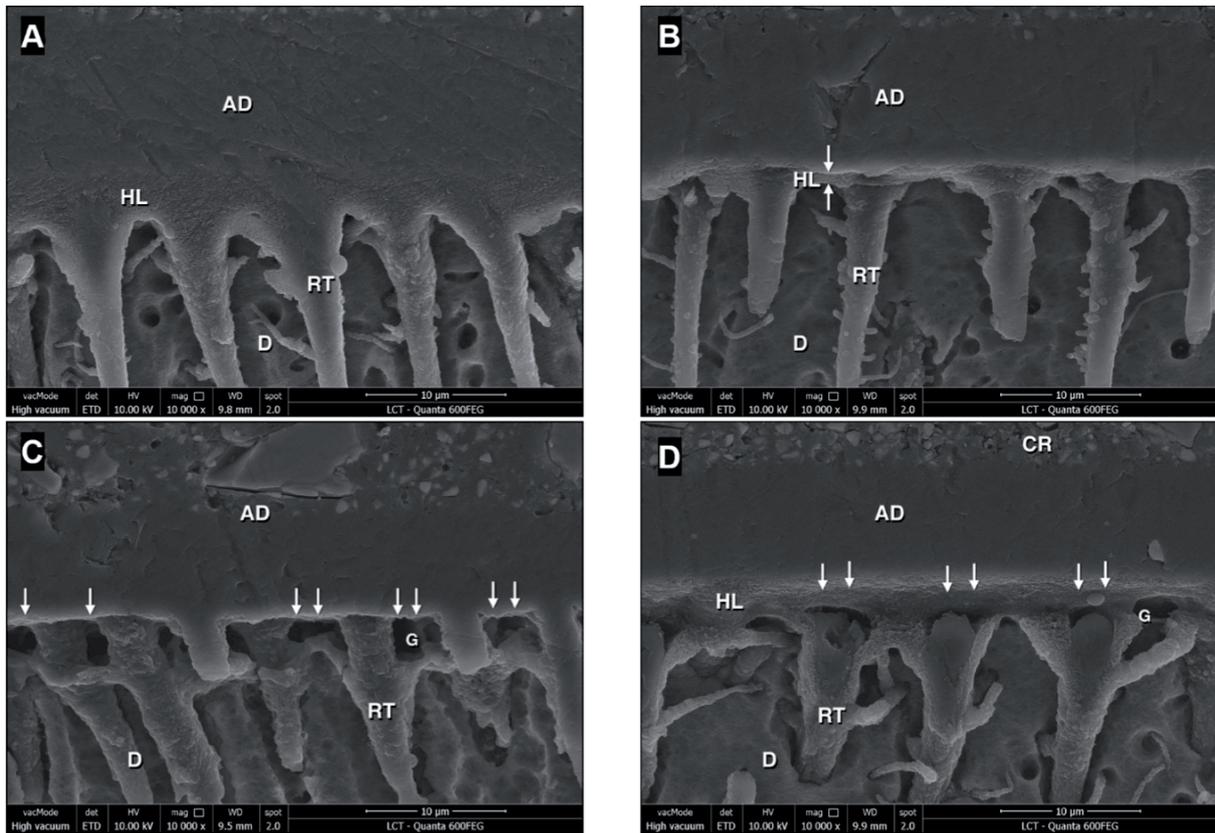


Abbildung 15 Repräsentative FE-REM-Aufnahmen der Komposit-Dentin-Grenzflächen bei den vier in der Etch&Rinse-Technik auf übertröcknetem Dentin angewandten Adhäsiven. Bei Prime&Bond active® ist die Hybridschicht gut ausgebildet (A), bei Adhese Universal deutlich dünner (B). Pfeile zeigen Defekte und Spalte an der Komposit-Dentin-Grenzfläche bei Futurabond U (C) und Scotchbond Universal (D). AD = Adhäsivschicht, CR = Komposit, D = Dentin, G = Spalt, HL = Hybridschicht, RT = Kunststoffzapfen.

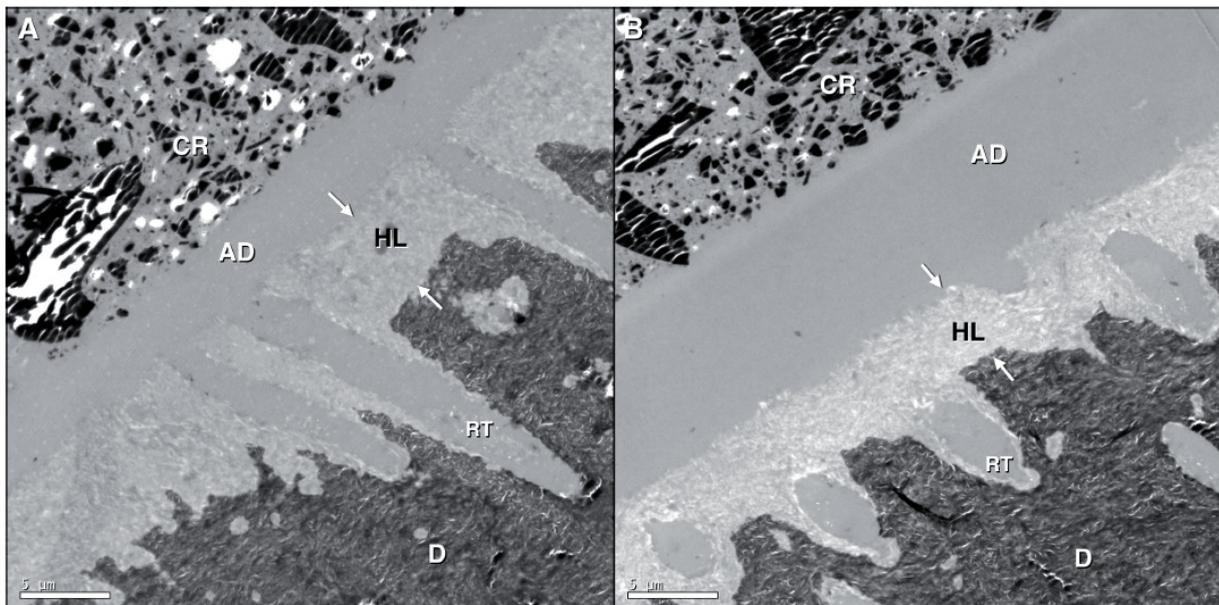


Abbildung 16 Repräsentative TEM-Aufnahmen der gut ausgebildeten Hybridschicht von Prime&Bond active® bei Anwendung in der Etch&Rinse-Technik auf feuchtem (A) und übertröcknetem (B) Dentin. AD = Adhäsivschicht, CR = Komposit, D = Dentin, HL = Hybridschicht, RT = Kunststoffzapfen.

Der Prüfer fasste die Resultate wie folgt zusammen: „Auf feuchtem Dentin bildeten alle geprüften Universaladhäsive eine gute Hybridschicht aus. Dagegen waren bei Anwendung der Produkte auf über trockenem Dentin erhebliche Unterschiede zu feuchtem Dentin feststellbar. Adhese Universal, Futurabond U und Scotchbond Universal zeigten hier Defekte, Spalte und dünnere Hybridschichten“ (Abbildung 15). Die Resultate der mikromorphologischen Prüfung von Prime&Bond active® sprechen für eine hohe Haftfestigkeit auch bei Anwendung auf über trockenem Dentin, wie der Prüfer betonte: „Prime&Bond active® ist offenbar gegenüber dem Feuchtigkeitsgrad unempfindlich und bildet auf feuchtem wie auch über trockenem Dentin eine gute Hybridschicht aus“ (Abbildung 16).

