

Adhese® Universal

Das universelle Adhäsiv

Wissenschaftliche Dokumentation



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 3 |
| 1.1 Verbundmechanismus | 3 |
| 1.2 Adhäsivtechniken | 5 |
| 2. Eine kurze Geschichte der Adhäsive | 6 |
| 3. Klassifizierung der Dentaladhäsive | 6 |
| 4. Universal-Adhäsive | 8 |
| 5. Das Adhäsiv-Portfolio von Ivoclar Vivadent | 10 |
| 6. Adhese® Universal | 10 |
| 6.1 Indikationen | 11 |
| 6.2 Wirkmechanismus | 11 |
| 6.3 Effiziente Dosierung mit dem VivaPen® | 15 |
| 6.4 “Universalität” von Adhese Universal..... | 17 |
| 7. Technische Daten | 18 |
| 8. In Vitro Untersuchungen | 19 |
| 8.1 Messung der Haftkraft von Adhäsiven | 19 |
| 8.2 Adhese Universal und direkte Füllungsmaterialien | 20 |
| 8.3 Haftung auf feuchtem und trockenem Dentin | 28 |
| 8.4 Randqualität..... | 33 |
| 8.5 Composite-Reparatur – Haftung auf gealtertem Composite..... | 40 |
| 8.6 Adhese Universal und Stumpfaufbaumaterial..... | 41 |
| 8.7 Adhese Universal und indirekte Restaurationen | 42 |
| 8.8 Adhese Universal – Dentinpenetration | 46 |
| 9. Klinische Untersuchungen | 49 |
| 9.1 Klinisches Verhalten von Adhese Universal in Klasse-I- und Klasse-II-Kavitäten | 49 |
| 9.2 Adhese Universal (Self-Etch) bei Klasse-V-Füllungen | 53 |
| 10. Biokompatibilität | 55 |
| 11. Referenzen | 57 |

1. Einleitung

Der Bereich der adhäsiven Zahnheilkunde verzeichnete in den letzten Jahrzehnten beträchtlichen und kontinuierlichen Fortschritt. Dieser war zweifellos für die Revolution in der restaurativen Zahnheilkunde mitverantwortlich.¹

Die Weiterentwicklung der Dentaladhäsive verlief dabei parallel zu jener der Composite-Füllungsmaterialien. Composite-Füllungsmaterialien kamen erstmals in den 1960er Jahren im Dentalbereich zum Einsatz², wurden aber zu Beginn nur im Frontzahnbereich angewendet, wo Amalgamfüllungen aufgrund ihrer ästhetischen Mängel einen klaren Nachteil aufwiesen. Seit den 1990er Jahren ersetzen Composites zunehmend Amalgam als universelles Füllungsmaterial und mit Composite-Füllungsmaterialien begann die neue Ära der minimalinvasiven Zahnheilkunde. Eine retentive Präparation der Kavität wie bei Amalgamfüllungen war nicht länger notwendig; ausschliesslich das demineralisierte Gewebe musste entfernt werden. Diese „neue“ Entwicklung in der restaurativen Zahnheilkunde verlief Hand in Hand mit der Entwicklung von wirksamen Schmelz-Dentin-Adhäsiven, die einen zuverlässigen Haftverbund gewährleisteten. Im Laufe der Jahre wurden die Eigenschaften dieser Adhäsive und Composites immer weiter optimiert.

1.1 Verbundmechanismus

Man unterscheidet zwei Arten des Haftverbundes:

Mechanischer Verbund: durch Penetration des Adhäsivs in die Zahnhartsubstanz

Chemischer Verbund: durch die chemische Verbindung zu den anorganischen (Hydroxylapatit) oder organischen Bestandteilen (Kollagen) der Zahnhartsubstanz

Unabhängig vom Adhäsivtyp sorgt bei den meisten modernen Adhäsiven eine Kombination aus beiden genannten Verbundarten für die entsprechende Haftung.

1.1.1 Das Substrat

Adhäsivsysteme müssen in der Lage sein, einen Verbund sowohl zur Restauration als auch zur Zahnhartsubstanz herzustellen. Dentale Composite-Restaurationsmaterialien bestehen üblicherweise aus einer hydrophoben, d.h. Wasser abstossenden Matrix und unterschiedlichen, darin eingebetteten Füllpartikeln. Im Vergleich dazu umfasst die Zahnhartsubstanz mit Schmelz und Dentin zwei sehr unterschiedliche Substrate. Schmelz besteht zu 96% aus Hydroxylapatit, einem kristallinen Calcium-Phosphat, und zu 4% aus organischem Material und Wasser.³ Dentin besteht nur zu 70% aus Hydroxylapatit, hat aber einen hohen Anteil an organischem Material, hauptsächlich Kollagen (20%) und 10% Wasser.⁴ Deshalb ist Schmelz im Wesentlichen ein Trockensubstrat, während Dentin ein nasses, hydrophiles Substrat ist. Im Vergleich zu hydrophoben Restaurationsmaterialien sind jedoch beide Zahnhartsubstanzen als hydrophil zu bezeichnen. Adhäsive müssen daher sowohl hydrophobe als auch hydrophile Eigenschaften aufweisen, um sowohl auf Zahnhartsubstanzen als auch auf Restaurationmaterial eine Haftung zu erzielen.

1.1.2 Die Schmierschicht

Als „Schmierschicht“ (Smear Layer) bezeichnet man die etwa 1 µm dicke Schicht aus Präparationsrückständen, mit der bearbeitete Oberflächen nach der Präparation mit rotierenden Instrumenten überzogen sind. Obwohl die Schmierschicht die Dentinpermeabilität verringert und dadurch einen Schutz für die präparierte Oberfläche darstellt, kann sie teilweise in die Dentintubuli eindringen und dadurch die Haftung beeinträchtigen.¹ Bereits im Zusammenhang mit den ersten Composites wurde beobachtet, dass Haftvermittler, welche die Schmierschicht entfernten, bessere Retentionsraten erzielten als jene Produkte, die die Schmierschicht lediglich modifizierten.^{5,6} So schien also die Entfernung der Schmierschicht eine Voraussetzung für die Dentinadhäsion zu sein – eine

Ansicht, die auch heute noch verbreitet ist. Studien zeigten, dass bei Belassen der Schmierschicht auf der Oberfläche nur eine Verbundstärke von etwa 5 MPa erreicht werden konnte, bevor es zur kohäsiven Fraktur innerhalb der Schmierschicht kam.^{7,8}

Der nächste logische Schritt war daher die Entwicklung sogenannter „Total Etch“- bzw. „Etch & Rinse“-Adhäsive.

Schmelzätzung: Die Säureätzttechnik auf Schmelz wurde erstmals von Buonocore (1955) beschrieben.⁹ Durch das entstehende unregelmässige Ätzmuster wird die für den Verbund zur Verfügung stehende Oberfläche erweitert (Abb.1). Die Schmelzprismen werden während der Präparation entweder schräg oder vertikal angeschnitten. Da die Säurelöslichkeit der zentralen und peripheren Bereiche der Schmelzprismen unterschiedlich ist, wird auf der Schmelzoberfläche ein Mikroretentionsmuster erzeugt.¹⁰ Das Adhäsiv ist dann - auch unterstützt durch die Kapillarwirkung - in der Lage, diese Mikroporositäten zu infiltrieren. Die sich durch die Polymerisation des Monomers bildenden Polymerpfropfen, sogenannte „resin tags“, führen zu einer mechanischen Verzahnung mit dem Zahnschmelz. Um im Rahmen der Schmelzätzung ein optimales Retentionsmusters zu erreichen, ist eine höhere Säurekonzentration und eine längere Einwirkzeit nötig, als dies zur Freilegung des Dentinkollagens als Voraussetzung für die Haftung auf Dentin der Fall ist.

Dentinätzung: Durch das Ätzen des Dentins werden die Tubuli-Öffnungen erweitert, die Schmierschicht entfernt bzw. aufgelöst und die Dentinoberfläche demineralisiert (Abb. 2). Durch die Demineralisation des peri- und intertubulären Dentins werden die Dentintubuli bis in eine Tiefe von 10 µm trichterförmig erweitert.¹¹ Es entstehen poröse Bereiche mit freigelegten Kollagenfasern. Diese sind die Voraussetzung für die Erzielung einer wirksamen Dentinhaftung.¹² Da die ersten Adhäsive hydrophob waren, wurde die Dentinätzung ursprünglich als problematisch erachtet. Zwar wurde mit diesen Produkten auf Schmelz eine ausreichende Haftung erzielt, eine Penetration bzw. die Erzielung eines Verbundes zu „nassem“ Dentin war jedoch nicht möglich. Die Infiltration des feuchten, angeätzten Dentins ist mit den heute verfügbaren hydrophilen Adhäsiven kein Problem mehr. Das heisst, die Ausbildung einer Hybridschicht mit in die Dentintubuli hineinragenden „resin tags“, die für eine mikromechanische Retention sorgen, ist möglich. Eine weitere Funktion der Hybridschicht ist es, das freigelegte Dentin zu versiegeln und im Rahmen der Polymerisation der ersten Compositeschicht eine kovalente Verbindung mit dem Composite-Füllungsmaterial einzugehen.

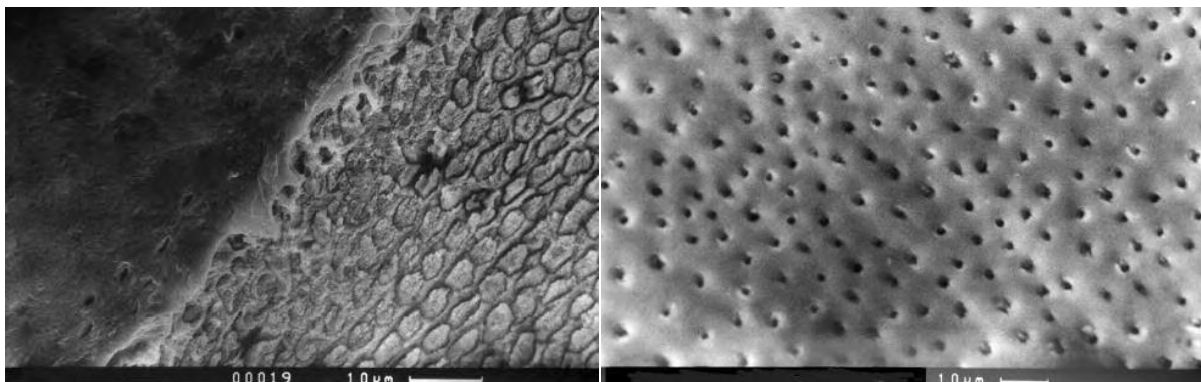


Abb. 2: **REM: Geätzter Schmelz:** Links der ungeätzte Schmelz mit intakter Schmierschicht. Rechts das erzielte Ätzmuster. *Dr. P. Gabriel, Universität Leipzig*

Abb. 1: **REM: Geätztes Dentin:** Dentinoberflächen mit geöffneten Dentintubuli nach der Konditionierung mit dem Phosphorsäuregel Total Etch. *Dr. P. Gabriel, Universität Leipzig*

Hybridisiertes Dentin ist eine Mischung aus Adhäsiv-Polymer und Zahnhartsubstanz. Sie unterscheidet sich von der ursprünglichen Zahnschicht auf molekularer Ebene. Das Prinzip des Verbundes zu Zahnhartgewebe beruht also auf dem Ersatz von anorganischer Zahnschicht durch synthetisches Polymer.¹³

1.2 Adhäsivtechniken

1.2.1 Die „Total-Etch“- oder „Etch & Rinse“-Technik

Unter dem Begriff „Total-Etch“ versteht man das Ätzen sowohl des Schmelzes als auch des Dentins vor der Applikation des Adhäsivs. Bei der Anwendung des Total-Etch-Verfahrens, das auch als „Etch & Rinse“-Verfahren bekannt ist, wird in einem ersten Schritt mit Phosphorsäure (H_3PO_4) geätzt, um die Schmierschicht (Smear Layer) zu entfernen und die gesamte Kavität zu konditionieren. Nach dem Ätzvorgang werden Phosphorsäure und Schmierschicht mit Wasserspray entfernt und die Kavität gründlich getrocknet. Schmelz wird meist länger geätzt als Dentin. Ein Übertrocknen des Dentins nach dem Ätzvorgang sollte unbedingt vermieden werden. Dies wird auch durch die oft diskutierte Frage „how wet is wet?“ verdeutlicht.

Dentin muss noch feucht sein und ein leicht glänzendes Aussehen haben, da die Kollagenfasern sonst kollabieren könnten. Die Oberfläche ist dann weniger durchlässig und eine Infiltration mit hydrophilen Adhäsivmonomeren nicht möglich. Das Ergebnis ist ein potentiell schlechterer Verbund, sowie postoperative Sensibilitäten.

Obwohl Total-Etch-Adhäsive aus diesem Grund, aber auch aufgrund der vielen Arbeitsschritte, eher als technikempfindlich eingestuft werden¹⁴, sind sie etabliert und werden klinisch erfolgreich eingesetzt.^{15, 16}

1.2.2 Selektive Schmelzätzung

Damit ist die konventionelle Ätztechnik gemeint, bei der Phosphorsäure nur auf die Schmelzränder appliziert und dann wieder abgespült wird. Anschliessend erfolgt die Konditionierung des Dentins mit einem sauren Primer oder die Applikation eines selbstätzenden All-in-One-Adhäsivs. Da nach dem Primerauftrag nicht mehr gespült wird, sprechen wir in diesem Fall nicht von einer Entfernung, sondern von einer Modifizierung des Smear Layers. Diese „Selective-Etch“-Methode kann auch als „Etch & Rinse“-Technik nur für den Schmelz angesehen werden. Obwohl ursprünglich nur für Total-Etch-Adhäsive gedacht, kommt diese Technik neuerdings wieder verstärkt in Kombination mit selbstätzenden Adhäsiven und den neuen „Universal-Adhäsiven“ zum Einsatz.

1.2.3 Self-Etch-Technik

Selbstätzende Adhäsive benötigen keinen separaten Ätzschritt. Diese Adhäsive enthalten saure Monomere, die die Schmelz- und Dentinoberfläche anätzen („priming“). Im Vergleich zur Total-Etch-Technik ist die Gefahr einer übermässigen Demineralisierung des Dentins geringer, da selbstätzende Adhäsive einen milderen pH-Wert aufweisen. Der potentiell kritische Schritt der Dentintrocknung wird vermieden. Die Gefahr einer Übertrocknung und des Kollapses der Kollagenfasern besteht daher nicht. Dadurch wird auch das Risiko von postoperativen Sensibilitäten verringert. Wie oben schon erwähnt, bevorzugen manche Zahnärzte die selektive Schmelzätzung vor der Applikation von selbstätzenden Adhäsiven.

Die neuen Universal-Adhäsive eignen sich meist für alle genannten Ätztechniken – hier ist allein die klinische Situation ausschlaggebend.

2. Eine kurze Geschichte der Adhäsive

Um die derzeitige Entwicklung in der adhäsiven Zahnheilkunde zu verstehen, ist es wichtig, einen Blick auf die unterschiedlichen Entwicklungsphasen und Adhäsivgenerationen zu werfen. Die Idee, einen Verbund zu Schmelz- und Dentin herzustellen, hatte erstmals Buonocore vor über 50 Jahren.⁹ Inspiriert von in der Industrie angewendeten Verbundtechniken, postulierte er das Konzept der Säureätzung von Zahnschmelz vor der Applikation von Acrylharzen. Er zeigte, dass ein Ätzen des Schmelzes mit Phosphorsäure für eine länger anhaltende Haftung unter Wasser sorgte. Diese Erkenntnisse veranlassten ihn 1963 dazu, sich mit den Unterschieden der Erzielung von Haftung auf Dentin und Schmelz zu befassen.¹⁷ Ende der 1960er Jahre postulierte er, dass hauptsächlich „resin tags“ in den Mikroporen für die Retention auf geätztem Schmelz verantwortlich waren und eine Haftung auf Dentin aufgrund seiner Zusammensetzung, dem Wassergehalt und dem Smear Layer schwieriger zu erreichen war.

Die ersten Dentaladhäsive konnten daher nur einen Verbund zu Schmelz herstellen, während die Adhäsion zu Dentin nur kaum oder gar nicht möglich war. Die Dentaladhäsive wurden Schritt für Schritt weiterentwickelt, neue Formulierungen, Applikationsmethoden, Techniken und Wirkmechanismen entworfen – eine Evolution, die parallel zur Entwicklung von immer ästhetischeren Restaurationsmaterialien verlief, speziell im Composite- und Keramikbereich.

3. Klassifizierung der Dentaladhäsive

Eine eindeutige Zuordnung von Dentaladhäsiven zu bestimmten Gruppen ist nahezu unmöglich. Adhäsive wurden immer wieder unterschiedlich nach Generationen, verwendeten Ätztechniken, bzw. nach Anzahl der für das gesamte Bondingverfahren benötigten Flaschen oder Arbeitsschritten klassifiziert. Zusätzlich definieren die Autoren bzw. Zahnärzte die Generationen unterschiedlich oder rechnen bei der Anzahl der Flaschen bzw. Arbeitsschritte den Ätzschritt mit ein oder nicht; selbst die Zuordnung von einzelnen Adhäsiven zu den verschiedenen Gruppen ist unterschiedlich. So wird zum Beispiel ein Mehrschritt-Adhäsiv mit separatem Primer, das eigentlich zu den „Etch & Rinse“-Adhäsiven zählt, von manchen Autoren als selbststänzendes Adhäsiv eingestuft. Eine vergleichende Analyse wird zweifellos durch immer wieder überlappende Zuordnungen und unterschiedliche Interpretationen erschwert. Die nachfolgende Information sowie Tabelle 1 sollen daher ein möglichst klares Bild der Situation geben.

3.1 Klassifizierung nach Generationen

Dentaladhäsive können zu einem gewissen Grad chronologisch nach Generationen eingeteilt werden – eine Methode, die häufig von Adhäsiv-Herstellern angewendet wird. Die „Generation“ verweist dabei ausschliesslich darauf, wann und in welcher Reihenfolge diese Adhäsive entwickelt wurden. Während die erste Generation die Adhäsive der 1960er Jahre umfasst, zählen die modernen Adhäsive der Gegenwart zur siebten Generation.