3.3 Randadaptation

Die klinische Randadaptation soll in gewissen Grenzen mittels In-vitro-Kausimulation vorhersagbar sein. Es gibt zwar noch keine Veröffentlichungen über eine Korrelation mit klinischen Resultaten, aber Farbeindringprüfungen auf Randedichtigkeit können Unterschiede zwischen Adhäsiven und/oder Ätztechniken aufzeigen. Deshalb waren Kausimulation und Microleakage hier von Interesse.

3.3.1 Randadaptation bei Klasse-II-Kompositfüllungen

(PROF. ROLAND FRANKENBERGER, Universität Marburg, Deutschland)

Bei extrahierten menschlichen Molaren wurden pro Gruppe acht erweiterte MOD-Kavitäten (zervikal schmelz- und dentinbegrenzt) präpariert und inkrementell mit Komposit gefüllt. Die zu prüfenden Universaladhäsive wurden anleitungsgemäß in Etch&Rinse- und Self-Etch-Technik angewandt. Nach Ausarbeitung und Wasserlagerung für 21 Tage bei 37°C wurden die Prüfkörper durch Thermocycling (2.500 Zyklen bei 5/55°C) und mechanisch im Kausimulator (1.000.000 Zyklen, 50 N) beansprucht (Thermo-Mechanical Loading, TML). Zur Prüfung der Füllungen auf Randadaptation vor und nach dem TML wurden Epoxidharz-Abgüsse sputterbeschichtet und unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) bei 200-facher Vergrößerung untersucht. Die statistische Auswertung erfolgte durch nichtparametrische Tests bei $p < 0,05$.

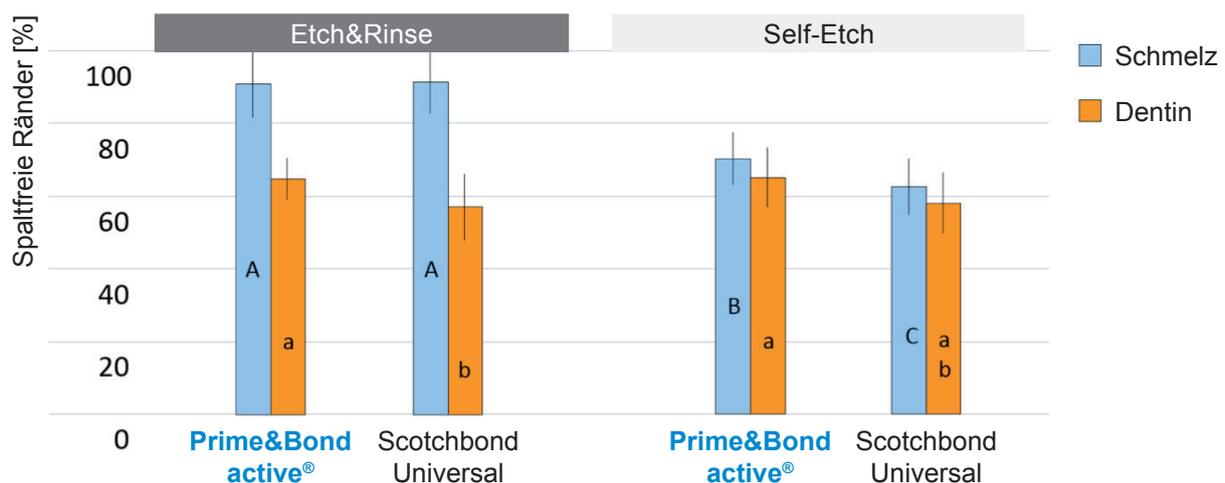


Abbildung 17 Prozentsätze spaltfreier Ränder bei Klasse-II-Füllungen nach TML. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Initial waren bei allen Adhäsiven und Ätztechniken die Schmelz- und Dentinränder zu 100 % spaltfrei (Daten nicht dargestellt). Doch nach dem TML unterschieden sich die Prozentsätze spaltfreier Ränder signifikant (Abbildung 17). Bei den Schmelzrändern sorgte die Etch&Rinse-Technik für eine signifikant bessere Adaptation als die Self-Etch-Technik. Dagegen hatte bei den Dentinrändern die Ätztechnik keinen signifikanten Einfluss auf die Leistung der Adhäsive. Dies spricht wiederum für die Selective-Enamel-Etch-Technik, d.h. ein Anätzen der Schmelzränder mit Phosphorsäure.

3.3.2 Randadaptation bei Klasse-V-Kompositfüllungen

(DR. UWE BLUNCK, Charité Berlin, Deutschland)

Bei extrahierten menschlichen Schneidezähnen wurden pro Gruppe acht Klasse-V-Kavitäten (schmelz- und dentinbegrenzt) präpariert und inkrementell mit dem Komposit ceram.x universal gefüllt. Die Universaladhäsive wurden anleitungsgemäß in Etch&Rinse- und Self-Etch-Technik angewandt. Nach Ausarbeitung und Wasserlagerung für 21 Tage wurden vor und nach dem Thermocycling (2.000 Zyklen bei 5/55°C) Epoxidharz-Abgüsse angefertigt und unter dem REM bei 200-facher Vergrößerung auf ihre Randadaptation geprüft. Die statistische Auswertung erfolgte durch nichtparametrische Tests bei $p < 0,05$.

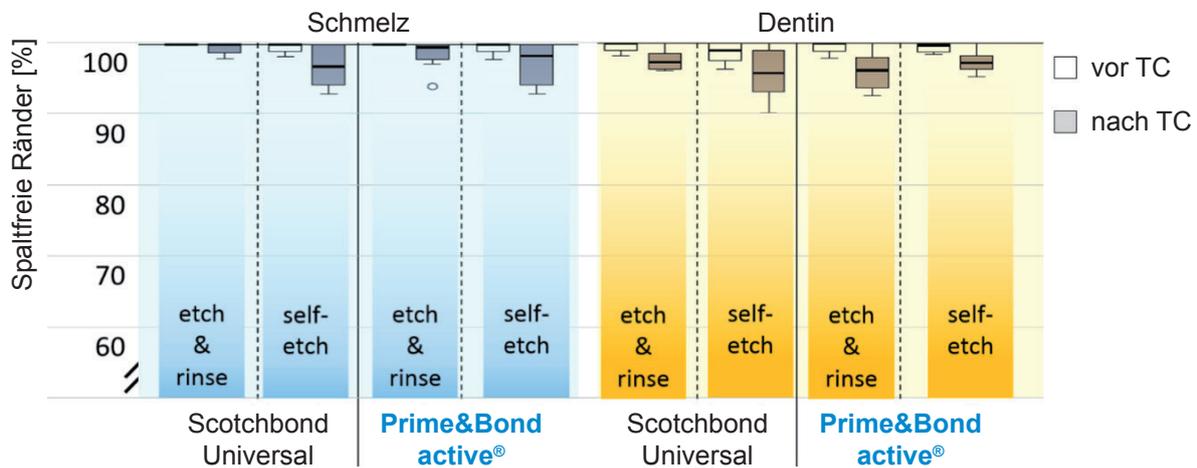


Abbildung 18 Prozentsätze spaltfreier Ränder bei Klasse-V-Füllungen vor und nach dem Thermocycling (TC). Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Die beiden Adhäsive zeigten vor und nach dem Thermocycling ähnlich hohe Prozentsätze spaltfreier Schmelz- und Dentinränder. Auch die Ätztechnik hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Qualität der Randadaptation bei den geprüften Adhäsiven (Abbildung 18).

3.3.3 Microleakage bei Klasse-V-Kompositfüllungen

(PROF. JUAN IGNACIO ROSALES LEAL, Universidad de Granada, Spanien)

Pro Gruppe wurden bei fünf extrahierten menschlichen Molaren je zwei Klasse-V-Kavitäten (schmelz- und dentinbegrenzt) präpariert und mit Komposit gefüllt. Die zu prüfenden Universaladhäsive wurden anleitungsgemäß in Etch&Rinse- und Self-Etch-Technik angewandt. Nach 24 h Wasserlagerung bei 37°C wurden die Prüfkörper einem Thermocycling (4.000 Zyklen bei 5/55°C) unterzogen und der Länge nach zerschnitten. Dann wurden sie mittels Farbeindringprüfung auf Microleakage untersucht (0,5 % basische Fuchsin-Lösung, 24 h, 37°C). Die Eindringtiefe wurde in Prozent der gesamten Randlänge angegeben und reichte von hermetischer Dichtigkeit bis zu starker Microleakage. Auch wurde geprüft, inwieweit Farbe in die Dentintubuli eingedrungen war. Die statistische Auswertung erfolgte bei $p < 0,05$.

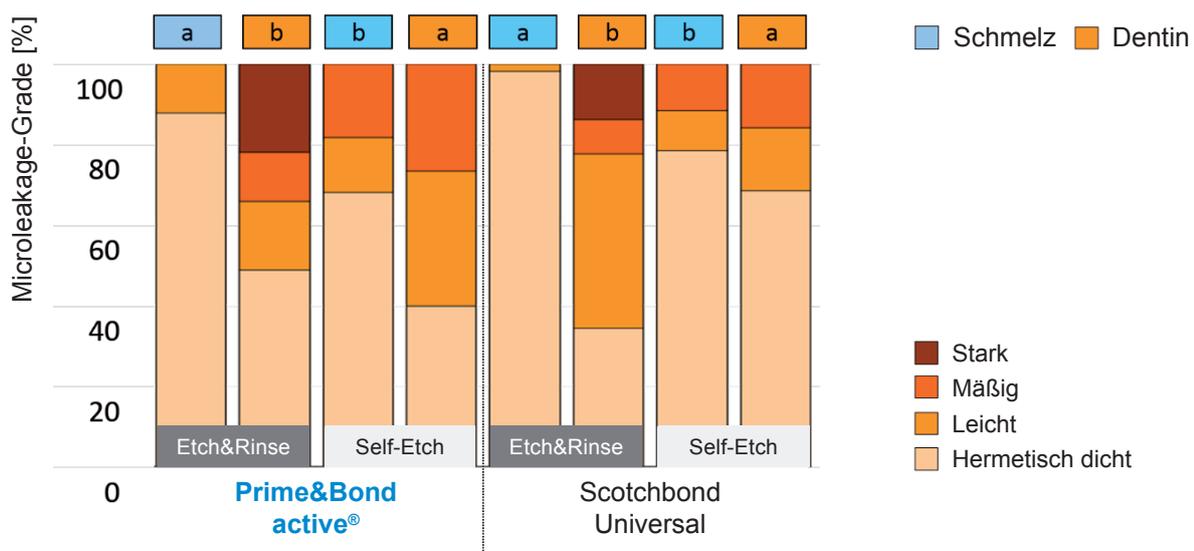


Abbildung 19 Prozentsätze der Farbeindringung bei Klasse-V-Füllungen nach Thermocycling. Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.

Die Testadhäsive unterschieden sich in ihrer Microleakage nicht signifikant. Beide zeigten in der Etch&Rinse-Technik signifikant dichtere Schmelzränder. Dagegen war in der Self-Etch-Technik die Eindringtiefe an den Dentinrändern signifikant geringer als in der Etch&Rinse-Technik (Abbildung 19). Bei beiden Adhäsiven drang in der Etch&Rinse-Technik nur wenig Farbe in die Dentintubuli ein (5-10 %), und in der Self-Etch-Technik noch einmal signifikant weniger (Daten nicht dargestellt).

3.3.4 Randadaptation bei indirekten Restaurationen

(PROF. ROLAND FRANKENBERGER, Universität Marburg, Deutschland)

Bei extrahierten menschlichen Molaren wurden pro Gruppe acht erweiterte MOD-Kavitäten (zervikal schmelz- und dentinbegrenzt) präpariert. Mit CEREC gefertigte Glaskeramik-Inlays (Celtra Duo) wurden mit Flusssäure angeätzt, silanisiert und mit diversen Kombinationen aus Adhäsiv und Befestigungskomposit anleitungsgemäß eingesetzt. Die Adhäsive wurden entweder vor Einsetzen des Inlays lichtgehärtet oder selbsthärtend angewandt. Außer bei der Etch&Rinse-Kontrolle (Prime&Bond XP mit SCA und Calibra Automix) wurde bei allen Gruppen in der Selective-Etch-Technik angeätzt. Die Prüfkörper wurden durch Thermocycling (2.500 Zyklen bei 5/55°C) und mechanisch im Kausimulator (1.000.000 Zyklen, 50 N) beansprucht (Thermo-Mechanical Loading, TML). Die Randqualität vor und nach dem TML wurde anhand von Abgüssen unter dem REM bei 200-facher Vergrößerung untersucht. Die statistische Auswertung erfolgte durch nichtparametrische Tests bei $p < 0,05$.

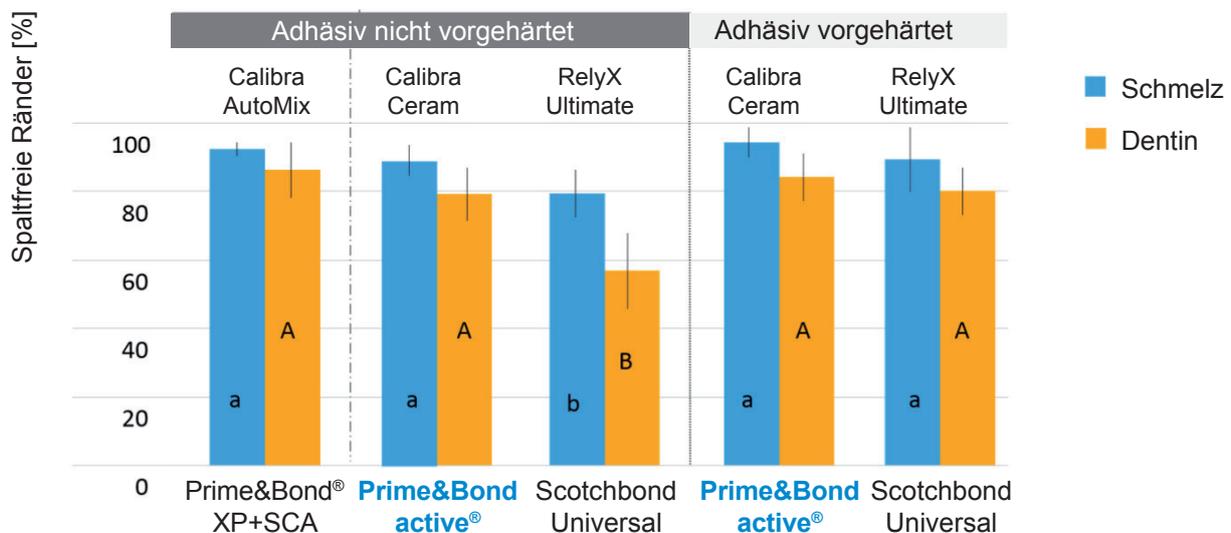


Abbildung 20 Prozentsätze spaltfreier Ränder bei MOD-Keramik-Inlays nach TML. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. SCA = Self Cure Activator.