Die Haftvermittler der ersten und zweiten Generation sind heute nicht mehr in Verwendung. Grund dafür ist der fehlgeschlagene Versuch, Haftung auf einer lose gebundenen Schmierschicht zu erzielen. Nur geringe Haftstärken von 2-8 MPa¹⁸ wurden mit diesen Produkten erzielt und die Randdichtigkeit war mangelhaft.¹⁹ Obwohl heute bereits Adhäsive der sogenannten siebten Generation auf dem Markt sind, erfreuen sich Produkte der dritten, vierten, fünften und sechsten Generation immer noch grosser Beliebtheit, da sie, je nach klinischer Situation bzw. Vorlieben und Erfahrungen des Zahnarztes immer noch bestimmte Vorteile bieten. Die neuen Universaladhäsive können entweder in der Total-Etch-, Selective-Etch- oder Self-Etch-Technik angewendet werden. Daher sind sie eher als Unterkategorie zu sehen und nicht als neue Generation. Die zeitliche Entwicklung bzw. die grundlegenden Unterschiede zwischen den einzelnen Generationen sind in Tabelle 1 dargestellt:

| Generation | Entwickelt | Mechanismus / Schritte | | Beschreibung |
|------------------|-----------------------|------------------------|---|---|
| 1 | 1960er Jahre | Nicht mehr verwendet | | Nur Schmelzätzung – geringe Haftung |
| 2 | 1970er Jahre | | | Nur Schmelzätzung – verbesserte Haftung |
| 3 | 1980er/1990er Jahre | Etch & Rinse | Selective-Etch/ mehrere Schritte | Selektive Schmelzätzung/Etch & Rinse mit H ₃ PO ₄ oder einer anderen organischen Säure. Dentinkonditionierung mit Primer Modifizierung oder Entfernung der Schmierschicht |
| 4 | 1990er Jahre | | Total-Etch/ mehrere/3 Schritte | Total-Etch/Etch & Rinse: Primer und Adhäsiv separat |
| 5 | Mittlere 1990er Jahre | | Total-Etch/ 2 Schritte | Total-Etch/Etch & Rinse: Primer und Adhäsiv kombiniert |
| 6 | Späte 1990er Jahre | Self-Etch | Self-Etch/ 2 Schritte | Self-Etch: Ätzmittel und Primer kombiniert, dann hydrophober Verbund, d.h. selbstätzend/mehrere Komponenten |
| 7 | 2000 + | | Self-Etch/ 1 Schritt | Self-Etch: Ätzmittel, Primer und Adhäsiv kombiniert, d.h. Self-Etch mit einer Komponente |
| Universal | 2011 + | All-Etch | Total/Self/Selective-Etch/ 1 oder 2 Schritte | Total-Etch oder Selective-Etch-Verfahren in Kombination mit Universaladhäsiv oder nur Universaladhäsiv als selbstätzendes Adhäsiv |

Tabelle 1: Klassifikation nach Generationen, Haftungsmechanismus und Anzahl der klinischen Schritte im Überblick

3.1.1 Klassifizierung der Ivoclar Vivadent Adhäsive nach Generationen

Das Mehrschritt-Adhäsivsystem Syntac kann sowohl der dritten als auch der vierten Generation von Adhäsiven zugeordnet werden, da es sowohl für die selektive Schmelzätzung (dritte Generation) als auch in der Total-Etch-Technik (vierte Generation) anwendbar ist. ExciTE F zählt zu den Einfaschen-Adhäsiven (VivaPen) für die Total-Etch-Technik mit separatem Ätzschritt und somit zur fünften Generation. AdheSE als selbstätzendes Zweischrittssystem gehört zur sechsten Generation und AdheSE One F, ein selbstätzendes Einkomponentenadhäsiv, zur siebten Generation. Adhese Universal schliesslich gehört zur Gruppe der neuen „Universal-Adhäsive“, die für alle in Abschnitt 1.2 angeführten Ätztechniken anwendbar sind.

3.2 Klassifizierung nach Mechanismus der Adhäsion / klinischen Schritten

Während die Einteilung in Generationen im Hinblick auf ein Verständnis der geschichtlichen Entwicklung nützlich ist, macht bei den modernen Adhäsiven (Generation drei bis sieben) eine Klassifizierung nach Technik bzw. Arbeitsschritten mehr Sinn.

Moderne Dentaladhäsive lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen: Adhäsive **mit separatem Ätzschritt** (Etch & Rinse) einerseits, und **selbstätzende** (Self-Etch-) Adhäsive andererseits. Obwohl der Begriff „Etch & Rinse“ oft synonym mit „Total-Etch“ verwendet wird, umfasst er neben Total-Etch auch die selektive Schmelzätzung (Total-Etch: Dentin und Schmelz werden in einem separaten Ätzschritt geätzt; Selective-Etch: nur der Schmelz wird in einem separaten Ätzschritt geätzt). Je nach Anzahl der Arbeitsschritte lassen sich diese Adhäsive in Unterkategorien einteilen: Etch & Rinse-Systeme mit mehreren bzw. drei oder zwei Schritten und selbstätzende Systeme mit zwei bzw. einem Schritt.

Das Etch & Rinse-System unterscheidet sich dadurch, dass vor den Primer- und Bonding-Schritten ein separater Etch & Rinse-Schritt ausgeführt wird. Das Dreischritt-Etch & Rinse/Total-Etch-System (mit Adhäsiven der vierten Generation) folgt dem konventionellen Ansatz von „Etch-Rinse-Prime-Bond“. Bei Zweischritt Etch & Rinse-Systemen (fünfte

Generation, auch Einflaschen-Adhäsive genannt) sind Primer und Bond in einer Komponente zusammengefasst. Bei selbstätzenden Adhäsiven entfällt das Abspülen des Ätzmittels, da sie saure Monomere enthalten, die auf der Zahnschmelz verbleiben können und das Dentin in einem Schritt ätzen und primen. Bei selbstätzenden Zweischritt-Adhäsiven (sechste Generation) wird zuerst ein selbstätzender Primer, der saure Monomere enthält, appliziert. In einem zweiten Schritt wird dann das Bonding aufgetragen. Bei den selbstätzenden Einschritt-Adhäsiven (siebte Generation, auch All-in-One-Adhäsive genannt) sind (der selbstätzende) saure Primer und das Bonding in einer Komponente zusammengefasst. Demineralisation der Zahnschmelz und Infiltration mit Kunststoff erfolgen also gleichzeitig, was das Auftreten von postoperativen Sensibilitäten reduzieren kann. Im Hinblick auf die universelle Anwendbarkeit gibt es bei den sogenannten Universal-Adhäsiven grosse Unterschiede (siehe Abschnitt 4). Im Allgemeinen sind jedoch die Applikation von saurem Primer und Bonding in einem Schritt zusammengefasst, die Anwendbarkeit für alle Ätztechniken sowie für direkte und indirekte Restaurationen ist gegeben.

Um einen Überblick sowohl aus geschichtlicher als auch heutiger Perspektive zu geben, wurde in Tabelle 1 versucht, beide Klassifizierungsmethoden zu verbinden.

Sichtweisen und Trends im Adhäsivbereich

Es herrscht generell die Meinung vor, dass das klinische Resultat umso besser ist, je mehr Zeit in das Bondingverfahren investiert wird, und dass Phosphorsäureätzung immer noch die wirksamste Art der Vorbehandlung von Zahnschmelz ist, um einen optimalen Randschluss zu erzielen.²⁰

Wie von der GfK (Gesellschaft für Marktforschung) ermittelte Zahlen aus dem Jahr 2014 zeigen, ist der Marktanteil der konventionellen Adhäsive auf ca. 42% gesunken, während der Anteil der selbstätzenden Adhäsive bei ca. 40% liegt. Die Universal-Adhäsive stellen mit einem Marktanteil von ca. 18% das am schnellsten wachsende Marktsegment dar.

Da Self-Etch- und Total-Etch-Adhäsive auf Schmelz und Dentin eine unterschiedlich starke Ätzwirkung haben, greifen Zahnärzte oft lieber zu Total-Etch-Adhäsiven, speziell wenn ein Grossteil der Klebefläche im Schmelz liegt, wie z.B. bei ästhetisch sensiblen Frontzahnfüllungen. Selbstätzende Adhäsive hingegen erzielen bessere und vorhersagbarere Haftwerte auf Dentin und sind daher speziell für direkte Composite-Restaurationen geeignet, die zum grössten Teil in Dentin liegen.²¹ In jüngster Vergangenheit ist auch die Diskussion um die selektive Schmelzätzung in Kombination mit Self-Etch-Adhäsiven wieder aufgeflammt. Frankenberger verglich die mit Self-Etch-Adhäsiven erzielten Haftwerte auf Dentin und Schmelz (Anwendung nach Herstellerangaben) mit jenen nach einem Total-Etch-Schritt. Während sich die Werte auf Schmelz durch das Total-Etching beträchtlich erhöhten, war die Haftung auf Dentin tendenziell schlechter. Daher scheint die selektive Schmelzätzung die beste Lösung zu sein, wenn ein Verbund zu Schmelz und Dentin hergestellt werden soll.^{20,22} Gemäss Frankenberger ist die selektive Schmelzätzung im Zusammenhang mit der Verwendung von selbstätzenden Adhäsiven immer sinnvoll.²³

Diese offensichtliche Zurückhaltung im Hinblick auf den Verzicht auf Phosphorsäureätzung hat zur Entwicklung der neuesten Kategorie von Adhäsiven geführt: jener der „Universal-Adhäsive“. Diese sind nicht nur weniger technikempfindlich, sondern können sowohl mit der Total-Etch-Technik als auch mit der Selective-Etch-Technik kombiniert werden.

4. Universal-Adhäsive

Universal-Adhäsive kamen erstmals 2011 auf den Markt. Da diese Adhäsive (meistens Einschritt-Adhäsive) für alle Ätztechniken, direkte und indirekte Restaurationen sowie in Kombination mit licht-, selbst- und dualhärtenden Materialien anwendbar sind, reduzieren sie die hohe Komplexität des Bondingschrittes, die sich aufgrund der vielen verschiedenen Produkte und Verfahren ergibt. Die untenstehende Tabelle aus The Dental Advisor²⁴ gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Indikationen von fünf „Universal-Adhäsiven“.

| Produkt | Hersteller | Total-Etch-Technik | Self-Etch-Technik | Dualhärtende Materialien ohne separaten Aktivator | Verbund zu Lithium-Disilikat ohne separaten Primer | Verbund zu Zirkonium und Metall ohne separaten Primer |
|----------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|--|---|--|
| ALL-BOND Universal | Bisco Dental Products | ✓ | ✓ | ✓ | ✓** | ✓** |
| Peak Universal | Ultradent Products Inc. | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Scotchbond Universal | 3M ESPE | ✓ | ✓ | ✗* | ✓ | ✓ |
| Optibond XTR | Kerr Corporation | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Prime & Bond Elect | Dentsply Caulk | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |

Tabelle 2: Überblick über die Indikationen von derzeit auf dem Markt befindlichen „Universal-Adhäsiven“. Angaben aus The Dental Advisor, März 2013 24

* Separater Aktivator nötig, ausser bei Anwendung mit RelyX Ultimate adhäsiver Composite-Zement.

** All-Bond Universal stellt einen Verbund zu Lithium-Disilikat und Zirkoniumoxid her, aber der Hersteller empfiehlt die Verwendung von reinem Silan für Lithium-Disilikat und Z-Prime für Zirkoniumoxid, um optimale Haftwerte zu erzielen.

Wie Tabelle 2 zeigt, muss man sich stets vor Augen halten, dass die Definition von „universal“ von Hersteller zu Hersteller variiert. Einer oder mehrere der folgenden Punkte treffen normalerweise zu:

- Kompatibel mit der Total-Etch-, Selective-Etch- und Self-Etch-Technik
- Für direkte und indirekte Restaurationen geeignet
- Verbund zu verschiedenen Substraten möglich
- Kann in Kombination mit dual- und selbsthärtenden Materialien angewendet werden (ohne separaten Aktivator)
- Verwendung als Primer für Silika-, Zirkoniumoxid- und Metall-basierten Restaurationen

Die universelle Anwendung ist in manchen Fällen fragwürdig. Obwohl die fünf in Tabelle 2 dargestellten Adhäsive akzeptable Haftwerte auf Schmelz und Dentin erzielen, (sowohl mit der Total-Etch- als auch mit der Self-Etch-Technik)²⁴ - liegen die Nachteile einiger Produkte auf der Hand: Bei Scotchbond Universal von 3M ESPE zum Beispiel muss in indirekten Verfahren ein zusätzlicher Aktivator verwendet werden, wenn es nicht in Kombination mit einem bestimmten Befestigungscomposite, nämlich RelyX Ultimate (3M ESPE) angewendet wird. Prime & Bond Elect von Dentsply eignet sich zwar für alle Ätztechniken, ist aber ebenfalls nur mit einem zusätzlichen Aktivator mit dualhärtenden Materialien kombinierbar. Optibond XTR von Kerr ist nicht für die Total-Etch-Technik indiziert.

Adhese Universal eignet sich für die Total-Etch- und die Self-Etch-Technik und kann ohne zusätzlichen Aktivator in Kombination mit dualhärtenden Materialien angewendet werden. Das Adhäsiv eignet sich jedoch nicht als Primer für Restaurationsmaterialien, da die Zugabe einer Silan-Komponente in vitro keine zufriedenstellenden Resultate ergibt. In einer externen Studie untersuchten Lehmann und Kern an der Universitätsklinik Schleswig-Holstein die mit „Universal-Adhäsiven“ auf Lithium-Disilikat-Keramik erzielte Haftung und verglichen sie mit jener eines Befestigungssystems mit spezifischem Primer. Folgende Materialkombinationen wurden untersucht: Monobond Plus & Multilink Automix, Scotchbond Universal & RelyX Ultimate/3M ESPE, Optibond XTR & NX 3/Kerr und All-Bond Universal & Duo-Link/Bisco. Obwohl alle Gruppen akzeptable initiale Haftwerte zeigten, erzielte die Gruppe mit Monobond Plus die höchsten initialen Werte, die auch nach Wasserlagerung und Temperaturwechselbelastung über einen Zeitraum von 150 Tagen stabil blieben. Bei der All-Bond Universal Gruppe kam es nach 30 Tagen zu einem Versagen des Verbundes, und bei den übrigen Gruppen wurden nur mehr sehr niedrige Haftwerte von etwa 10 MPa gemessen.²⁵ Da die indirekte Restauration in einem separaten Schritt vorbehandelt werden muss, ist der Vorteil der Anwendung des selben Produktes hier fragwürdig. Um in indirekten

Restaurationsverfahren optimale Ergebnisse zu erzielen, ist die Anwendung eines spezifischen Metall/Keramik-Primers wie z.B. Monobond Plus sehr empfehlenswert.

5. Das Adhäsiv-Portfolio von Ivoclar Vivadent

Das Adhäsiv-Portfolio von Ivoclar Vivadent umfasst sowohl Total-Etch- als auch Self-Etch-Adhäsive. Die derzeitige Produktpalette ist in Tabelle 3 dargestellt. Beide Arten von Adhäsiven und Ein- und Mehrflaschen-Versionen innerhalb derselben Gruppe haben ihre Vor- und Nachteile. Total-Etch-Adhäsive sind aufgrund der langjährigen Erfahrung klinisch bewährt, sorgen für ein ausgeprägteres Ätzmuster im Schmelzbereich und eine umfassende Entfernung der Schmierschicht. Selbstätzende Adhäsive wiederum sind weniger techniksensibel²⁶, reduzieren das Risiko eines Kollagen-Kollapses und benötigen weniger Arbeitsschritte. Adhese Universal verbindet die Vorteile beider Adhäsivtypen und bietet Zahnärzten den Vorteil einer einfachen Anwendung und schlankeren Lagerhaltung.

| Total-Etch-Adhäsive | | Self-Etch-Adhäsive |
|---------------------|--------------|--------------------|
| Lichthärtend | Dualhärtend | Lichthärtend |
| Syntac | Syntac | AdheSE |
| ExcITE F | ExcITE F DSC | |
| Universal-Adhäsive | | |
| Adhese Universal | | |

Tabelle 3: Ivoclar Vivadent Adhäsiv-Portfolio, unterteilt in die entsprechenden Kategorien

6. Adhese® Universal

Adhese Universal ist ein lichthärtendes Einkomponenten-Adhäsiv für direkte und indirekte Versorgungen. Adhese Universal basiert auf den mit den Produkten ExcITE (F), der AdheSE Produktfamilie und dem Multilink Primer gewonnenen Erfahrungen. Es enthält Methacrylate, Ethanol, Wasser, hochdisperses Siliziumdioxid, sowie Initiatoren und Stabilisatoren.



Adhese Universal kann im Total-Etch-Verfahren, als selbstätzendes Adhäsiv oder nach der selektiven Schmelzätzung angewendet werden.



Abb. 3: Total-Etch-Verfahren (a), selektive Schmelzätzung (b) und Self-Etch-Technik (c) mit Adhese Universal. F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL, 2013

Die zur Konditionierung des Zahnes verwendete Technik hängt von der Einschätzung der klinischen Situation durch den Zahnarzt ab. Er beurteilt, welche Methode für die besseren klinischen Ergebnisse und damit für mehr Patientenzufriedenheit sorgt. Adhese Universal wird in die Kavität appliziert und mindestens 20 Sekunden lang einmassiert. Anschliessend wird mit wasser- und ölfreier Luft verblasen, bis ein unbeweglicher, glänzender Film entsteht. Die Adhese Universal-Schicht wird lichtgehärtet, unabhängig davon, ob es sich um eine direkte oder indirekte Versorgung handelt.

6.1 Indikationen

Adhese Universal ist indiziert für die Befestigung oder Reparatur von lichthärtenden Composite- und Compomer-Restaurationen, Stumpfaufbauten mit licht-, selbst- und dualhärtenden Composite-Materialien, adhäsive Befestigung von indirekten Restaurationen mit licht- oder dualhärtenden Befestigungscomposites, die Versiegelung von präparierten Zahnoberflächen vor der temporären/definitiven Befestigung von indirekten Restaurationen (z.B. Dual-Bonding-Technik) sowie für die Desensibilisierung von empfindlichen Zahnhälsen. Da Adhese Universal immer lichtgehärtet wird, sind Anwendungen, bei denen eine ausreichende Belichtung nicht gesichert ist, kontraindiziert (z.B. Befestigung von Wurzelstiften).