Nach dem TML ging die Randadaptation der geprüften Befestigungssysteme signifikant zurück. Zwischen den Systemen gab es bei Lichthärtung der Adhäsive keine signifikanten Unterschiede. Bei Selbsthärtung war jedoch die Randadaptation von Scotchbond Universal/RelyX Ultimate an Schmelz und Dentin signifikant geringer (Abbildung 20). Prime&Bond active/Calibra Ceram zeigte zwar keine solchen Unterschiede, aber zur Sicherheit sollte man auch hier anleitungsgemäß lichthärten.

3.4 Filmdicke des Adhäsivs und Qualität der Polymerisation

Lichtgehärtete Adhäsive können die Passgenauigkeit indirekter Restaurationen beeinträchtigen. Dies ist zwar durch eine geringe Filmdicke vermeidbar, aber es stellt sich die Frage, ob dünne Adhäsivschichten wegen der Sauerstoffinhibitionsschicht ausreichend polymerisieren. Daher wurden Studien zur Filmdicke und zur Qualität der Polymerisation durchgeführt.

3.4.1 Filmdicke

(PROF. ANDRE REIS, Universidade de Guarulhos, Brasilien)

Bei 36 extrahierten menschlichen Molaren wurden freigelegte Dentinflächen zur Standardisierung der Schmierschicht plangeschliffen (Körnung 600). Nach anleitungsgemäßigem Auftrag diverser Adhäsive wurden sie mit dem Komposit SDR dünn beschichtet. Adhäsiv und Komposit wurden separat lichtgehärtet. Mit Ausnahme des Etch&Rinse-Produkts OptiBond Solo Plus wurden alle Adhäsive in der Self-Etch-Technik angewandt. Nach 24 h Wasserlagerung wurden die Prüfkörper in Komposit-Dentin-Scheiben zerschnitten. Diese wurden in Epoxidharz eingebettet, mit Ethanol in zunehmender Konzentration dehydriert und sputterbeschichtet. Die Filmdicken der Adhäsive, ohne Hybridschicht, wurden mittels FE-REM gemessen. Dabei wurden je Adhäsiv fünf Aufnahmen mit drei Messungen pro Aufnahme mit einer Bildanalysesoftware geprüft. Die Auswertung erfolgte mit parametrischen Tests bei $p < 0,05$.

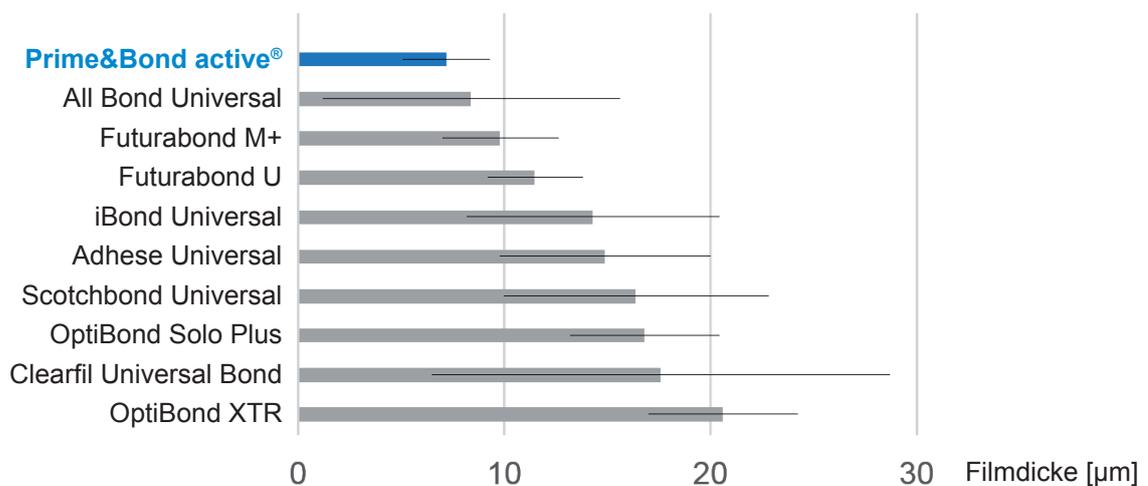


Abbildung 21 Mittlere Filmdicken der geprüften Adhäsive in µm mit Standardabweichung.

Prime&Bond active® zeigte eine geringere Filmdicke als zahlreiche andere Adhäsive; dies ermöglicht eine separate Lichthärtung der Adhäsivschicht ohne das Risiko, die Passgenauigkeit indirekter Restaurationen zu mindern (Abbildung 21).

3.4.2 Konversionsrate

(PROF. JACQUES LALEVÉE, Université de Haute-Alsace, Mulhouse, Frankreich)

Verschiedene Universaladhäsive wurden mittels Echtzeit-Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (RT-FTIR) auf ihre Konversionsrate geprüft. Dies ist eine gängige Methode zur Erstellung von Polymerisationsprofilen, d.h. zur Messung der Monomerkonversion in Abhängigkeit von der Polymerisationszeit mit dem Infrarotstrahl des Spektrometers. Alle Adhäsive wurden auf eine Probenoberfläche (Bariumfluorid-Pellet) aufgetragen und mit einer SmartLite Focus LED-Polymerisationslampe bei 300 mW/cm² Lichtleistung und 18 mm Abstand zwischen LED und Probe unter Luft lichtgehärtet. Die RT-FTIR wurde auf eine Adhäsiv-Schichtstärke von 10 µm eingestellt. Die Adhäsive wurden jeweils ohne Wasserzugabe sowie in Gegenwart von 26 Gew.% und 40 Gew.% destilliertem Wasser geprüft.

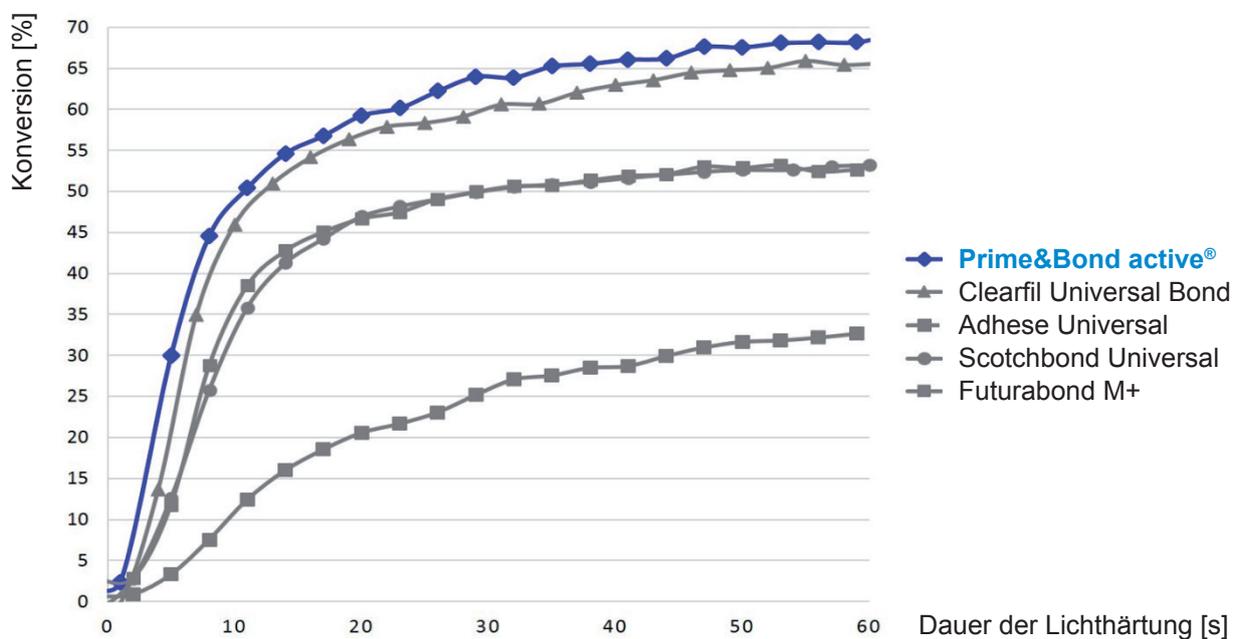


Abbildung 22 Konversionsraten diverser Adhäsive in Abhängigkeit von der Dauer der Polymerisation unter Luft. Hier die Polymerisationsprofile ohne Wasserzugabe.

Ohne Wasserzugabe zeigte Prime&Bond active® eine schnellere und höhere Konversion als die anderen geprüften Adhäsive (Abbildung 22).

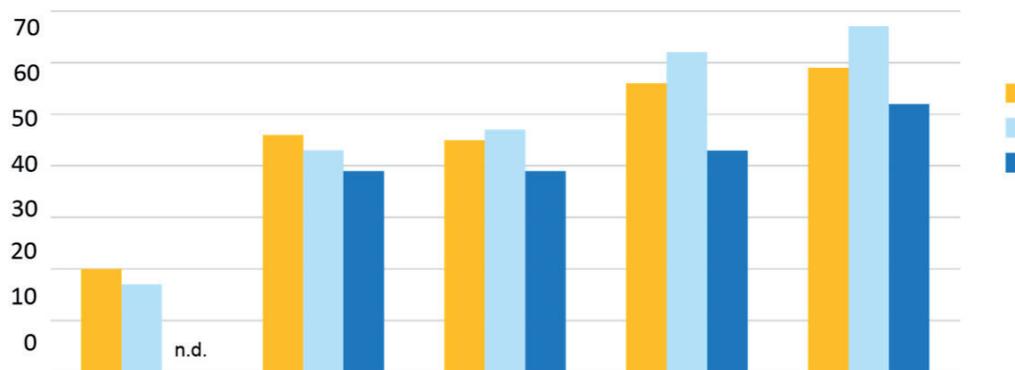


Abbildung 23 Konversionsraten der Adhäsive in Abhängigkeit vom Wassergehalt nach 20 s Lichthärtung unter Luft; n.d. = nicht feststellbar, weil bei diesem Wassergehalt keine homogene Mischung möglich war.

Bei verschiedenen starker Wasserzugabe zeigte Prime&Bond active® ebenfalls hohe Konversionsraten (Abbildung 23). Dies belegt, dass die Initiatoren von Prime&Bond active® auch bei geringen Filmdicken und zu feuchten Kavitäten für eine verlässliche Polymerisation sorgen.

3.5 Fazit der In-vitro-Studien

Prime&Bond active® lieferte unabhängig von der Ätztechnik eine im Vergleich zu den Kontrollen gleichwertige oder bessere Leistung. Zudem erwies es sich als sehr unempfindlich gegenüber variierender Feuchtigkeit des Dentins. Nach den vorliegenden In-vitro-Daten ist Prime&Bond active® ein Universaladhäsiv mit hoher Leistungsfähigkeit und Technikrobustheit.

4 Klinische Daten

Wie in Kapitel 3 dargestellt, wurde in vitro im Vergleich zu führenden Universaladhäsiven eine gleichwertige oder bessere Leistung hinsichtlich Haftfestigkeit und Randdichtigkeit nachgewiesen.

Gute Resultate in Labortests sind eine Grundvoraussetzung, die ein neu entwickeltes Adhäsiv erfüllen muss; entscheidend ist aber auch die Handhabung des Produkts in der klinischen Praxis.

Daher wurden in zwei Anwendertests die Handhabungseigenschaften des Adhäsivs selbst und der neuen Flasche mit Klappdeckel bewertet.

4.1 Anwendertest zur Handhabung – Adhäsiv

Allgemeinzahnärzte wurden gebeten, Prime&Bond active® mindestens 4 Wochen bei mindestens 20 Behandlungen zu testen. An diesem Anwendertest nahmen 79 Zahnärzte teil und führten dabei mehr als 3.000 Restaurationen durch (Tabelle 2).

Gesamtzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
3.176	20	210	40	31

Tabelle 2 Anzahl der Restaurationen bei 79 Zahnärzten in 4 Wochen.

Als Universaladhäsiv eignet sich Prime&Bond active® für jede der drei Ätztechniken. Abbildung 24 zeigt, wie häufig die einzelnen Techniken bei diesem Test angewandt wurden.

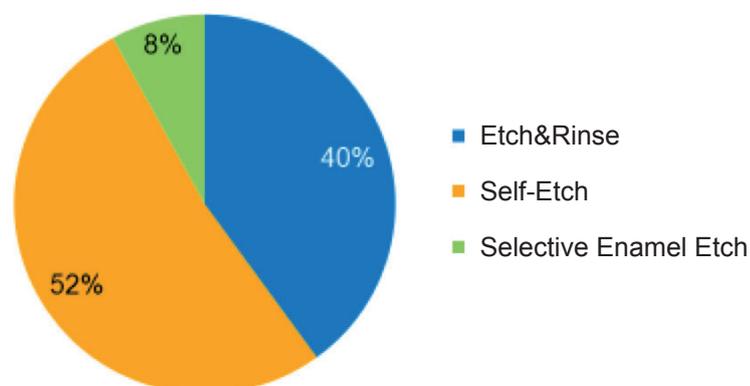


Abbildung 24 Anwendungshäufigkeit der verschiedenen Ätztechniken (n = 79).

Die Viskosität des Adhäsivs spielt bei der Applikation in die Kavität eine große Rolle. Es gibt zwar kein klar definiertes Optimum, aber persönliche Präferenzen sind wichtig für die Akzeptanz durch die Anwender. Die Gesamtbewertung der Viskosität zeigt Abbildung 25.

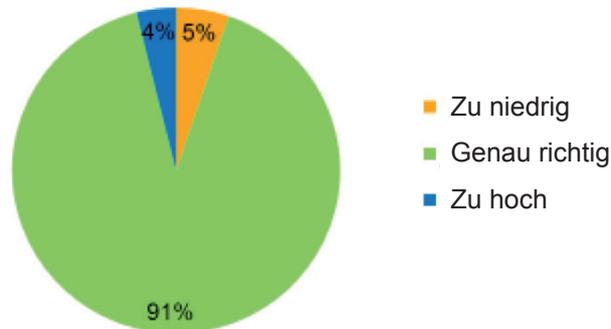


Abbildung 25 Bewertung der Viskosität (n = 77).