6.2 Wirkmechanismus

6.2.1 Verbund

Der Durchbruch auf dem Gebiet der Dentinhaftung wurde erstmals mit den Mehr- bzw. Dreischrittssystemen erzielt, die in der Lage waren, in mehreren Schritten die Kluft zwischen hydrophilem Dentin und hydrophobem Composite-Füllungsmaterial zu überbrücken. So konnte ein Übergang zwischen hydrophilem Dentin und hydrophobem Composite geschaffen werden. Syntac ist ein klassisches Beispiel für ein Adhäsiv der dritten/vierten Generation. Nach dem Ätzen wird das Ätzelgels abgespült, der hydrophile Syntac Primer auf die gesamte präparierte Zahnoberfläche aufgetragen (Schmelz und Dentin), anschliessend das hydrophile Syntac Adhesive appliziert und am Schluss das hydrophobe Heliobond aufgetragen. Die Tabelle unten zeigt die chronologische Entwicklung der Adhäsive von Ivoclar Vivadent und die sukzessive Reduktion der Arbeitsschritte, die nötig sind, um einen ausreichenden Verbund zwischen dem Restaurationsmaterial und der Zahnschubstanz zu erzielen:

| Arbeitsschritt | Zweck | Syntac (1990) | Excite (F) (1999) | AdheSE (2002) | AdheSE One (F) (2007) | Adhese Universal (2014) |
|--------------------------------|---|---|---|----------------|-----------------------|-------------------------|
| Schmelz-Konditionierung | Erzeugen eines retentiven Ätzmusters | Total Etch H ₃ PO ₄ | Total Etch H ₃ PO ₄ | | | |
| Dentin-Konditionierung | Modifizieren des Smear Layers und Freilegen des Kollagens und der Dentintubuli, Infiltration und hydrophile Benetzung | Syntac Primer | | | | |
| Benetzung | Infiltration des Kollagens mit hydrophilem Adhäsiv. Übergang zwischen hydrophilem Substrat und Restauration durch die Ausbildung von „resin tags“ | Syntac Adhesive | Excite (F) | AdheSE Primer | AdheSE One F | Adhese Universal |
| Verbund | Hydrophober Haftvermittler zur Schaffung eines Verbundes zur Restauration durch Co-Polymerisation mit dem Restaurationsmaterial | Heliobond | | AdheSE Bonding | | |

Tabelle 4: Bondingschritte und Arbeitsweisen von Ivoclar Vivadent Adhäsiven

Das Ziel der Weiterentwicklung von Adhäsiven war stets, Zahnärzten ein Produkt zur Verfügung zu stellen, das noch schneller und einfacher in der Anwendung ist. Adhese Universal gehört zu einer neuen Kategorie von Adhäsiven – von einer neuen Generation kann man jedoch nicht sprechen. Im Wesentlichen handelt es sich um ein selbststänzendes Einfaschen-Adhäsiv (1-Schritt), das auch mit der Total-Etch-Technik und selektiven Schmelzätzung (2-Schritt) kombinierbar ist und sich für direkte und indirekte Restaurationsverfahren eignet.

Universal-Adhäsive im Allgemeinen und Adhese Universal im Speziellen enthalten geringe Mengen saurer Monomere und haben daher eine „milde“ Ätzwirkung. Der pH-Wert der Adhäsive liegt bei etwa 2.5 bis 3.0. Die Monomermatrix von Adhese Universal ist eine Kombination von hydrophilen (Hydroxyethylmethacrylat/HEMA) und hydrophoben (Decandioldimethacrylat/D3 MA) Monomeren und bis-GMA. Die daraus resultierende Kombination von Eigenschaften sorgt dafür, dass Adhese Universal einen verlässlichen Verbund zwischen hydrophiler Zahnschubstanz und dem hydrophoben Composite-Restaurationmaterial unter verschiedensten Oberflächenbedingungen herstellen kann. Tabelle 5 enthält detaillierte Informationen zur Zusammensetzung der Monomermatrix von Adhese Universal.

| Monomer | Typ | Aufgabe |
|---|--|--|
| MDP Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat | Phosphorsäure-methacrylat | Bildung eines starken Verbundes zu Hydroxylapatit. Erzielt Haftung auf der Zahnoberfläche durch die Ausbildung von unlöslicher Ca ²⁺ -Salze. |
| MCAP | Methacryliertes Carbonsäurepolymer | Funktionelles Carbonsäurepolymer reagiert und verbindet sich mit Hydroxylapatit. Die Carboxyl-Gruppen entlang der Polymerkette ermöglichen viele Bindungen zur Zahnoberfläche. |
| HEMA Hydroxyethylmethacrylat | Hydrophiles, monofunktionales Methacrylat | Verstärkung der Benetzung von polaren/anorganischen und feuchten Oberflächen und Unterstützung der Penetration in die mit Dentinflüssigkeit gefüllten Dentintubuli. |
| Bis-GMA Bisphenol A glycidylmethacrylat | Hydrophiles / hydrophobes vernetzendes Dimethacrylat | Verbesserung der Kompatibilität zwischen hydrophilem HEMA und hydrophobem D3MA in Gegenwart von Wasser. Verhinderung einer Phasentrennung des Adhäsivs. Verantwortlich für eine hohe mechanische Festigkeit und Widerstandsfähigkeit der Adhäsivschicht. |
| D3MA Decandiol dimethacrylat | Hydrophobes vernetzendes Dimethacrylat | Ermöglicht eine Reaktion des Adhäsivs mit den weniger polaren Monomeren des Composite-Füllungs- bzw. Befestigungsmaterials. |

Tabelle 5: Art und Aufgabe der in Adhese Universal enthaltenen Monomere

In der folgenden Tabelle 6 ist der Verbundmechanismus detaillierter beschrieben, d.h. wie durch ausgewogene Komponenten innerhalb der Formulierung die verschiedenen Schritte/Bedingungen zur Erzielung von Haftung geschaffen werden. Die hier dargestellte Funktionsweise bezieht auf sich die Anwendung von Adhese Universal ohne Ätzel, d.h. in der **Self-Etch-Technik**.

Zur besseren Übersicht wurde die Tabelle analog der in Tabelle 4 aufgeführten Arbeitsschritte strukturiert. Es sollte jedoch betont werden, dass die Schritte simultan und nicht nacheinander erfolgen, da es sich um ein Einschritt-System mit nur einer Flüssigkeit handelt.

| Arbeitsschritt | Zweck des Schritts | Adhese Universal |
|-------------------------|---|--|
| Schmelz-Konditionierung | Stabile Haftung durch eine fest an die Schmelzoberfläche gebundene Monomerschicht | <ul style="list-style-type: none"> Hydrophile MDP-Phosphatgruppe sorgt für eine milde Demineralisierung und Bildung von stabilen Calciumsalzen sowie für einen chemischen Verbund zu Hydroxylapatit. Einmassieren des Adhäsivs für 20 s maximiert den Kontakt der Säuremonomere (MDP und MCAP) mit der Schmelzoberfläche. Zuverlässige Benetzung des Hydroxylapatits durch Synergieeffekte zwischen MDP und MCAP führt zu höherer Haftkraft auf Schmelz. Ausfällen von MDP als Calciumsalz sorgt für einen stabilen Verbund zu Hydroxylapatit und eine optimale Randdichtigkeit. |
| Dentitinkonditionierung | Hybridisierung und Stabilisierung des Smear Layers Schaffung eines | <ul style="list-style-type: none"> Hydrophile Phosphorsäuregruppen des MDP sorgen für eine milde Ätzwirkung und Demineralisierung sowie die Bildung eines chemischen Verbundes zu Hydroxylapatit. |

| | | |
|-----------|--|---|
| | stabilen Verbundes über eine fest mit der Dentinfläche verbundene Monomerschicht | <ul style="list-style-type: none"> • Einmassieren des Adhäsivs für 20 s maximiert den Kontakt der Säuremonomere (MDP und MCAP) mit der Dentinoberfläche. • Infiltration von trockenem und feuchtem Dentin wird durch die hydrophilen Eigenschaften von HEMA erleichtert und gleichzeitig das Dentin aufgrund der milden Ätzwirkung nicht übermäßig demineralisiert. |
| Benetzung | Infiltration des Kollagens mit hydrophilem Kunststoff | <ul style="list-style-type: none"> • Infiltration der hydrophilen Flächen wird durch die hydrophilen Monomere erleichtert. |
| Verbund | Schaffung eines Übergangs von hydrophiler Zahnschicht und hydrophobem Composite | <ul style="list-style-type: none"> • Schaffung des Übergangs zwischen hydrophilem Substrat (Zahnschicht) und hydrophobem Restaurationsmaterial wird durch die hydrophilen/hydrophoben Eigenschaften der Kombination HEMA/BisGMA/D3MA erleichtert. |

Tabelle 6: Wirkungsweise von Adhese Universal bei der Verwendung als universelles Einschritt-Adhäsiv

6.2.2 Desensibilisierung

Dentinhypersensibilität ist ein häufig auftretendes Phänomen, das speziell nach restaurativen Behandlungen auftritt. Die gängige Lehrmeinung ist, dass Hypersensibilität durch Flüssigkeitsbewegungen innerhalb der Dentintubuli als Reaktion auf Stimulanzen wie Kälte, Wärme oder die osmotische Wirkung bestimmter Substanzen wie z.B. Zucker hervorgerufen wird.²⁷

Die in Adhese Universal enthaltenen Lösungsmittel (Wasser / Ethanol) und Mikrofüller verstärken die Penetration des Adhäsivs in die Dentintubuli und sorgen für ausgeprägte „resin tags“ und daher für eine verlässliche Versiegelung des Dentins. Durch die enthaltenen sauren Monomere kommt es zu einer Koagulation der Proteine in der Dentinflüssigkeit, was ebenfalls zur mechanischen Versiegelung der Tubuli beiträgt. Flüssigkeitsbewegungen und die damit verbundenen postoperativen Sensibilitäten werden vermindert. Die Kombination aus thixotropem Siliziumdioxid und Polymer mit funktionellen Carbonsäure-Gruppen sorgt für einen homogenen Adhäsiv-Film. Während des 20-sekündigen Einmassierens wird das Adhäsiv gleichmässig auf dem Dentin verteilt und kann in die Dentintubuli eindringen. Diffusion durch den Smear Layer verbessert ebenfalls die mechanische Versiegelung und trägt zur Desensibilisierung bei (vgl. Abschnitt 8.8 Adhese Universal – Dentinpenetration: Haftung und Desensibilisierung).

6.2.3 Adhäsive Befestigung von indirekten Restaurationen

Die Dicke der Adhäsivschicht kann bei der Eingliederung von indirekten Restaurationen ein Problem darstellen. Adhese Universal wird nach der Applikation immer mit Druckluft zu einer dünnen Schicht verblasen. Dies ist aufgrund der thixotropen Siliziumdioxid-Füller möglich. Vor dem Einsetzen der indirekten Restaurationen wird das Adhäsiv lichtgehärtet. Ein zusätzlicher Aktivator für die Dualhärtung ist daher nicht nötig. Durch die Aushärtung werden die Säuremonomere immobilisiert. Dies ist die Grundlage für eine gute Polymerisation im Bereich der Grenzfläche zwischen Adhäsiv und Befestigungscomposite auch ohne separaten Aktivator (siehe Abschnitt 8.7 für Untersuchungen mit indirekten Restaurationen).

Aufgrund der milden Ätzwirkung ist Adhese Universal mit den Initiatorsystemen von licht- und dualhärtenden Befestigungscomposites sowie licht-, dual- und selbsthärtenden Stumpfaufbaumaterialien auf Composite-Basis kompatibel.

6.3 Effiziente Dosierung mit dem VivaPen®

Adhese Universal wird im VivaPen® angeboten, mit dem das Adhäsiv exakt dosiert und einfach und schnell im Mund appliziert werden kann. Eine effiziente Arbeitsweise und minimaler Materialverlust sind somit gewährleistet. Der VivaPen besitzt einen leicht zu bedienenden Klickmechanismus, mit dem das Adhäsiv mit nur einer Hand gezielt dort platziert werden kann, wo es benötigt wird. Nur wenige Klicks sind nötig, um die beflockte Spitze mit ausreichend Adhäsiv für eine Anwendung zu benetzen. Durch die Füllstandsanzeige am hinteren Ende des VivaPens kann die verbleibende Materialmenge kontrolliert werden.



Abb. 4: VivaPen mit Adhese Universal und beflockten Aufsteckkanülen

Der VivaPen ist so konzipiert, dass er Lösungsmittelverlust durch Verdunstung möglichst gering hält. Dies kann bei Adhäsiven in Flaschen ein Problem darstellen, da hier ein höherer Lösungsmittelverlust unvermeidbar ist. Der VivaPen hält das Adhäsiv dicht verschlossen, sorgt für eine maximale Menge an Anwendungen pro ml Inhalt und eine gleichbleibende Konsistenz des Adhäsivs. Eine von Berndt & Partner durchgeführte Studie, die die Effizienz des VivaPens mit der von anderen Adhäsiv-Darreichungsformen verglich, zeigte, dass der VivaPen ca. 190 Einzelzahnanwendungen ermöglicht.

Benchmarking: VivaPen Universal Evaluation, Berndt + Partner, 2013

Die Verpackungingenieure von Berndt + Partner untersuchten die Effizienz und den Materialverlust der VivaPen-Darreichungsform bei repräsentativer klinischer Anwendung im Vergleich zu konventionellen Flaschen.

Methode: Adhese Universal im VivaPen wurde mit Scotchbond Universal/3M ESPE, Optibond XTR/Kerr, All-Bond Universal/Bisco, Prime & Bond Elect/Dentsply and iBond Self Etch/Heraeus Kulzer – alle in Flaschen – verglichen.

Zur Simulation einer repräsentativen Anwendung wurden die Produkte fünf Mal täglich angewendet. Dazu wurde ein Plastikmodell mit einer Klasse-I-Standardkavität verwendet. Mit einer Präzisionswaage, die eine Genauigkeit von 0,0001g aufwies (Kern ABJ 120-4M), wurden die Flaschen/der VivaPen, die Applikatoren, Tüpfelformen und das Kavitätenmodell jeweils vor und nach der Adhäsivapplikation abgewogen. Bei Adhese Universal wurde der Klickmechanismus des VivaPen pro Anwendung dreimal betätigt. Von den Flaschenadhäsiven Scotchbond Universal/3M ESPE, All-Bond Universal/Bisco, Prime & Bond Elect/Dentsply und iBond Self Etch/Heraeus Kulzer wurde jeweils ein Tropfen dosiert. Beim Flaschensystem Optibond XTR/Kerr 2 wurde jeweils 1 Tropfen Primer und 1 Tropfen Adhäsiv pro Anwendung verwendet. Gemäss Herstelleranweisungen wurden zur Vordosierung aller Flaschenadhäsive Tüpfelformen verwendet (zwei separate Formen bei Optibond XTR). „Nützbare Adhäsiv“ bezieht sich auf das abgewogene Material, das tatsächlich in die Kavität appliziert wurde, und „Materialabfall“ auf das abgewogene Material, das an Applikatoren, auf der Tüpfelplatte usw. verblieb.

Ergebnisse:

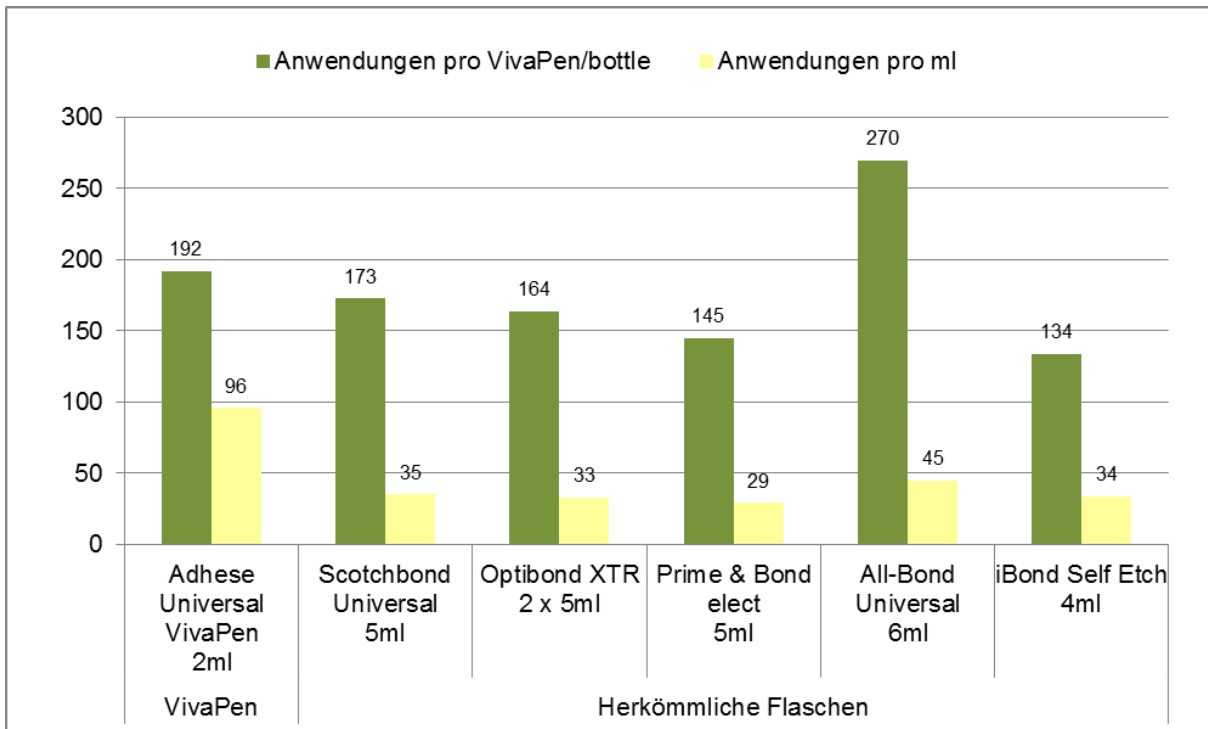


Abb. 5: Anzahl der Anwendungen pro VivaPen/Flasche und ml Inhalt von verschiedenen „Universal-Adhäsiven“. Berndt & Partner 2013

Der VivaPen ermöglichte die meisten Anwendungen – 96 pro ml und daher über 190 pro VivaPen mit 2 ml Füllmenge – also fast drei Mal mehr im Vergleich zu konventionellen Flaschen. Dementsprechend war der Materialverlust bei VivaPen am geringsten.

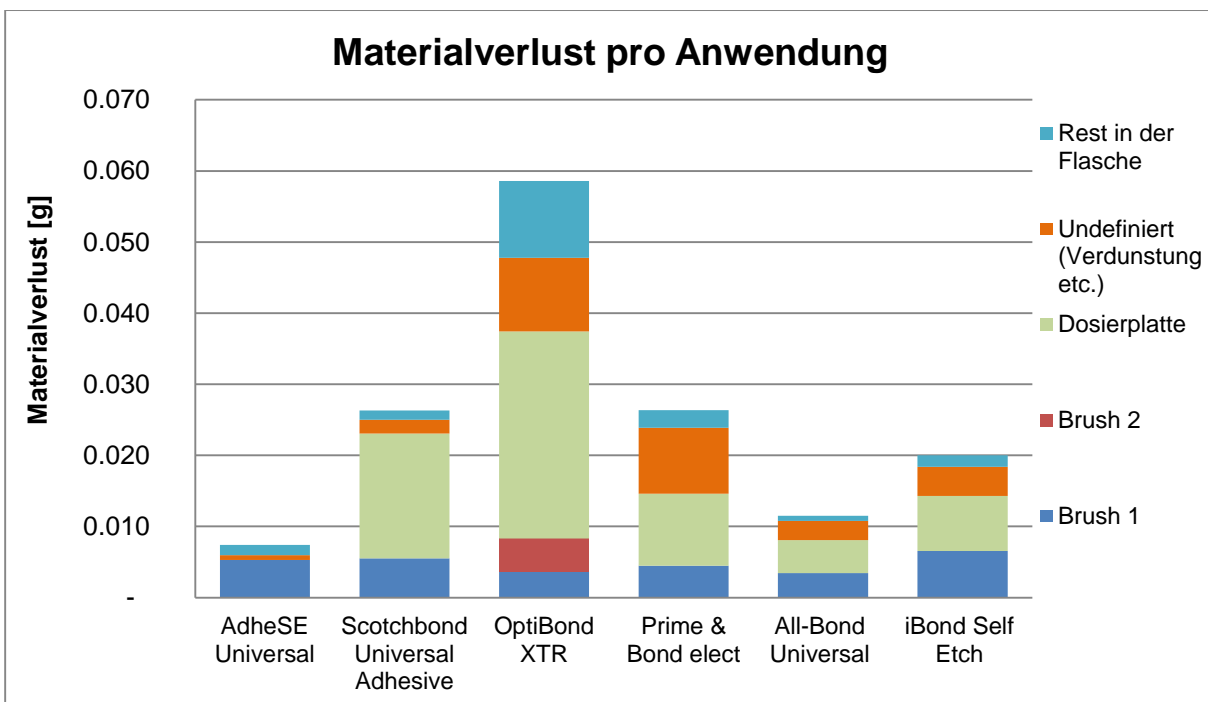


Abb. 6: Materialverlust verschiedener Universaladhäsive. Berndt & Partner 2013.

Präzise Dosierung mithilfe des Klickmechanismus: Der vergleichsweise geringe Materialverlust beim VivaPen ist zum grössten Teil darauf zurückzuführen, dass das Adhäsiv direkt im Mund appliziert wird. Eine Vordosierung in Tüpfelformen und die entsprechende Entsorgung des Restmaterials ist nicht nötig.

Der Klickmechanismus und Sicherheitsverschluss des VivaPen verhindern zudem andere Arten von Materialverlust z.B. durch Verdunstung, Verkrustung des Verschlusses oder ungewolltes Austreten etc.

6.4 “Universalität” von Adhese Universal

Durch seine in den vorangegangenen Kapiteln detailliert beschriebene spezielle Zusammensetzung ist Adhese Universal für direkte und indirekte Restaurationen und alle Ätztechniken anwendbar:

Eignung für direkte und indirekte Restaurationen: Die geringe Schichtdicke nach dem Verblasen und Aushärten des Adhäsivs verhindert eine Beeinträchtigung der Passgenauigkeit von indirekten Restaurationen. Das lichtgehärtete Adhäsiv copolymerisiert mit dem Composite-Füllungsmaterial, Stumpfaufbaumaterial oder Befestigungscomposite und ist sehr anwendertolerant.

Kompatibilität mit allen Ätztechniken: Adhäsive müssen hydrophile und hydrophobe Eigenschaften besitzen, um einen Verbund zwischen Zahnschmelze (hydrophil) und Füllungsmaterial (hydrophob) herstellen zu können. Adhese Universal besitzt eine ausgewogene, milde Ätzwirkung, die für eine verlässliche Konditionierung von ungeätzt und geätzt Zahnschmelze sorgt. Durch den abgestimmten Gehalt an hydrophilen und hydrophoben Monomeren ist Adhese Universal sehr tolerant gegenüber feuchtem Dentin und daher für alle Ätztechniken anwendbar.

7. Technische Daten

Adhese Universal

| <u>Standard - Zusammensetzung</u> | (in Gew. %) |
|--|-------------|
| Methacrylate | 67.0 |
| Wasser, Ethanol | 25.0 |
| Hochdisperses Siliziumdioxid | 4.0 |
| Initiatoren und Stabilisatoren | 4.0 |

Physikalische Eigenschaften:

Scherhaftwerte

bei Verwendung in Kombination mit:

- direkten Füllungs-Composites
- lichthärtenden Befestigungs-Composites
- lichthärtenden Stumpfaufbau-Composites

| | | Prüfmethode | Spezifikation | Beispielwerte** |
|---------|-----|-------------|---------------|-----------------|
| Dentin | MPa | ISO 29022 | ≥ 25* | 33.1 ± 3.9 |
| Schmelz | MPa | ISO 29022 | ≥ 17* | 21.5 ± 3.3 |

* 4 von 5 Prüfkörpern

** Self-Etch-Modus in Kombination mit Tetric EvoCeram (lichthärtend)

in Kombination mit:

- selbsthärtenden Stumpfaufbau-Composites

| | | Prüfmethode | Spezifikation | Beispielwerte*** |
|---------|-----|-------------|---------------|------------------|
| Dentin | MPa | ISO 29022 | ≥ 25* | 28.0 ± 5.6 |
| Schmelz | MPa | ISO 29022 | ≥ 14* | 29.8 ± 3.7 |

* 4 von 5 Prüfkörpern

*** Self-Etch-Modus in Kombination mit MultiCore Flow (selbsthärtend)

8. In Vitro Untersuchungen

Im Verlauf der Entwicklung eines Dentalprodukts werden zahlreiche *in vitro* Tests durchgeführt. Obwohl diese das klinische Verhalten nicht wirklich vorhersagen können, liefern sie doch wertvolle Hinweise, vor allem im Hinblick auf die Toleranz gegenüber Abweichungen im Handling. Bei der Entwicklung eines Dentaladhäsivs stehen vor allem die Parameter Haftkraft und Randqualität im Vordergrund. Tests werden hauptsächlich auf extrahierten menschlichen Zähnen oder Rinderzähnen durchgeführt, meist in Kombination mit dem direkten/indirekten Restaurationsmaterial, zu dem eine Haftung erzielt werden soll.

8.1 Messung der Haftkraft von Adhäsiven

Zur Messung der Scherhaftwerte von Adhäsiven werden meist Composite-Proben mit dem entsprechenden Adhäsiv auf ein Substrat geklebt und parallel zur Klebefläche abgeschert. Zur Ermittlung der Mikrozugfestigkeit wird die Klebefläche im rechten Winkel belastet.

Die im Jahr 2013 veröffentlichte ISO-Norm 29022 - Zahnheilkunde - Haftfähigkeit beschreibt eine Methode zur Ermittlung des Scherhaftwertes von direkten Restaurationen auf natürlicher Zahnschmelze.

Die Prüfanordnung zur Ermittlung der Scherhaftwerte von direkten und indirekten Restaurationen ist im untenstehenden Diagramm schematisch dargestellt.

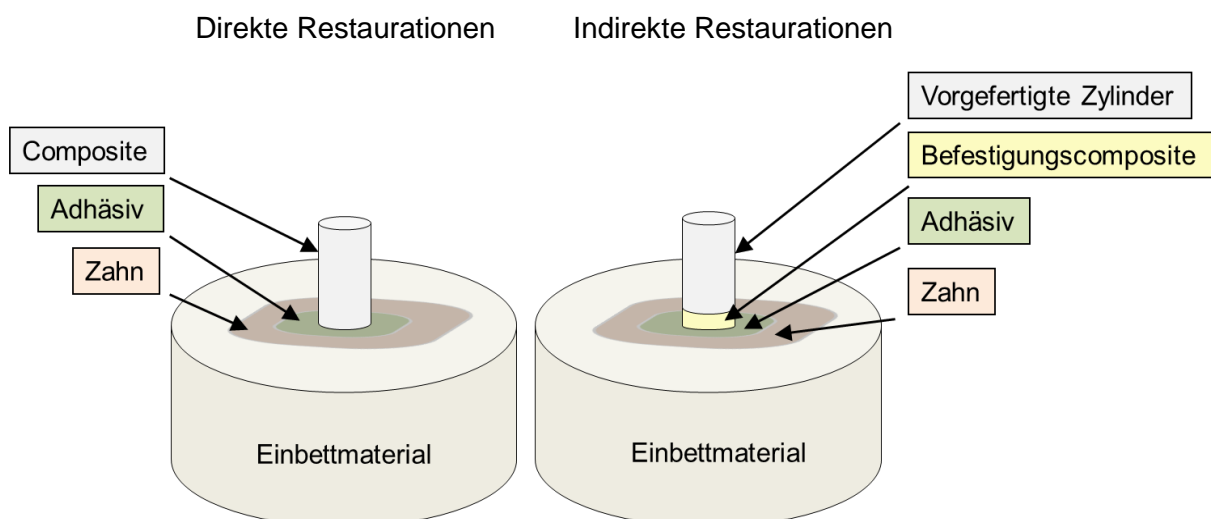


Abb. 7: Schematische Darstellung der Prüfanordnung für den Scherhafttest mit direkten (links) und indirekten (rechts) Restaurationen

Die verschiedenen Methoden der Scherhaftprüfung beleuchten adhäsive Eigenschaften aus unterschiedlichen Perspektiven und sollten am besten gemeinsam zum Einsatz kommen, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen. Die erhaltenen absoluten Werte hängen von der Testmethode ab und sind nur vergleichbar, wenn die verwendeten Proben im selben Labor hergestellt wurden und dieselbe Prüfmethode angewandt wurde.

8.2 Adhese Universal und direkte Füllungsmaterialien

8.2.1 Haftkraft auf Schmelz und Dentin

Haftkraft zweier Adhäsive

The Dental Advisor Investigation. R. Yapp, J. M. Powers. 2013

Methode: Zwei direkte Composite-Füllungsmaterialien wurden einer Scherhaftprüfung unterzogen. Extrahierte menschliche dritte Molaren, die vorgängig in einer Natriumazid- und dann in einer Kochsalz-Lösung gelagert worden waren, wurden in Acrylharz eingebettet und mit SiC-Papier der Körnung 600 bearbeitet, um beschliffene Schmelz- und Dentinflächen für die Haftprüfung zu erhalten. Die Haftvermittler – Adhese Universal und Scotchbond Universal/3M ESPE – wurden auf dieses Substrat aufgetragen und gemäss Herstelleranweisung lichtgehärtet. TPH Spectra/Dentsply bzw. Tetric EvoCeram Composite wurde anschliessend in einer 2.38 mm -Form gemäss ISO 29022 auf die Adhäsivschicht appliziert. Der Composite-Zylinder wurde dann gemäss Herstelleranweisung in der Form lichtgehärtet. Die Scherhaftprüfung erfolgte sofort nach Fertigstellung der Probekörper (nach 6,5 Minuten) in einer Universalprüfmaschine (Instron 5866) bei einer Traversengeschwindigkeit von 1mm/min.

Ergebnisse: Die untenstehende Abbildung zeigt die von einem Tester gemessenen Haftwerte auf Dentin nach 6,5 Minuten bei Verwendung von Adhese Universal und Scotchbond Universal/3M ESPE in der Self-Etch-Technik in Kombination mit den zwei Composites Tetric EvoCeram und TPH Spectra/Dentsply.

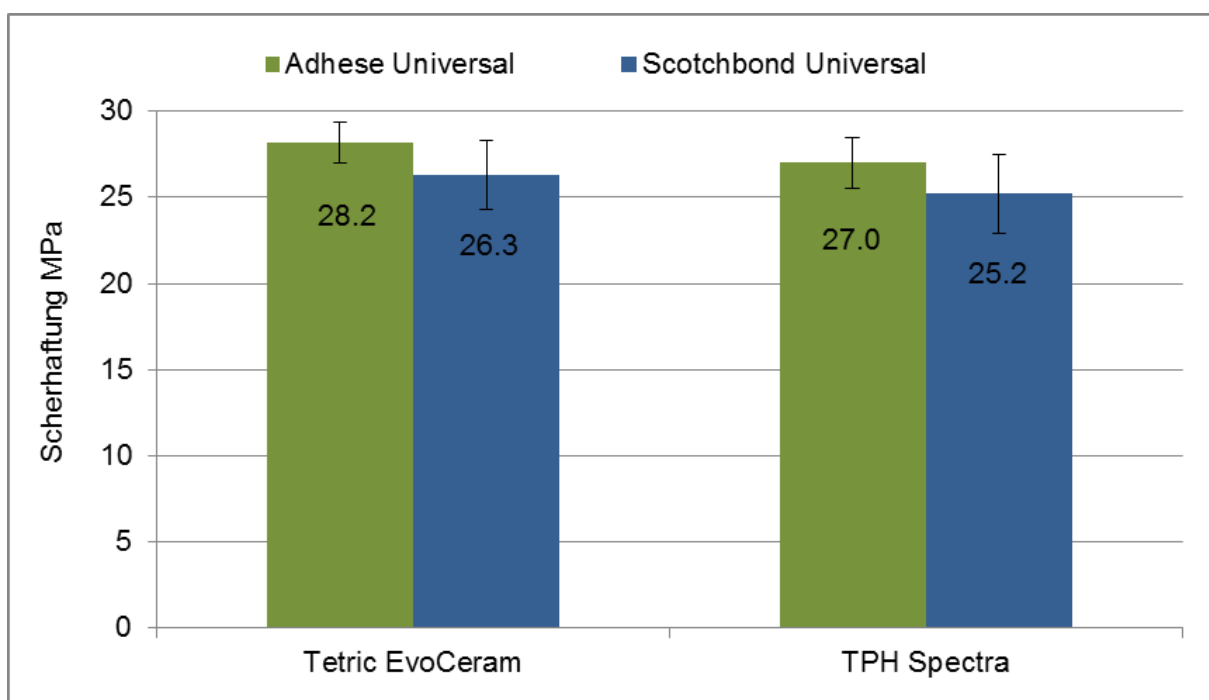


Abb. 8: Haftwerte auf Dentin nach 6,5 Minuten von Adhese Universal und Scotchbond Universal in der Self-Etch-Technik in Kombination mit Tetric EvoCeram und TPH Spectra. *The Dental Advisor*, 2013

Schlussfolgerung: Adhese Universal und Scotchbond Universal zeigten vergleichbare Haftwerte in der direkten Füllungstherapie sofort nach dem Legen der Füllung.

Haftkraft von Adhese Universal und Scotchbond Universal unmittelbar nach Applikation und nach 24 Stunden – Self-Etch-Technik

F&E (Ivoclar Vivadent, FL, und Amherst Test Center USA), 2013

Ziel war es, die Anwendertoleranz von zwei Universaladhäsiven mittels Scherhaftprüfung mit zu ermitteln. Adhese Universal und Scotchbond Universal/3M ESPE wurden in Kombination mit dem Composite Tetric EvoCeram Bulk Fill unmittelbar nach der Applikation (nach 60 Sekunden) auf Dentin und nach 24 Stunden sowohl auf Schmelz als auch Dentin gemessen. Die Untersuchungen wurden in der F&E von Ivoclar Vivadent in Schaan (Liechtenstein) sowie im Test Center in Amherst (USA) durchgeführt. In Amherst wurden menschliche Zähne verwendet, in Schaan Rinderzähne. Die Grafik unten zeigt das ähnliche Muster der in Schaan und Amherst erzielten Ergebnisse.

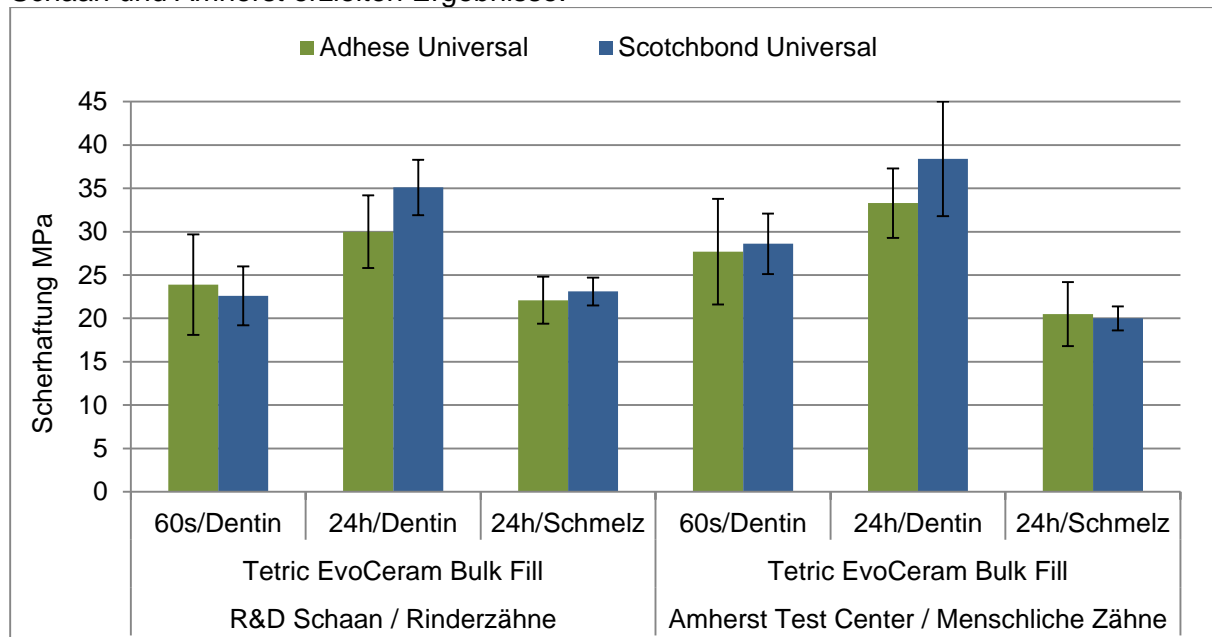


Abb. 9: Scherhaftwerte von Adhese Universal und Scotchbond Universal in Kombination mit Tetric EvoCeram Bulk Fill auf Schmelz und Dentin in verschiedenen Testlabors. F&E Schaan/Test Center Amherst, 2013

Schlussfolgerung: Adhese Universal und Scotchbond Universal zeigten in Kombination mit Tetric EvoCeram Bulk Fill sowohl nach 60 Sekunden als auch nach 24 Stunden vergleichbare Ergebnisse, unabhängig vom Substrat und unabhängig vom Testlabor.