#

Die Anwender sollten auch die Viskosität von Prime&Bond active® mit der ihres aktuell meistverwendeten Adhäsivs vergleichen (Abbildung 26).

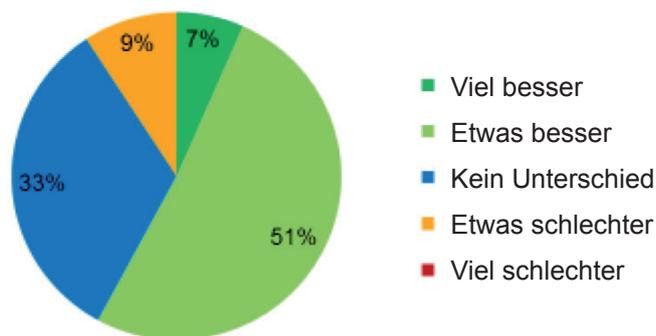


Abbildung 26 Bewertung der Viskosität im Vergleich zum aktuell meistverwendeten Adhäsiv (n = 76).

Die Gesamtbewertung der Handhabungseigenschaften zeigt Abbildung 27.

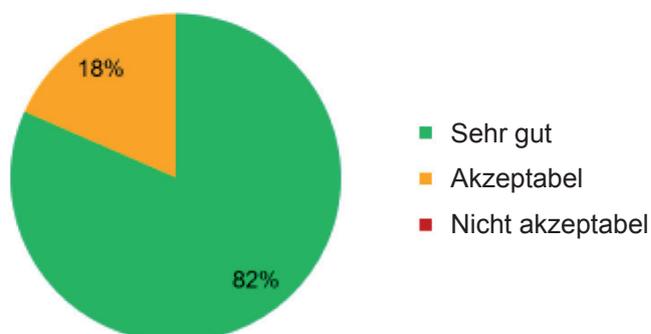


Abbildung 27 Gesamtbewertung der Handhabungseigenschaften (n = 79).

Wie in Kapitel 3.1.2 bis 3.1.4 ausgeführt, ist Prime&Bond active® weniger empfindlich gegenüber dem Feuchtigkeitsgrad des Dentins und damit technikrobuster. Wie wichtig diese Eigenschaft den Anwendern ist, zeigt Abbildung 28.

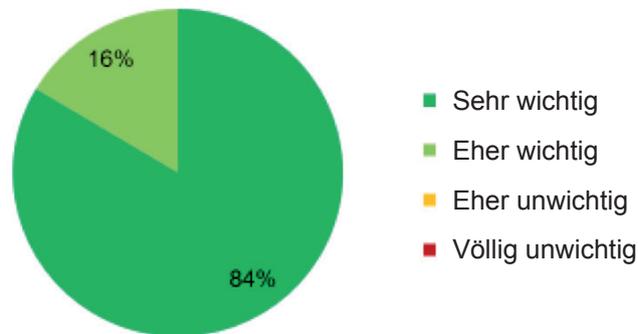


Abbildung 28 Bedeutung der Robustheit gegenüber variierender Feuchtigkeit des Dentins (n = 79).

4.1.1 Postoperative Überempfindlichkeit in der täglichen Praxis

Die Test-Teilnehmer wurden gefragt, ob es zu postoperativer Überempfindlichkeit gekommen war, und wenn ja, in wie vielen Fällen.

Drei Zahnärzte gaben zusammen fünf Fälle von postoperativer Überempfindlichkeit an. Bei zweien entsprach dies der Häufigkeit bei ihrem aktuellen Adhäsiv. Der dritte Zahnarzt gab nicht an, ob die Häufigkeit höher, niedriger oder gleich war.

Insgesamt bedeutet dies **weniger als 0,2 % postoperative Überempfindlichkeit** in der täglichen zahnärztlichen Praxis.

4.2 Anwendertest zur Handhabung – neue Flasche mit Klappdeckel

Prime&Bond active® ist in einer neu gestalteten Flasche mit Klappdeckel erhältlich, die sich mit nur einer Hand öffnen und schließen lässt (Abbildung 29).



Abbildung 29 Neu gestaltete Adhäsiv-Flasche (mit Klappdeckel).

Zusätzlich zum obigen Anwendertest des Adhäsivs selbst wurde ein zweiter Anwendertest der Flasche mit Klappdeckel durchgeführt. Daran nahmen 30 Allgemeinzahnärzte teil; diese sollten Prime&Bond active® in der neuen Flasche bei mindestens 40 Anwendungen und mindestens 20 Patienten testen. Weitere Flaschen wurden zur Verfügung gestellt, um bestimmte Aspekte der Handhabung zu bewerten. Tabelle 3 zeigt die Anzahl der Behandlungen.

Gesamtzahl	Mittelwert	Maximum	Minimum	Median
1.774	59,1	100	40	52

Tabelle 3 Anzahl der Behandlungen mit Prime&Bond active® in neuer Flasche (n = 30).

Für eine möglichst lange Haltbarkeit des Adhäsivs nach dem ersten Gebrauch muss die Flasche wieder fest verschlossen werden, da die leicht flüchtigen Bestandteile (z.B. Lösungsmittel) sonst verdunsten. Deshalb gibt die neu gestaltete Kappe beim korrekten Schließen ein taktiler und akustischer Feedback, das alle Teilnehmer als „sehr gut“ oder „gut“ bewerteten (Abbildung 30).

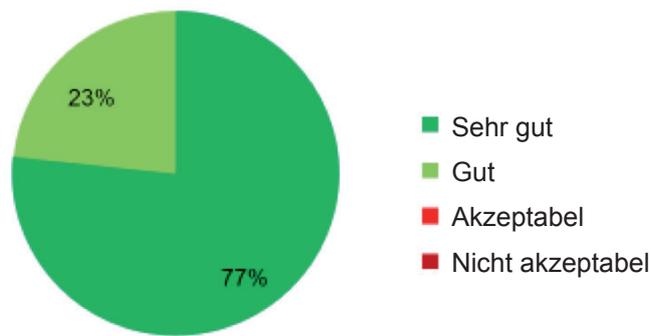


Abbildung 30 Bewertung des taktilen und akustischen Feedbacks beim Schließen der Flasche mit einer Hand (n = 30).

Schließlich sollten die Anwender die neue Flasche von Prime&Bond active® nach ihren persönlichen Präferenzen im Vergleich zum Applikationssystem ihres aktuellen Adhäsivs bewerten. Die Gesamtbewertung der Handhabungseigenschaften war sehr positiv, wie in Abbildung 31 zu sehen.

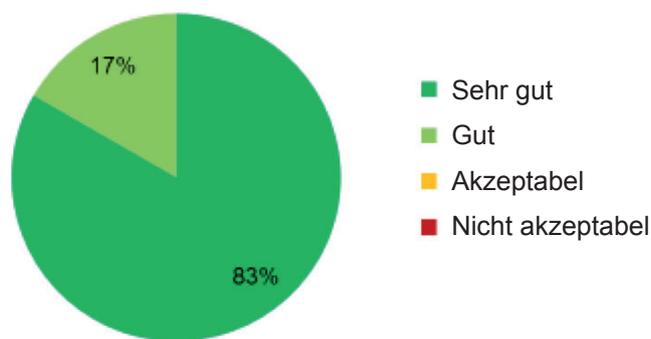


Abbildung 31 Gesamtbewertung der Handhabungseigenschaften (n = 30).