Haftung von Adhese Universal und Scotchbond Universal in der Self-Etch-Technik

Amherst Test Center, 2013

Dieselbe Scherhaftprüfung wurde mit den obengenannten Produkten von vier verschiedenen Anwendern am Ivoclar Vivadent Test Center in Amherst (USA) durchgeführt, um die Anwendertoleranz noch genauer zu untersuchen. Für alle Tests wurde menschliches Dentin/menschlicher Schmelz verwendet. Mit beiden Produkten wurden vergleichbare Haftwerte erzielt. Jedoch waren die mit Adhese Universal erzielten Haftwerte auf Schmelz nach 24 Stunden bei den Anwendern 1, 2 und 3 beträchtlich und durchgängig höher. Anwender 4 konnte aus Zeitmangel leider keine Tests mit Scotchbond Universal auf Schmelz durchführen

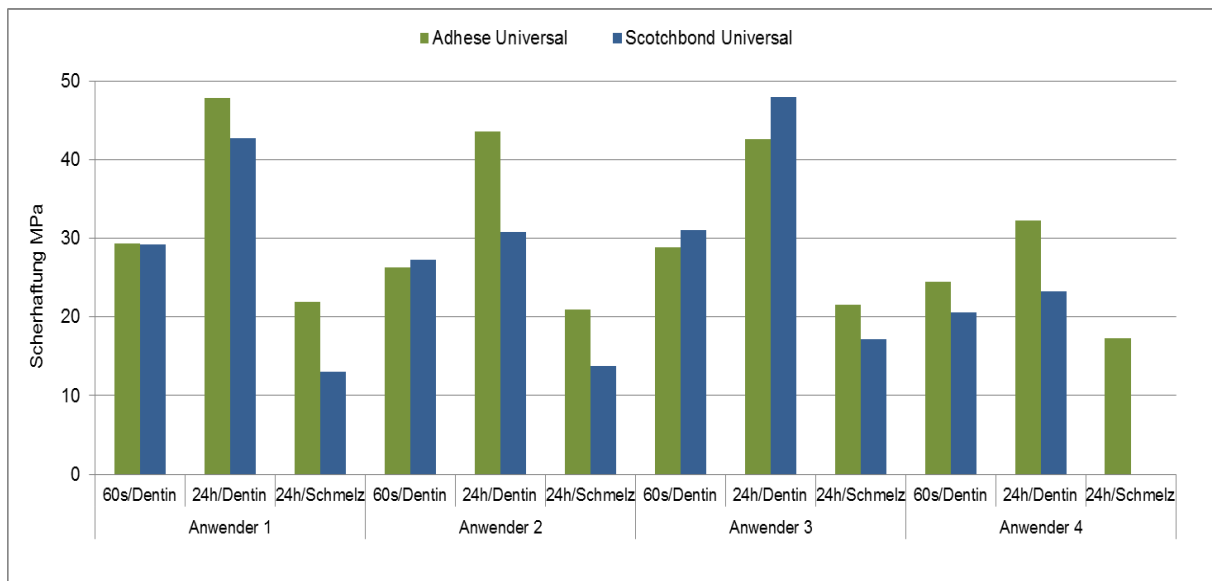


Abb. 10: Scherhaftwerte nach der Anwendung von Adhese Universal und Scotchbond Universal von vier verschiedenen Personen auf menschlichem Dentin. *Amherst Test Center, 2013*

Schlussfolgerung: Vergleichbare Haftwerte wurden insbesondere von den Anwendern 1, 2 und 3 erzielt.

Einfluss des Anwenders auf die Scherhaftung von Adhese Universal und Scotchbond Universal

F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2014

Neun interne Zahnärzte in Schaan führten mit Adhese Universal und Scotchbond Universal/3M ESPE einen Anwendertest auf Rinderdentin durch, mit ähnlichen Ergebnissen. Jeder Zahnarzt stellte 7 Proben pro Adhäsiv her. Die Haftwerte wurden ermittelt und die beiden niedrigsten Werte jedes Adhäsivs jeweils gestrichen (n=5).

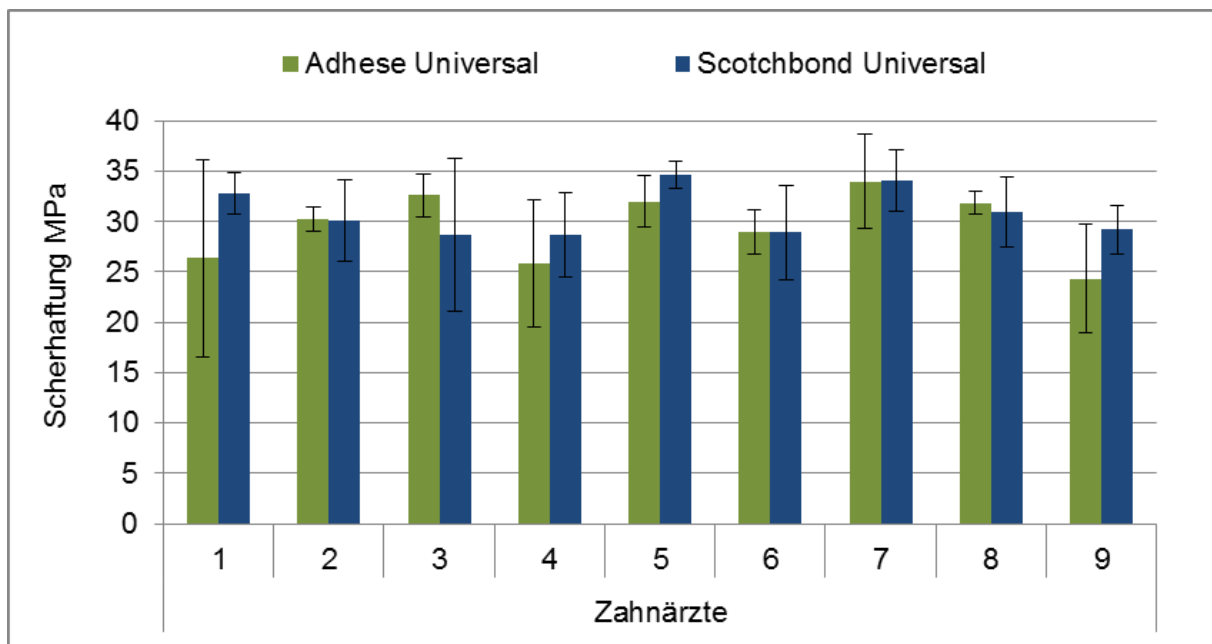


Abb. 11: Die mit Adhese Universal und Scotchbond Universal von neun Zahnärzten auf Rinderdentin erzielten Haftwerte. *F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2014*

Schlussfolgerung: Mit beiden Adhäsiven wurden von allen Zahnärzten vergleichbare Werte erzielt, was für eine hohe Technik-/Anwendertoleranz der Produkte spricht.

Scherhaftung vor und nach Temperaturwechselbelastung

F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2014

In dieser Untersuchung wurde die Haftung von fünf Adhäsiven auf dem Schmelz und Dentin gemessen. Zur künstlichen Alterung wurden die Probekörper Temperaturwechselbelastungen (Thermocycling, TC) unterworfen.

Methode: Die Adhäsive wurden in der Total-Etch- oder Self-Etch-Technik auf das präparierte Rinderzahnsubstrat appliziert. Alle Materialien wurden gemäss den Herstellerangaben verwendet. Probekörperherstellung und Messungen erfolgten gemäss ISO 29022. Die Scherhaftung wurde vor und nach 10'000 Temperaturwechselbelastungen (5 / 55°C) gemessen.

Ergebnisse:

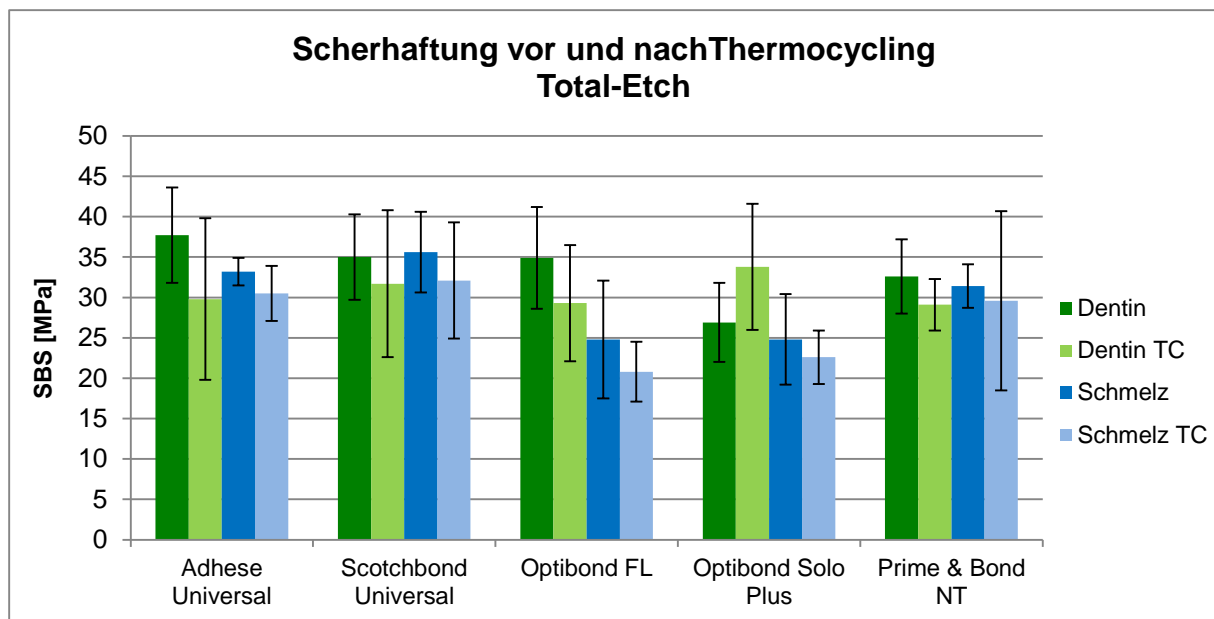


Abb. 12: Scherhaftung von Universal-Adhäsiven in der Total-Etch-Technik auf Schmelz und Dentin vor und nach Thermocycling. F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2014

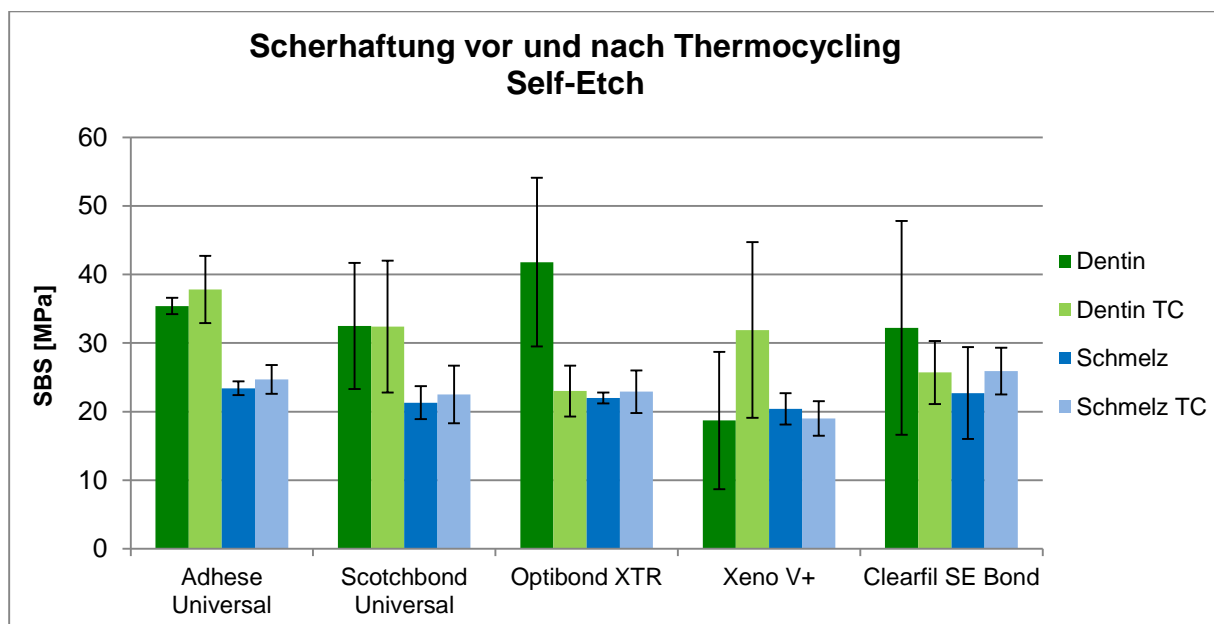


Abb. 13: Scherhaftung von Universal-Adhäsiven in Kombination mit der Self-Etch-Technik auf Schmelz und Dentin vor und nach Thermocycling. F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2014

Schlussfolgerung:

Bei beiden Ätzverfahren wurde mit Adhese Universal eine hohe Verbundstärke erzielt, die auch nach Probenalterung durch Thermocycling stabil blieb.

Mikrozughaftung von Adhese Universal auf Dentin

B. Van Meerbeek, Department of Oral Health Sciences, KU Leuven, Belgien, 2013 – 2014 und ADM 2014

Das Ziel dieser Studie war, die Auswirkung des Schmierschicht, des Hybridisierungsmodus, des Adhäsivs und der Alterung auf die Mikrozughaftung (micro tensile bond strength, μ TBS) am menschlichen Dentin zu untersuchen.

Von drei Adhäsiven wurde die Mikrozughaftung vor und nach der Alterung gemessen: Adhese Universal, Scotchbond Universal/3M ESPE und das selbstätzende Zweischrittadhäsiv Clearfil SE Bond/Kuraray als Kontrolle. Bei den Tests kamen die Self-Etch und die Total-Etch-Technik (Testparameter „Hybridisierungsmodus“) gemäss Gebrauchsinformation zum Einsatz. Die Zähne wurden entweder mit einem Diamantbohrer oder mit SiC-Papier beschliffen (Testparameter „Smear Layer“), um Unterschiede bei den Präparationsmethoden zu berücksichtigen. Abbildung 14 zeigt die Ergebnisse auf flachen Dentinflächen mit klinisch relevanter Schmierschicht. Diese wurden mit einem „Micro-Specimen Former“ erzeugt, der mit einem Diamantbohrer mittlerer Körnung (107 μ m) bestückt war („bur-cut“). Als Composite wurde Tetric EvoCeram Bulk Fill verwendet. Pro Adhäsiv wurden zehn Proben erstellt. Dazu wurden die Zähne halbiert und je eine Hälfte in der Total-Etch-Technik bzw. der Self-Etch-Technik behandelt. Dann wurden die Proben eine Woche lang in Wasser bei 37°C gelagert und anschliessend einem Mikrozughaftungstest unterzogen. Zusätzlich wurden die Proben durch Wasserlagerung bei 37°C während 3 und 6 Monaten gealtert.

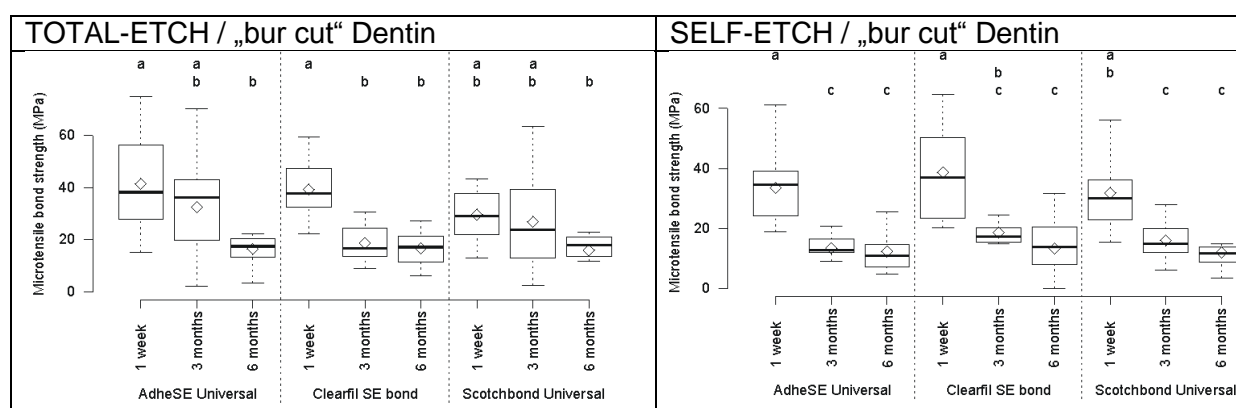


Abb. 14: Mikrozughaftung verschiedener Adhäsive auf bearbeitetem Dentin in Kombination mit dem Self-Etch- und Total-Etch-Verfahren. B. Van Meerbeek, KU Leuven, 2013 - 2014.

* (Clearfil SE Bond ist nicht für die Total-Etch-Technik indiziert)

Schlussfolgerung: Anfänglich zeigten sich keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den einzelnen Adhäsiven und Ätztechniken. Insgesamt hatten die Variablen „Hybridisierungsmodus“ ($p=0.0079$) und „Alterung“ ($p<0.0001$) eine signifikante Auswirkung auf die Haftung, jedoch nicht die Variablen „Smear Layer“ ($p=0.73$) und „Adhäsiv“ ($p=0.49$). Bei Adhese Universal und Scotchbond Universal war die Haftung bei der Total-Etch-Technik auf Dentin nach 6 Monaten signifikant höher als bei der Self-Etch-Technik ($p<0.05$).