4.3 Fazit der Anwendertests

Prime&Bond active® wurde von Allgemeinzahnärzten in der täglichen Praxis bei insgesamt 4.950 Restaurationen bewertet. Wichtige Aspekte bei diesen Anwendertests waren die optimale Viskosität, das sehr seltene Auftreten postoperativer Überempfindlichkeit und die Robustheit des Adhäsivs gegenüber variierender Feuchtigkeit des Dentins. Und schließlich die insgesamt hoch bewertete Handhabung der neuen Flasche mit Klappdeckel.

5 Gebrauchsanweisung

Die aktuelle Version in allen europäischen Sprachen finden Sie auf www.dentsply.eu.

6 Literatur

[1] Zhang, Z.; Tian, F.; Niu, L.; Ochala, K.; Chen, C.; Fu, B.; Wang, X.; Pashley, D. H.; Tay, F. R., Defying ageing: An expectation for dentine bonding with universal adhesives?, *J Dent* 45, 43-52 (2016)

[2] Takamizawa, T.; Barkmeier, W. W.; Tsujimoto, A.; Berry, T. P.; Watanabe, H.; Erickson, R. L.; Latta, MA.; Miyazaki, M., Influence of different etching modes on bond strength and fatigue strength to dentin using universal adhesive systems, *Dent Mater* 32 (2), e9-e21 (2016)

[3] Loguercio, A. D.; Andrade de Paula, E.; Hass, V.; Luque-Martinez, I.; Reis, A.; Perdigao, J., A new universal simplified adhesive: 36-Month randomized double-blind clinical trial, *J Dent* 43 (9), 1083-1029 (2016)

[4] Loguercio, A. D.; Munoz, M. A.; Luque-Martinez, I.; Hass, V.; Reis, A.; Perdigao, J., Does active application of universal adhesives to enamel in self-etch mode improve their performance?, *J Dent* 43 (9), 1060-1070 (2015)

[5] Rosa, W. L. O.; Piva, E.; Silva, AF., Bond strength of universal adhesives: A systematic review and metaanalysis, *J Dent* 43 (7), 765-776 (2015)

[6] Chen, C.; Niu, L.-N.; Xie, H.; Zhang, Z.-Y.; Zhou, L.-Q.; Jiao, K.; Chen, J.-H.; Pashley, D. H.; Tay, F. R., Bonding of universal adhesives to dentin - Old wine in new bottles? *J Dent* 43 (5), 525-536 (2015)

[7] Luque-Martinez, I.; Perdigao, J.; Munoz, M. A.; Sezinando, A.; Reis, A.; Loguercio, A. D., Effects of solvent evaporation time on immediate adhesive properties of universal adhesives to dentin, *Dent Mater* 30 (10), 1126-1135 (2014)

[8] Chen, L.; Suh, B. I., Effect of hydrophilicity on the compatibility between a dual-curing resin cement and one-bottle simplified adhesives, *J Adh Dent* 15 (4), 325-331 (2013)

- [9] Munoz, M. A.; Luque, I.; Hass, V.; Reis, A.; Loguercio, A. D.; Bombarda, N. H. C., Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine, *J Dent* 41 (5), 404-411 (2013)
- [10] Wagner, A.; Wendler, M.; Petschelt, A.; Belli, R.; Lohbauer, U., Bonding performance of universal adhesives in different etching modes, *J Dent* 42 (7), 800-807 (2014)
- [11] Amaral, M.; Belli, R.; Cesar, P. F.; Valandro, L. F.; Petschelt, A.; Lohbauer, U., The potential of novel primers and universal adhesives to bond to zirconia, *J Dent* 42 (1), 90-98 (2014)
- [12] Tian, F.; Zhou, L.; Zhang, Z.; Niu, L.; Zhang, L.; Chen, C.; Zhou, J.; Yang, H.; Wang, X.; Fu, B.; Huang, C.; Pashley, D. H.; Tay, F. R., Paucity of nanolayering in resin-dentin interfaces of MDP-based adhesives, *J Dent Res* 95 (4), 380-387 (2016)
- [13] Yokota, Y.; Nishiyama, N., Determination of molecular species of calcium salts of MDP produced through decalcification of enamel and dentin by MDP-based one-step adhesive, *Dent Mater J* 34 (2), 270-1279 (2015)
- [14] Feitosa, V. P.; Ogliari, F. A.; Van Meerbeek, B.; Watson, T. F.; Yoshihara, K.; Ogliari, A. O.; Sinhoretii, M. A.; Correr, A. B.; Cama, G.; Sauro, S., Can the hydrophilicity of functional monomers affect chemical interaction?, *J Dent Res* 93 (2), 201-206 (2014)
- [15] Takahashi, H., Effect of calcium salt of 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate produced on the bond durability of one-step self-etch adhesive, *Dent Mater J* 33 (3), 394-401 (2014)
- [16] Yoshihara, K.; Yoshida, Y.; Hayakawa, S.; Nagaoka, N.; Irie, M.; Ogawa, T.; Van Landuyt, K. L.; Osaka, A.; Suzuki, K.; Minagi, S.; Van Meerbeek, B., Nanolayering of phosphoric acid ester monomer on enamel and dentin, *Acta Biomater* 7(8), 3187-3195 (2011)

[17] Tian, F.; Wang, X.; Huang, Q.; Niu, L.; Mitchell, J.; Zhang, Z.; Prananik, C; Zhang, L.; Chen, J.; Breshi, L.; Pashley, D. H.; Tay, F. R., Effect of nanolayering of calcium salts of phosphoric acid ester monomers on the durability of resin-dentin bonds, *Act Biomater* 38, 190-200 (2016)

[18] Latta, M. A., Shear bond strength and physicochemical interactions of XP bond, *J Adh Dent* 9 (2), 245-248 (2007)

7 Glossar und Abkürzungen

A+B	Binäre Mischung aus den Bestandteilen A und B
A+B+C	Ternäre Mischung aus den Bestandteilen A, B und C
A-B	Einzelner Bestandteil mit Eigenschaften von A und B
bisGMA	Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat
°C	Grad Celsius, Temperatur
(D)UDMA	(Di-) Urethandimethacrylat
ER	Etch&Rinse
FE-REM	Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie
Gew.%	Gewichtsprozent
HEMA	2-Hydroxyethylmethacrylat
$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	Kilojoule pro Mol, molare Energie, Reaktivität
MDP	10-Methacryloyloxydecylidihydrogenphosphat
$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$	Millinewton pro Meter, Oberflächenspannung
MPa	Megapascal
$\text{Pa}\cdot\text{s}$	Pascalsekunden, Viskosität
PENTA	Dipentaerythritolpentacrylatphosphat
REM	Rasterelektronenmikroskopie
RT-FTIR	Echtzeit- (Real-Time-) Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie
SCA	Self Cure Activator (Aktivator zur Selbsthärtung)
SE	Self-Etch
SEE	Selective-Enamel-Etch (selektive Schmelzätzung)
TC	Thermocycling (Temperaturwechselbeanspruchung)
TEGDMA	Triethylenglycoldimethacrylat
TEM	Transmissionselektronenmikroskopie
TML	Thermo-Mechanical Loading (thermomechanische Beanspruchung)
Vol.%	Volumenprozent