Vergleich der Haftung mehrerer Adhäsive in der Self-Etch-* und Total-Etch-* Technik

The Dental Advisor Investigations. R. Yapp, J M. Powers, A. Baumann. 2013, und The Dental Advisor Vol. 31, Nr. 7, September 2014 (* 2 Einzelberichte)

Die Scherhaftung von sechs verschiedenen „Universal-Adhäsiven“ - Adhese Universal, Scotchbond Universal/3M ESPE, ALL-BOND Universal/Bisco, Prime & Bond Elect/Dentsply, Optibond XTR/Kerr und Peak Universal Bond/Ultradent - wurde in der Self-Etch- und der Total-Etch-Technik untersucht.

Methode: Extrahierte menschliche dritte Molaren wurden in Acrylharz eingebettet und mit SiC-Papier (Körnung 600) bearbeitet, um beschliffene Schmelz- und Dentinflächen für die Haftprüfung zu erhalten. Der Schmelz wurde wie in der Gebrauchsinformation des Ätzmittels angegeben mit 37%iger Phosphorsäure geätzt und mit Wasser gespült. Dann wurde das Adhäsiv gemäss Herstelleranweisung appliziert und ausgehärtet. Die Self-Etch-Technik wurde sowohl auf Dentin als auch auf Schmelz getestet – dazu wurde das Adhäsiv direkt auf das Substrat aufgetragen und gemäss Gebrauchsinformation lichtgehärtet. TPH Spectra/Dentsply bzw. Tetric EvoCeram Composite wurde anschliessend in einer 2.38 mm Form gemäss ISO 29022 auf die Adhäsivschicht appliziert. Der Composite-Zylinder wurde dann gemäss Herstelleranweisung in der Form lichtgehärtet. Nach Wasserlagerung für 24 Stunden bei 37°C wurden die Proben in einer Universalprüfmaschine (Instron 5866) bei einer Traversengeschwindigkeit von 1 mm/min einer Scherhaftprüfung unterzogen.

Ergebnisse: Die hier gezeigten Ergebnisse fassen die Ergebnisse von Untersuchungen bei The Dental Advisor zusammen, die mit derselben, oben beschriebenen Methode erzielt wurden. Die Scherhaftwerte auf Dentin und Schmelz bei Verwendung der Self-Etch- und der Total-Etch-Technik sind in Abbildung 15 wiedergeben.

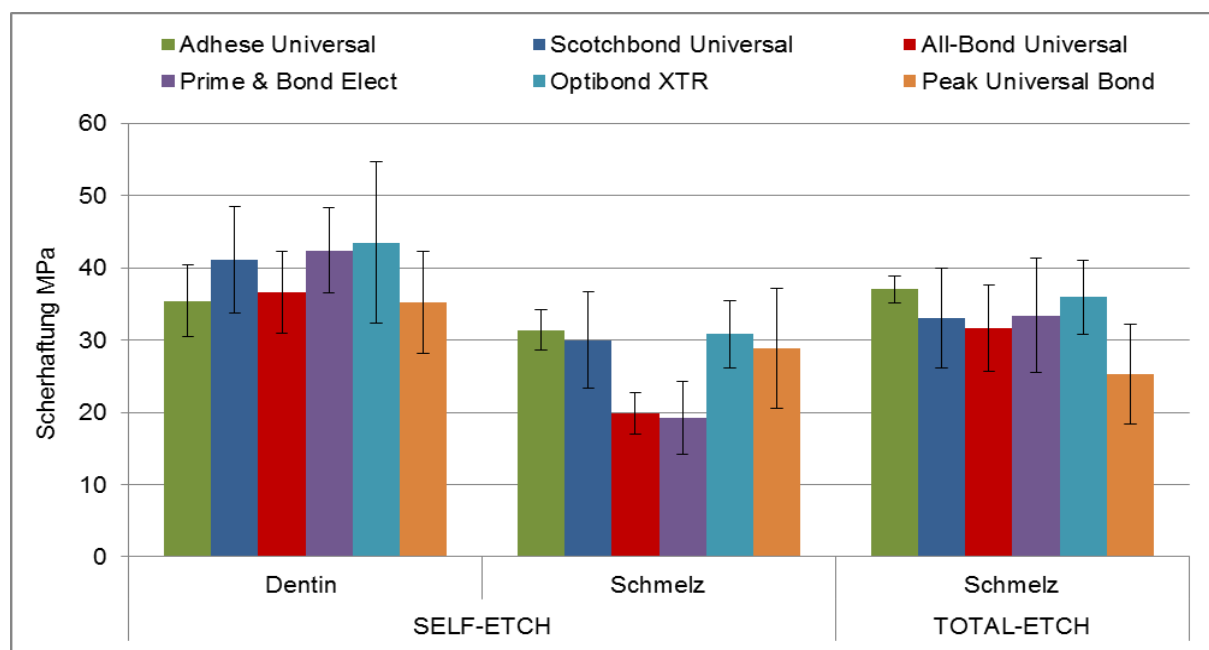


Abb. 15: Scherhaftwerte verschiedener „Universal-Adhäsive“ auf Dentin und Schmelz bei Verwendung der Self-Etch- und Total-Etch-Technik. *The Dental Advisor*, Juli 2013 und November 2013* und *The Dental Advisor* Vol. 31, Nr. 7 September 2014.

(* 2 Studienberichte: 1 SE und 1 TE) (Optibond XTR nicht für die Total-Etch-Technik indiziert)

Adhese Universal erzielte eine mittlere Scherhaftung von über 30 MPa auf allen Substraten und unter allen Bedingungen. Bei den anderen Produkten variierten die Haftwerte stärker. Der grösste Unterschied innerhalb einer Technik und eines Substrates wurde auf Schmelz in der Self-Etch-Technik zwischen Adhese Universal (31.4 MPa) und Prime & Bond Elect (19.2 MPa) beobachtet. Alle Produkte erzielten vergleichbare Werte auf Dentin, d.h. die Unterschiede waren statistisch nicht signifikant.

Schlussfolgerung: Adhese Universal erzielte eine hohe Haftkraft auf allen Substraten unabhängig von der Ätztechnik. Adhese Universal erreichte die höchsten Mittelwerte auf Schmelz, sowohl in der Self-Etch- als auch in der Total-Etch-Technik.

Scherhaftung auf Zahnschmelz – Verbund nach 24 Stunden

J. O. Burgess. Universität Alabama, Birmingham, USA, 2013

Bei dieser Studie wurden mit denselben Adhäsiven ähnliche Tests wie bei The Dental Advisor durchgeführt und die Haftkraft auf Schmelz und Dentin nach 24 Stunden bei Verwendung der Total-Etch- und der Self-Etch-Technik gemessen.

Methode: 240 frisch extrahierte menschliche Zähne wurden beschliffen, um eine glatte Klebefläche zu erhalten. Diese flachen Schmelz- und Dentinflächen wurden mit abrasiven Scheiben unterschiedlicher Körnung bearbeitet, wobei zum Schluss eine Körnung von 320 verwendet wurde, um eine standardisierte Oberfläche zu erhalten. Pro Technik wurden 60 Zähne verwendet, d.h. 12 pro Adhäsiv/Technik. Nach Applikation des Ätzgels (in der Total-Etch-Technik) und des Adhäsivs wurde ein Zylinder von 1,5 mm Durchmesser aus dem Composite Z100 von 3M ESPE auf die präparierte Zahnfläche aufgebracht und lichtgehärtet. Die Proben kamen dann für 24 Stunden in einen Inkubator bei 37°C. Anschliessend erfolgte die Scherhaftprüfung in einer Universalprüfmaschine (Instron 5565 MA USA) bei einer Traversengeschwindigkeit von 1mm/min. Peak Universal Bond wurde später auf genau dieselbe Art und Weise getestet. Allerdings wurden nur halb so viele Proben hergestellt.

Ergebnisse: Die Grafik unten zeigt die durchschnittlichen Scherhaftwerte pro Adhäsiv in jeder Ätztechnik. Die in dieser Testreihe erzielten Werte sind bei allen Produkten niedriger als die vom Dental Advisor gemessenen Werte. Es ist zu beachten, dass die Grösse der verwendeten Composite-Zylinder die gemessenen Werte beeinflusst. Die hier verwendeten Zylinder hatten einen Durchmesser von 1,5 mm, die von den Testern des Dental Advisor verwendeten einen Durchmesser von 2,38 mm.

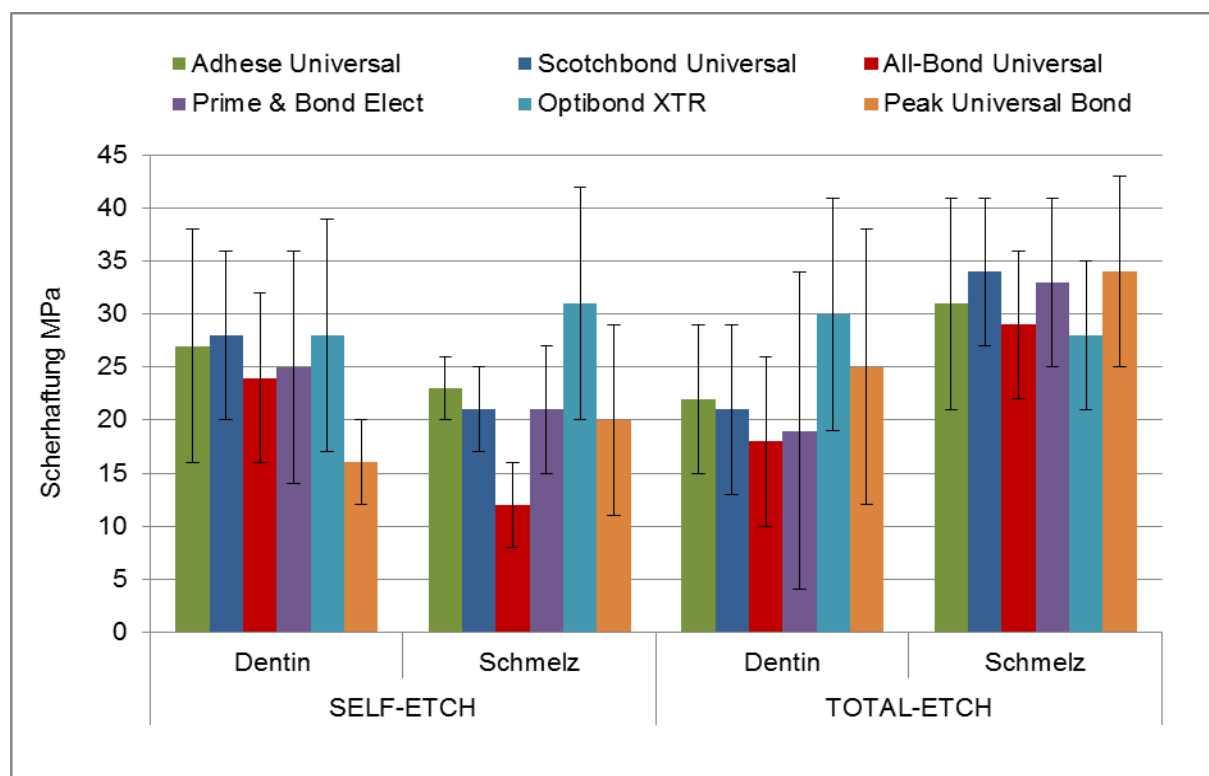


Abb. 16: Scherhaftwerte verschiedener „Universal-Adhäsive“ auf Dentin und Schmelz bei Verwendung der Self-Etch- und Total-Etch-Technik. J. Burgess. Universität Alabama, 2013

(Optibond XTR ist nicht für die Total-Etch-Technik indiziert. Peak Universal Bond wurde nachträglich mit reduzierter Probenzahl geprüft).

Schlussfolgerung: Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Adhäsiven in den verschiedenen Techniken (Self-Etch auf Dentin und Total-Etch auf Dentin und Schmelz) festgestellt. Die Gruppe "Self-Etch auf Schmelz" zeigte jedoch grössere Unterschiede. Adhese Universal wies die niedrigste Standardabweichung in der Self-Etch-Technik auf Schmelz auf, was als Indikator für eine verlässliche adhäsive Wirkung auf diesem ästhetisch sensiblen Substrat gelten kann.

Scherhaftprüfung mit Composite-Restaurationsmaterialien der Tetric-Familie – Self-Etch- und Total-Etch-Technik

F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2013

Adhese Universal wurde in Kombination mit den Ivoclar Vivadent Composites Tetric EvoFlow, Tetric EvoCeram und Tetric EvoCeram Bulk Fill untersucht. Wie die Grafik unten zeigt, wurden keine statistisch relevanten Unterschiede zwischen den Composites auf allen Substraten und mit allen Ätztechniken festgestellt. Die Composites erzielten vergleichbare Haftwerte auf Dentin unabhängig von der Ätztechnik. Wie zu erwarten war, waren die Haftwerte auf Schmelz etwas höher bei Verwendung der Total-Etch-Technik. Die unten angegeben Werte sind die unmittelbar nach dem Bonding gemessenen Werte.

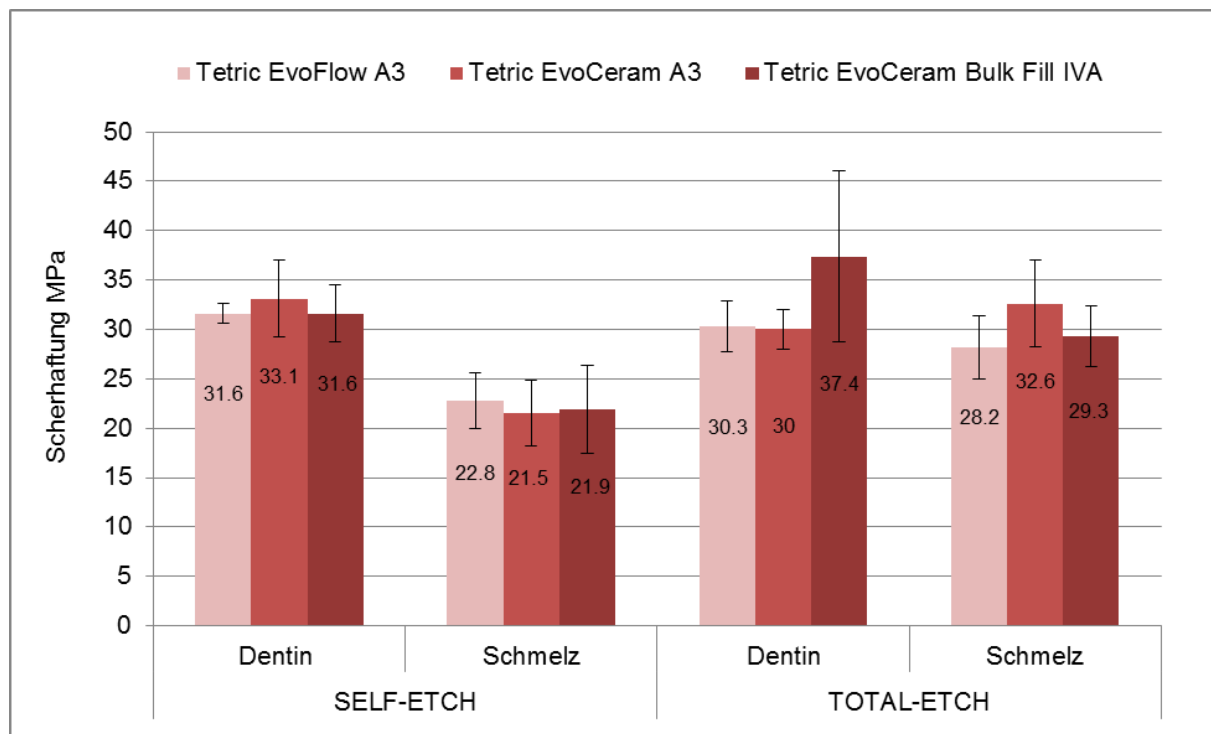


Abb. 17: Scherhaftung von Ivoclar Vivadent Composite-Materialien auf Dentin und Schmelz bei Verwendung der Self-Etch- und der Total-Etch-Technik in Kombination mit Adhese Universal. F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2013

Schlussfolgerung: Mit allen Composites - Tetric EvoFlow, Tetric EvoCeram und Tetric EvoCeram Bulk Fill – wurden auf Schmelz und Dentin mit beiden Ätztechniken ähnliche Werte erzielt.

Scherhaftung auf Schmelz und Dentin

M Irie, Okayama Universität, Japan, 2013

Irie untersuchte die Scherhaftung von Universal-Adhäsiven auf menschlichem Schmelz und Dentin in Kombination mit dem Composite Clearfil AP-X/Kuraray. Folgende Universal-Adhäsive wurden getestet: Adhese Universal, Scotchbond Universal/3M ESPE, Prime & Bond Elect/Dentsply, OptiBond XTR/Kerr, All-Bond Universal/Bisco und BeautiBond

Multi/Shofu. Nach der Applikation des Adhäsivs gemäss Herstellerangaben wurde eine Teflonform auf der Substratoberfläche fixiert und mit Composite gefüllt. Die Scherhaftwerte wurden unmittelbar nach der Lichthärtung sowie nach einem Tag Wasserlagerung bei 37°C ermittelt. Die Abbildung unten zeigt die Scherhaftwerte nach einem Tag Wasserlagerung.

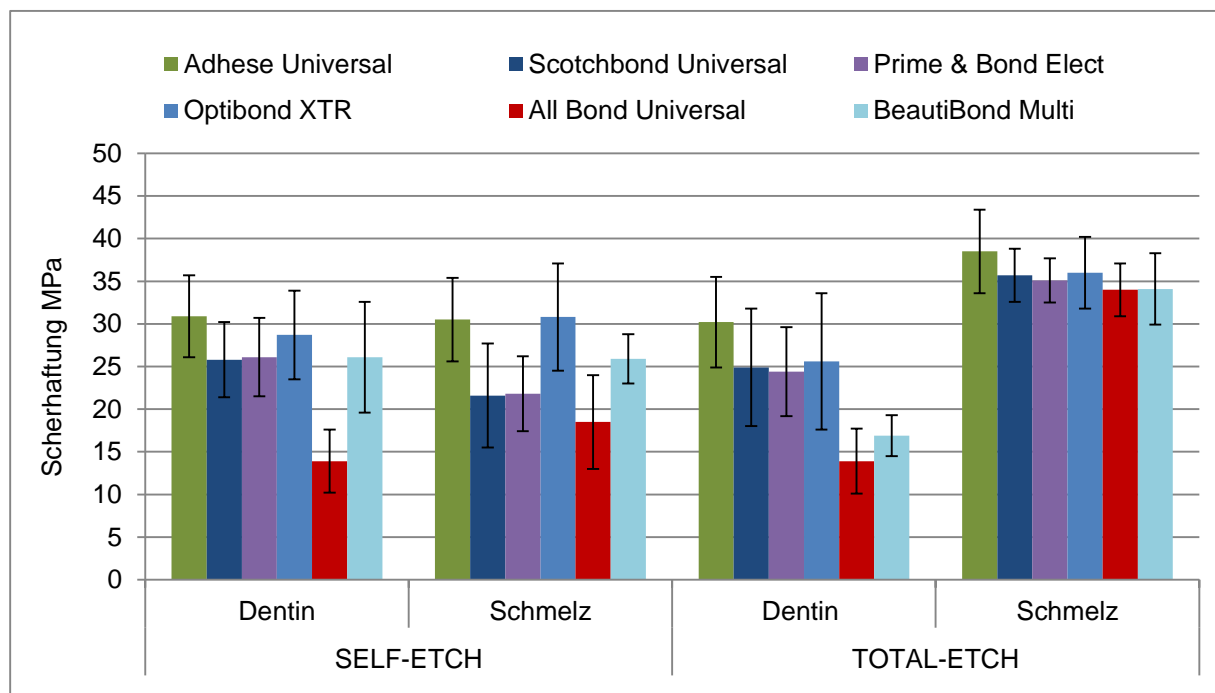


Abb. 18: Scherhaftwerte von Universal-Adhäsiven in Kombination mit der Self-Etch- und Total-Etch-Technik. *M Irie, Okayama Universität, 2013*

(Optibond XTR ist nicht für die Total-Etch-Technik indiziert.)

Schlussfolgerung: Adhese Universal zeigte die höchsten mittleren Haftwerte unabhängig von der verwendeten Ätztechnik (vergleichbar mit Optibond XTR auf Schmelz in der Self-Etch-Technik). All Bond Universal zeigte die niedrigsten Werte unter allen Bedingungen. Wie in den meisten Studien waren die Werte auf geätztem Schmelz bei Verwendung der Total-Etch-Technik bei allen Produkten am höchsten.

8.3 Haftung auf feuchtem und trockenem Dentin

Bei Übertrocknung des Dentins kann es zu einem Kollabieren der Kollagenfasern kommen. Einige Adhäsive sind nicht in der Lage, übertrrocknetes Dentin wieder genügend zu benetzen. Anderen Adhäsiven wiederum gelingt es nicht einen stabilen Verbund auf Dentin herzustellen, das nach dem Ätzen zu feucht belassen wurde. Es ist deshalb für den Anwender oft schwierig, die optimale Feuchtigkeit zu bestimmen um eine zuverlässige Haftung zu erzielen. Idealerweise sollte ein Adhäsiv in der Lage sein, unabhängig von der Feuchtigkeit stets eine hohe und dauerhafte Haftung auf Dentin aufzubauen. Um die Toleranz gegenüber unterschiedlichen Feuchtigkeitsbedingungen auf dem Dentin zu prüfen, untersuchten mehrere Forscher die Haftstärke von Adhese Universal auf feuchtem und trockenem Dentin.

Mikrozughaftung auf trockenem und feuchtem Dentin

M. Lopes. Universität Lissabon, Portugal, 2014.

Ziel dieser Studie war, die Verbundstärke zwischen Composite und Dentin bei drei Universal-Adhäsivsystem unter unterschiedlichen Anwendungsverfahren und Dentin-Trocknungsbedingungen nach 24 Stunden und nach 6 Monaten zu bestimmen.

Methode: 60 extrahierte menschliche Weisheitszähne wurden auf 12 Gruppen aufgeteilt. Drei Adhäsive (Adhese Universal (Ivoclar Vivadent), Futurabond U (Voco) und Scotchbond

Universal (3M ESPE)), zwei Anwendungsverfahren [Total-Etch und Self-Etch] und zwei Feuchtigkeitszustände des Dentins [feucht / trocken] wurden geprüft (n=5).

Der Zahnschmelz wurde okklusal entfernt um das Dentin bis in die mittleren Schichten freizulegen. Die freigelegte Dentinfläche wurde 60 Sekunden mit feuchtem SiC-Papier (Krönung 600) bearbeitet um eine standardisierte Schmierschicht zu erzeugen.

Die Adhäsive wurden gemäss Herstellerangaben appliziert und mit einer Bluephase 20i (Ivoclar Vivadent) 10 Sekunden lang mit 2000 mW/cm² lichtgehärtet. Danach wurde auf die behandelte Dentinfläche Composite (Tetric EvoCeram, Ivoclar Vivadent) in einer Schichtstärke von 4 mm aufgetragen und 20 Sekunden lichtgehärtet.

Nach 24-stündiger Lagerung in destilliertem Wasser bei 37°C wurden mit einer diamantierten Isomet-1000-Säge je 2 rechteckige Prüfkörper in einer Grösse von 1mm x 1mm unter herausgeschnitten. Der Durchmesser jedes Prüfkörpers wurde mit einer digitalen Schieblehre (Digimatic Messschieber, Mitutoyo Corporation) nachgeprüft. Die Prüfkörper aller Zähne wurden willkürlich in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe wurde sofort getestet, die andere Gruppe nach 6-monatiger Lagerung bei 37°C in destilliertem Wasser, das mit 0.1% Natriumazid versetzt war. Die Mikrozughaftung (μ TBS) wurde in einer Universalprüfmaschine (Instron 4500) bei einer Traversengeschwindigkeit von 1 mm/min ermittelt. Jeder Zahn zählte als eine statistische Einheit. Proben, bei denen es zu einem frühzeitigen Debonding kam, wurden in der Mittelwertsberechnung für den entsprechenden Zahn miteinbezogen, wobei diesen Proben der Durchschnittswert zwischen null und dem tiefsten in der entsprechenden Testgruppe gemessenen Haftwert zugeteilt wurde. Prüfkörper, die kohäsiv versagten, wurden ausgeschlossen. Die ermittelten Daten wurden einer Varianzanalyse (ANOVA) gefolgt von einem Tukey post-hoc Test (alfa 0.05) unterzogen.

Ergebnisse:

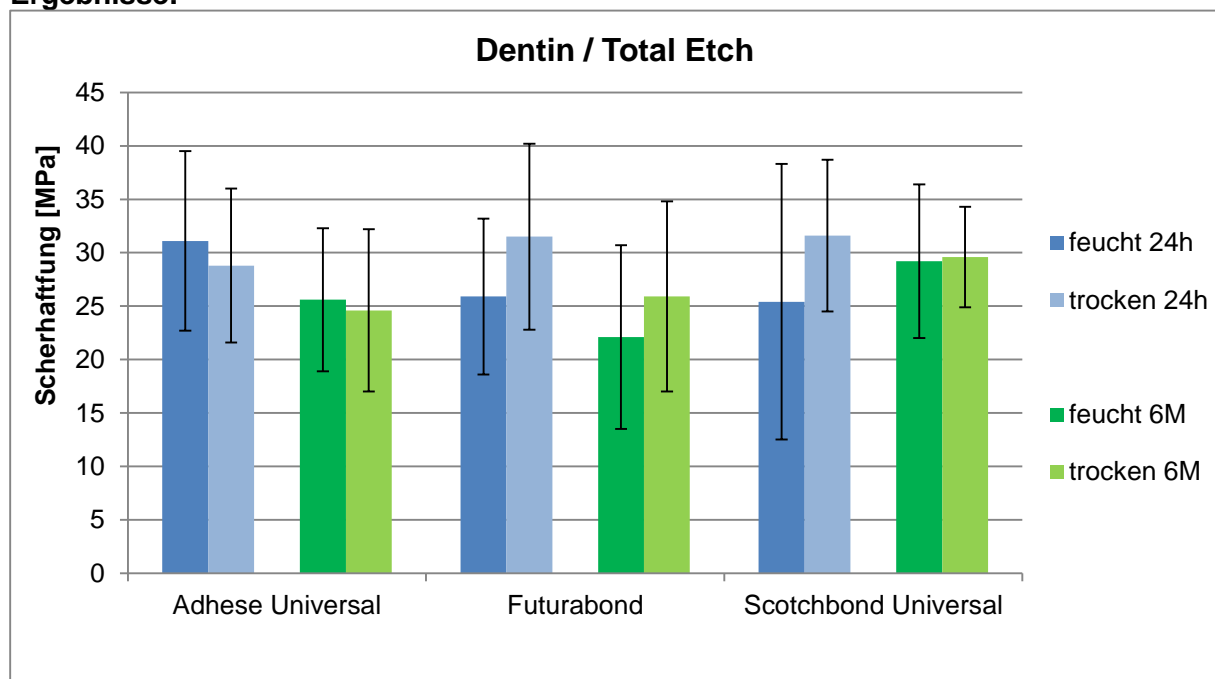


Abb. 19: Mikrozughaftung auf feuchtem und trockenem Dentin, 24 Stunden und 6 Monate nach Herstellung der Probekörper; Total-Etch-Verfahren. *M. Lopes, Universität Lissabon, 2014.*

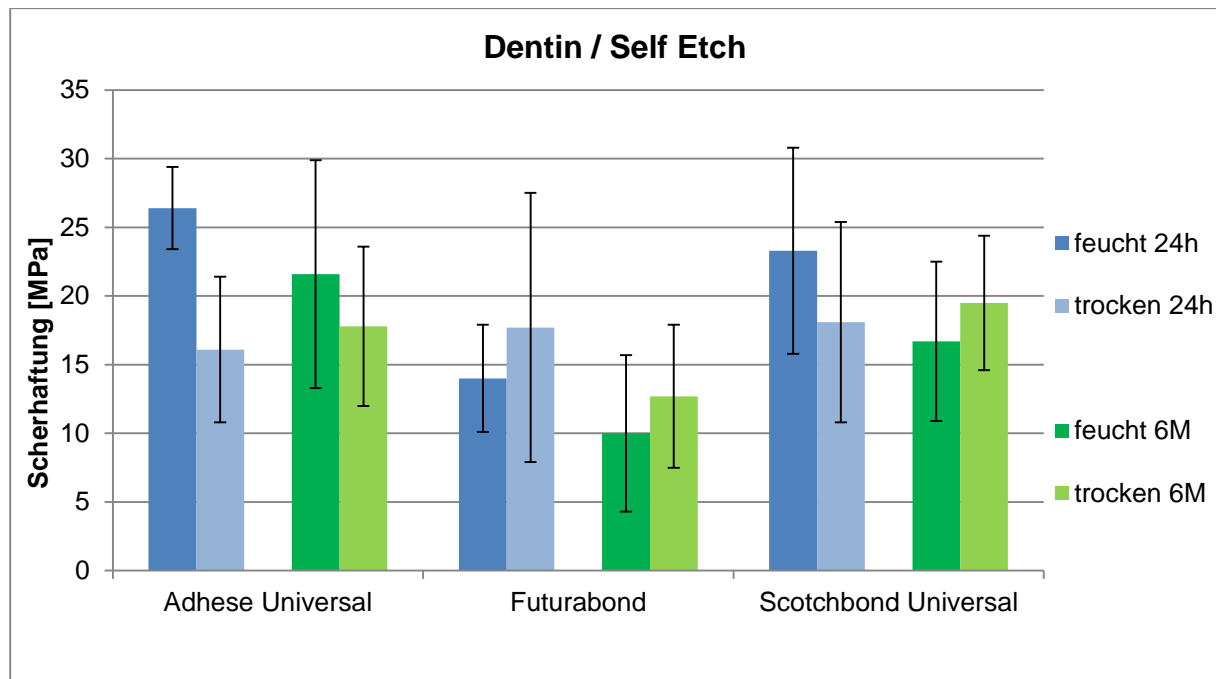


Abb. 20: Mikrozughaftung auf feuchtem und trockenem Dentin, 24 Stunden und 6 Monate nach Herstellung der Probekörper; Self-Etch-Verfahren. M. Lopes, Universität Lissabon, 2014

Zwischen den drei Adhäsiven wurden statistisch signifikante Unterschiede festgestellt, da die μ TBS-Werte von Adhese Universal und Scotchbond Universal signifikant höher lagen als jene von Futurabond U ($p=0.017$). Die Total-Etch-Technik zeigte signifikant höhere Werte als die Self-Etch-Technik ($p<0.001$). Die Mikrozughaftungswerte lagen nach 6 Monaten signifikant tiefer im Vergleich zu den Werten nach 24 Stunden ($p=0.034$). Ein signifikanter Unterschied zwischen der Anwendung auf trockenem und feuchtem Dentin konnte bei den geprüften Adhäsiven nicht festgestellt werden ($p=0.891$).

Auswirkung von feuchtem, trockenem und übertrockenem Dentin auf die Scherhaftung von Universal-Adhäsiven

S. Singhal, S. A. Antonson, D. E. Antonson und P. Bush, University at Buffalo, Buffalo, NY, USA; ADM 2014

Ziel dieser Studie war, die Scherhaftung von Universal-Adhäsiven auf feuchten, trockenen und übertrockenen Dentinflächen zu untersuchen.

Methode: Extrahierte humane Molaren wurden geschnitten, eingebettet und mit SiC-Papier (600-er Körnung) auf eine flache Dentinfläche heruntergeschliffen und danach mit Phosphorsäure geätzt. Die Probekörper ($n=10$) wurden willkürlich in 18 Gruppen für 3 Trocknungszustände [„moist“ (Trockentupfen), „dry“ (5 s Lufttrocknung) und „desiccated“ (10 s Lufttrocknung)] und 6 Adhäsive aufgeteilt. Die Adhäsive wurden gemäss der Gebrauchsinformation verarbeitet und lichtgehärtet. Das Composite-Restaurationsmaterial (Tetric EvoCeram Bulk Fill) wurde in einer 2.38 mm Form gemäss ISO 29022 auf die Adhäsivschicht appliziert, adaptiert und lichtgehärtet (10 Sekunden / Bluephase G2). Die Scherhaftung wurde mit einer Instron Universalprüfmaschine (1KN Messzelle, Traversengeschwindigkeit 1 mm/min) nach 24-stündiger Wasserlagerung der Probekörper (100% Feuchtigkeit, 37°C) gemessen.

Ergebnisse

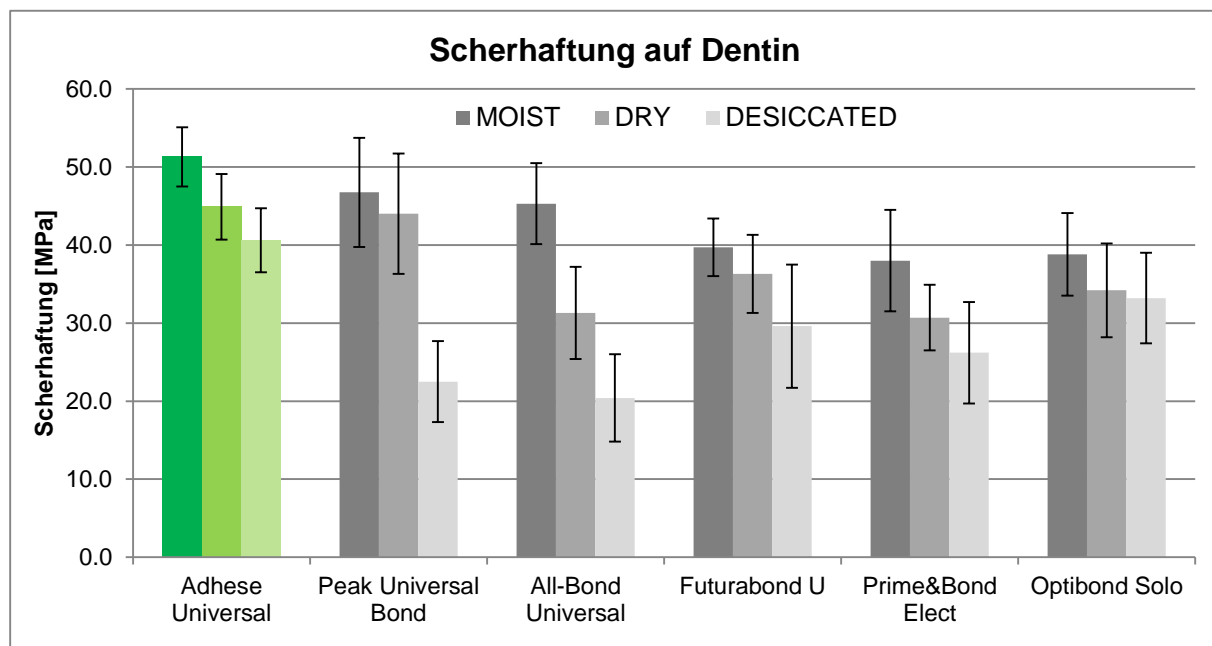


Abb. 21: Scherhaftung von Universal-Adhäsiven auf feuchtem, trockenem und übergetrocknetem Dentin. S. Singhal, S. A. Antonson, D. E. Antonson und P. Bush, University at Buffalo, Buffalo, NY, USA; ADM 2014.

Schlussfolgerung: Die unterschiedliche Feuchtigkeit der Dentinfläche wirkte sich auf die Scherhaftung aller untersuchten Adhäsive aus. Im Vergleich mit den anderen untersuchten Universal-Adhäsiven war Adhese Universal am geringsten von Unterschieden in der Feuchtigkeit der Dentinoberfläche betroffen.

In-vitro Scherhaftung von Adhäsiven auf Dentinflächen mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgrad

JA. Sorensen und Yen-Wei Chen, Laboratory For Biomimetics, Biomaterials, Biomechanics & Technology, School of Dentistry, Universität Washington, USA, 2015

Zweck der Studie war, die Auswirkung des Feuchtigkeitsgehalts der Dentinoberfläche auf die Scherhaftfestigkeit von Dentinadhäsiven bei der Anwendung direkter Füllungsmaterialien zu untersuchen. Die vier untersuchten Feuchtigkeitsstufen umfassten: Wasserfilm auf Dentin, klassisch „feuchtes“ Dentin, luftverblasenes Dentin und übergetrocknetes Dentin.