8 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1	Strukturformeln der in Prime&Bond active® enthaltenen sauren Monomere MDP (links) und PENTA (rechts). Reaktive Doppelbindungen (Kreise) und saure Gruppen (Dreiecke) sind markiert.	7
Abbildung 2	Passives Verhalten eines Kunststoffgemischs bzw. Adhäsivs vom Typ A+B bei Kontakt mit einer kleinen Wassermenge C; es verbleibt ein heterogenes, aus den Phasen A+B und C bestehendes System.....	8
Abbildung 3	„Proaktives“ Verhalten eines Kunststoffgemischs bzw. Adhäsivs vom Typ A-B bei Kontakt mit einer kleinen Wassermenge C (Active-Guard™ Technologie von Dentsply Sirona, führt schnell zu einer einzigen, homogenen Phase). 10	
Abbildung 4	Strukturformel des neuen Vernetzers, der Bestandteil der Active-Guard™ Technologie ist. Reaktive Doppelbindungen (Kreise) und N-Allyl-Zentren (Quadrate) sind markiert.	10
Abbildung 5	Überblick über gängige Lösungsmittelsysteme in Adhäsiven und ihre Vor- und Nachteile.....	11
Abbildung 6	Haftfestigkeit von Adhäsiven an Schmelz und Dentin in Etch&Rinse- und Self-Etch-Technik nach Thermocycling. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.	13
Abbildung 7	Haftfestigkeit von Adhäsiven an unterschiedlich feuchtem Dentin in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben oder Symbolen unterscheiden sich signifikant.	14
Abbildung 8	Ermüdungsfestigkeit von Adhäsiven an unterschiedlich feuchtem Dentin in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben oder Symbolen unterscheiden sich signifikant..	15
Abbildung 9	Haftfestigkeit von Adhäsiven an Dentin mit unterschiedlichem Wassergehalt in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant.	16
Abbildung 10	Haftfestigkeit diverser Befestigungssysteme an Dentin bei Keramik-Inlays in der Etch&Rinse-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. SCA = Self Cure Activator (als Etch&Rinse-Kontrolle diente Prime&Bond XP).	17
Abbildung 11	Haftfestigkeit diverser Befestigungssysteme an Dentin bei Keramik-Inlays in der Self-Etch-Technik. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. SCA = Self Cure Activator (als Etch&Rinse-Kontrolle diente Prime&Bond XP).....	18
Abbildung 12	Scherhaftfestigkeit von Befestigungssystemen an diversen Restaurationsmaterialien.	19
Abbildung 13	Sofortige Scherhaftfestigkeit dreier Befestigungssysteme an Dentin (anleitungsgemäß wurde Prime&Bond active® lichtgehärtet, Scotchbond Universal und Multilink Primer A/B jedoch nicht).	20

Abbildung 14	Retentionskraft diverser Befestigungssysteme bei Keramik-Kronen. Die Resultate für Prime&Bond active/Calibra Ceram stammen aus einer separaten Studie, bei der dieselben Prüfer exakt dieselben, oben genannten Methoden anwandten (anleitungsgemäß wurde Prime&Bond active® lichtgehärtet, Scotchbond Universal und Multilink Primer A/B jedoch nicht). 21	21
Abbildung 15	Repräsentative FE-REM-Aufnahmen der Komposit-Dentin-Grenzflächen bei den vier in der Etch&Rinse-Technik auf über trockenem Dentin angewandten Adhäsiven. Bei Prime&Bond active® ist die Hybridschicht gut ausgebildet (A), bei Adhese Universal deutlich dünner (B). Pfeile zeigen Defekte und Spalte an der Komposit-Dentin-Grenzfläche bei Futurabond U (C) und Scotchbond Universal (D). AD = Adhäsivschicht, CR = Komposit, D = Dentin, G = Spalt, HL = Hybridschicht, RT = Kunststoffzapfen..... 23	23
Abbildung 16	Repräsentative TEM-Aufnahmen der gut ausgebildeten Hybridschicht von Prime&Bond active® bei Anwendung in der Etch&Rinse-Technik auf feuchtem (A) und über trockenem (B) Dentin. AD = Adhäsivschicht, CR = Komposit, D = Dentin, HL = Hybridschicht, RT = Kunststoffzapfen. 23	23
Abbildung 17	Prozentsätze spaltfreier Ränder bei Klasse-II-Füllungen nach TML. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. 25	25
Abbildung 18	Prozentsätze spaltfreier Ränder bei Klasse-V-Füllungen vor und nach dem Thermocycling (TC). Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. 26	26
Abbildung 19	Prozentsätze der Farbeindringung bei Klasse-V-Füllungen nach Thermocycling. Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. . 27	27
Abbildung 20	Prozentsätze spaltfreier Ränder bei MOD-Keramik-Inlays nach TML. Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant. SCA = Self Cure Activator. 28	28
Abbildung 21	Mittlere Filmdicken der geprüften Adhäsive in µm mit Standardabweichung. 29	29
Abbildung 22	Konversionsraten diverser Adhäsive in Abhängigkeit von der Dauer der Polymerisation unter Luft. Hier die Polymerisationsprofile ohne Wasserzugabe. 30	30
Abbildung 23	Konversionsraten der Adhäsive in Abhängigkeit vom Wassergehalt nach 20 s Lichthärtung unter Luft; n.d. = nicht feststellbar, weil bei diesem Wassergehalt keine homogene Mischung möglich war..... 31	31
Abbildung 24	Anwendungshäufigkeit der verschiedenen Ätztechniken (n = 79). 32	32
Abbildung 25	Bewertung der Viskosität (n = 77). 33	33
Abbildung 26	Bewertung der Viskosität im Vergleich zum aktuell meistverwendeten Adhäsiv (n = 76). 33	33
Abbildung 27	Gesamtbewertung der Handhabungseigenschaften (n = 79). 33	33
Abbildung 28	Bedeutung der Robustheit gegenüber variierender Feuchtigkeit des Dentins (n = 79). 34	34
Abbildung 29	Neu gestaltete Adhäsiv-Flasche (mit Klappdeckel). 35	35
Abbildung 30	Bewertung des taktilen und akustischen Feedbacks beim Schließen der Flasche mit einer Hand (n = 30). 36	36
Abbildung 31	Gesamtbewertung der Handhabungseigenschaften (n = 30). 36	36

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Zusammensetzung von Prime&Bond active®, generelle Funktionen der Bestandteile.	5
Tabelle 2	Anzahl der Restaurationen bei 79 Zahnärzten in 4 Wochen.	32
Tabelle 3	Anzahl der Behandlungen mit Prime&Bond active® in neuer Flasche (n = 30).	35

Die folgenden Produkte sind keine Marken von Dentsply Sirona International, Inc.:

Marke (Hersteller)

Adhese Universal (Ivoclar Vivadent)

All Bond Universal (BISCO)

Clearfil Universal Bond (Kuraray)

Futurabond M+ (VOCO)

Futurabond U (VOCO)

iBond Universal (Heraeus Kulzer)

IPS e.max (Ivoclar Vivadent)

Multilink Automix (Ivoclar Vivadent)

Multilink Primer A/B (Ivoclar Vivadent)

OptiBond Solo Plus (Kerr)

OptiBond XTR (Kerr)

RelyX Ultimate (3M ESPE)

Scotchbond Universal (3M ESPE)

With the compliments of

Dentsply DeTrey GmbH

De-Trey-Str. 1
78467 Konstanz
GERMANY
www.dentsplysirona.com

THE DENTAL
SOLUTIONS
COMPANY™