Methode: Aus extrahierten Humanmolaren wurden mit einer diamantierten Säge bei langsamer Geschwindigkeit Probekörper aus Schmelz und Dentin herausgeschnitten, mit SiC-Papier der Körnung 600 beschliffen und danach gründlich mit Wasser abgespült. Nachdem das Dentin mit Phosphorsäure geätzt und gründlich abgespült worden war, wurden vier Feuchtigkeitsgrade eingestellt :

1. Wasserfilm: Mit einer Mikropipette wurde 2,5 µl steriles Wasser auf die Dentinfläche verabreicht um einen definierten Wasserfilm herzustellen, der klinisch als „zu feucht“ gelten würde.
2. Feuchtes Dentin (klassische Technik): Feuchtigkeit trocken tupfen und, falls notwendig, überschüssiges Wasser mit sauberen Microbrushes aufsaugen.
3. Trocken: 3 Sekunden lang mit Luftbläser trocknen.
4. Übergetrocknet: 10 Sekunden lang mit Luftbläser trocknen.

Als Kontrollsubstrat wurde der Zahnschmelz 30 Sekunden lang mit Phosphorsäure geätzt, gründlich mit der Luft/Wasser-Spritze abgespült und danach während 10 Sekunden mit Luft getrocknet.

Die Applikation und Lichthärtung der Adhäsive erfolgte wie in der jeweiligen Gebrauchsinformation beschrieben.

Ergebnisse:

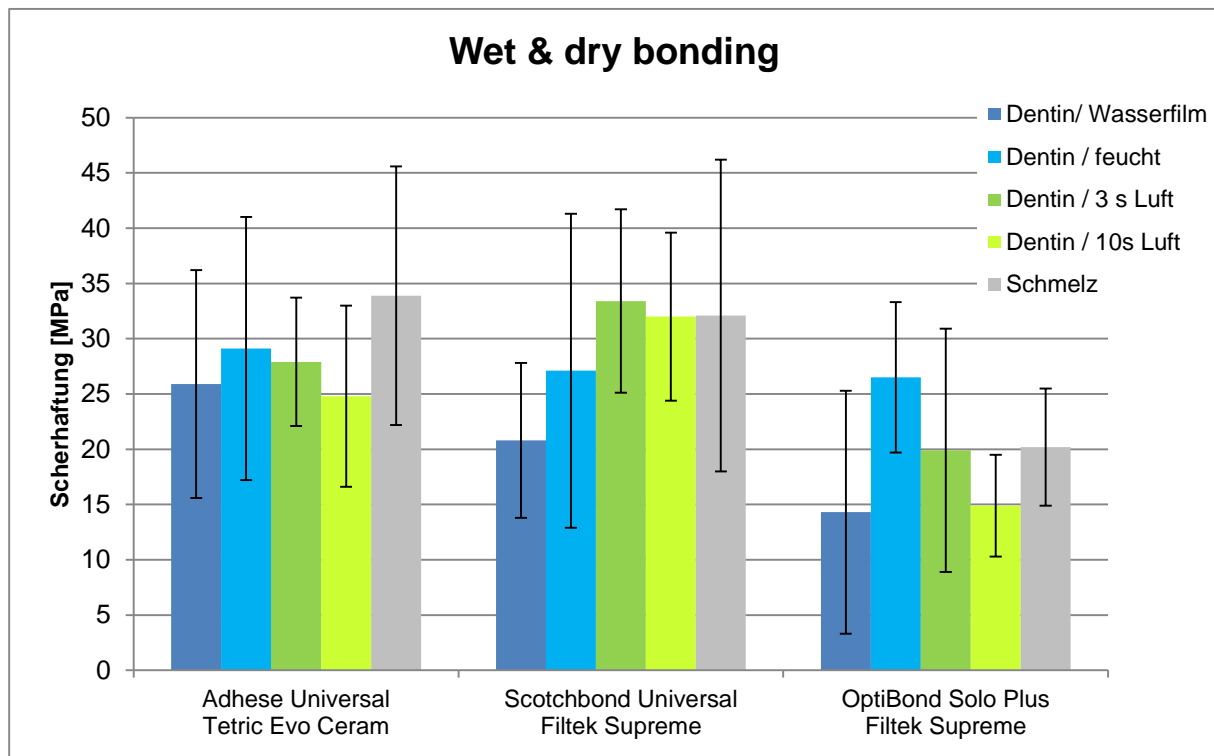


Abb. 22: Scherhaftung auf Schmelz und Dentin bei unterschiedlichem Feuchtigkeitsgrad. JA Sorensen, Universität Washington, USA, 2015

Im Untersuchungsbericht von Sorensen sind die Ergebnisse folgendermassen zusammengefasst:

Adhese Universal erzielte auf dem Kontroll-Zahnschmelz ausgezeichnete Haftwerte von etwa 34 MPa. Es zeigte eine hohe Toleranz gegenüber überschüssigem Wasser auf der Dentinfläche bei einer Haftstärke, die nur 24% tiefer war als auf dem Kontroll-Zahnschmelz. Bei idealem, „feuchtem“ Dentin betrug die Haftkraft 85% der Schmelz-Haftung.

Scotchbond Universal wies eine geringe Toleranz gegenüber überschüssigem Wasser auf Dentin („Wasserschicht“) auf mit einem Abfall von 23% in der Haftkraft verglichen mit der Haftung auf feuchtem Dentin. Die Haftung auf feuchtem Dentin ist mit derjenigen von Adhese Universal vergleichbar. Auf trockenem Dentin erzeugte Scotchbond sehr gute Verbundstärken die ähnlich hoch waren wie auf den Schmelz-Kontrollen.

Auch OptiBond zeigte gegenüber überschüssigem Wasser auf der Dentinfläche eine geringe Toleranz. Auf feuchtem Dentin erzeugte es ähnliche Haftwerte wie die anderen zwei Adhäsive, auf trockenen Dentinflächen wurden jedoch erheblich tiefere Haftwerte gemessen.

Schlussfolgerung:

Bei Anwendung auf trockenem Dentin zeigte Adhese Universal ähnliche Haftwerte wie unter idealen feuchten Dentinzuständen. Adhese Universal erwies sich als ein ausgezeichnetes Dentin-Adhäsiv mit einer Haftstärke von 85% der Haftstärke auf der Schmelz-Kontrolle. Adhese Universal zeigte eine hohe Toleranz gegenüber überschüssigem Wasser auf der Dentinfläche und erreichte Haftwerte von 75% der Schmelz-Kontrolle.

Auswirkung von feuchtem und trockenem Dentin auf die Haftung von Universal-Adhäsiven

F&E Ivoclar Vivadent, FL, 2014

Rinderzähne wurden zur Freilegung des Dentins gemäss ISO 29022 bearbeitet. Das Dentin wurde 15 Sekunden lang mit Phosphorsäure geätzt, um Kollagen freizulegen. Danach wurde die Oberfläche mit Wasser abgespült und trocken getupft (Wet Bonding) und für das „Dry Bonding“ zusätzlich mit einem Luftstrom während 5 Sekunden getrocknet. Alle Materialien wurden gemäss den Gebrauchsinformationen angewendet. Die Probekörper wurden gemäss ISO 29022 hergestellt und getestet. Die Scherhaftstärke wurde vor und nach 10'000 Thermozyklen zwischen 5 und 55°C gemessen.

Ergebnisse:

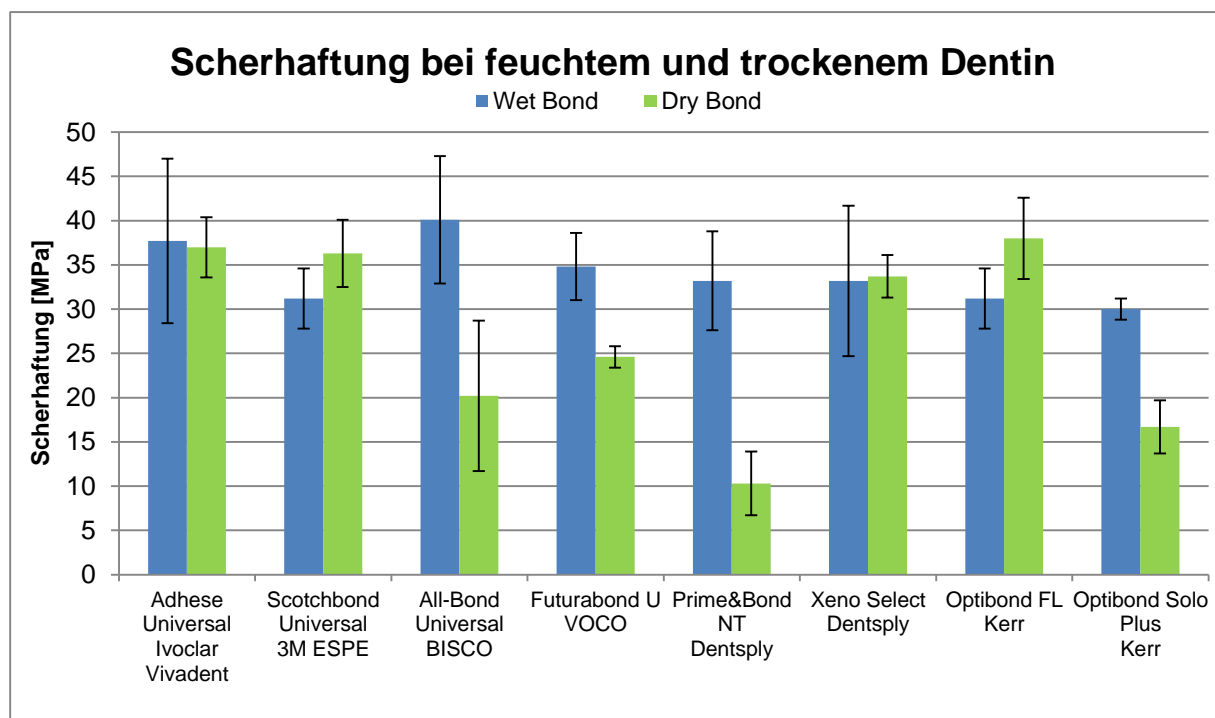


Abb. 23: Scherhaftwerte von Universal-Adhäsiven auf feuchtem und nassem Dentin F&E Ivoclar Vivadent 2014

Schlussfolgerung: Adhese Universal zeigte hohe Haftwerte auf feuchtem wie auch auf trockenem Dentin, während einige der anderen getesteten Adhäsive sehr empfindlich auf trockenes Dentin reagierten.

8.4 Randqualität

In-vitro-Prüfung der Wirksamkeit von Adhese Universal in Kombination mit Tetric EvoCeram und Tetric EvoCeram Bulk Fill an Klasse-V Kavitäten

Dr. Uwe Blunck, Charité - Universitätsmedizin Berlin, Deutschland, Mai 2014

Die Randqualität von Adhese Universal wurde in Kombination mit Tetric EvoCeram und Tetric EvoCeram Bulk Fill beurteilt und mit anderen Self-Etch- und Total-Etch-Adhäsiven verglichen.

Methode:

In dieser Studie wurden extrahierte, kariesfreie, menschliche Frontzähne verwendet. Für jede der sechs Gruppen wurden je 8 ovale Kavitäten mit einer Tiefe von 1.5 mm und einer Ausdehnung von inzisal nach apikal von ca. 4 mm und von mesial nach distal von 3 mm präpariert. Danach wurden die Kavitäten mit Adhese Universal (in Kombination mit dem Self-Etch- und dem Total-Etch-Verfahren) behandelt und mit Tetric EvoCeram (2 Schichten) oder

mit Tetric EvoCeram Bulk Fill (1 Schicht) gefüllt. Jede Schicht wurde jeweils für 40 Sekunden mit einem Bluephase Style Polymerisationsgerät lichtgehärtet. Als Kontrolle wurden das Adhäsiv Syntac (TE, Total-Etch-Technik) und Clearfil SE Bond (SE, Self-Etch-Technik) zusammen mit Tetric EvoCeram verwendet.

Die Restaurationen wurden während 21 Tagen in Wasser gelagert. Silikonabdrücke wurden vor und nach der Thermowechselbelastung (2000 Thermozyklen zwischen 5°C und 55°C) angefertigt und dienten zur Herstellung von Replikamodellen für die Oberflächenbeurteilung unter dem Rasterelektronenmikroskop. Die Randqualität wurde bei einer 200-fachen Vergrößerung gemäss einer vorgängig festgelegten Qualitätsskala MQ:1-4 beurteilt:

| Randqualität | Definition |
|--------------|--|
| 1 | Rand kaum sichtbar; keine Randspalten feststellbar |
| 2 | Keine Randspalten Grosse marginale Unregelmässigkeiten |
| 3 | Randspalten bis zu 2 µm Keine marginale Unregelmässigkeiten |
| 4 | Grosse Randspalten > 2µm |

Tabelle 7: Bewertungsskala Randqualität

Ergebnisse:

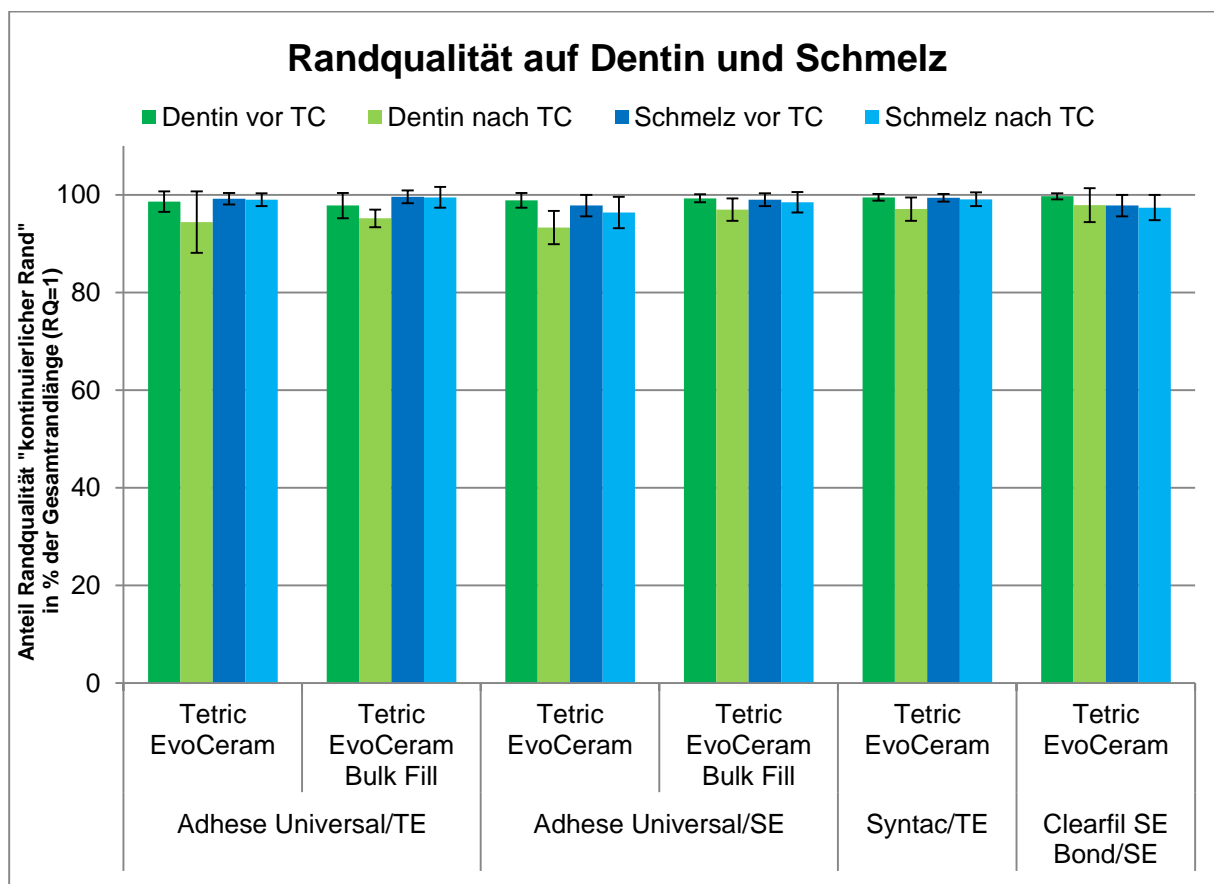


Abb. 24: Randqualität von Adhese Universal auf Dentin und Schmelz vor und nach Thermocycling (TC). U. Blunck, Charité - Universitätsmedizin Berlin, Deutschland, Mai 2014

Schlussfolgerung:

Es konnte kein statistischer Unterschied in der Randqualität im Schmelz und Dentin vor und nach Thermocycling festgestellt werden.

Adhese Universal zeigte eine ausserordentliche Wirksamkeit in Klasse-V-Kavitäten in Kombination mit verschiedenen Composite-Materialien im Total-Etch- und Self-Etch-Verfahren sowohl auf Schmelz als auch auf Dentin.

Randdichtigkeit von modernen Self-Etch-Adhäsiven bei Composite-Restaurationen

M Irie, J Tanaka, T Matsumoto, Y Maruo, G Nishigawa, S Minagi, D Watts*. Okayama Universität Japan, *Universität Manchester UK. IADR Charlotte USA, März 2014

Untersucht wurde der Anteil von Zähnen mit perfektem Rand, d.h. ohne Randspalt. Dabei kam das Füllungscomposite Clearfil AP-X/Kuraray mit folgenden modernen Self-Etch- und „Universal-Adhäsiven“ zur Anwendung: Prime&Bond Elect/Dentsply, Scotchbond Universal/3M ESPE, OptiBond XTR/Kerr, G-aenial Bond/GC, BeautiBond Multi/Shofu, Bond Force/Tokuyama und Clearfil SE Bond 2/Kuraray.

In Prämolaren wurden zylindrischen Kavitäten der Klasse I (Durchmesser 3,5 mm, Tiefe 1,5 mm) präpariert. Die Restaurationen wurden gemäss Herstellerangaben durchgeführt. Die restaurierten Zähne wurden unmittelbar nach der Lichthärtung poliert, die Randspaltbildung unter dem Mikroskop (400-fache Vergrösserung) untersucht und als Prozentsatz der untersuchten Zähne ohne Randspalt wiedergegeben (n=10 pro Gruppe).

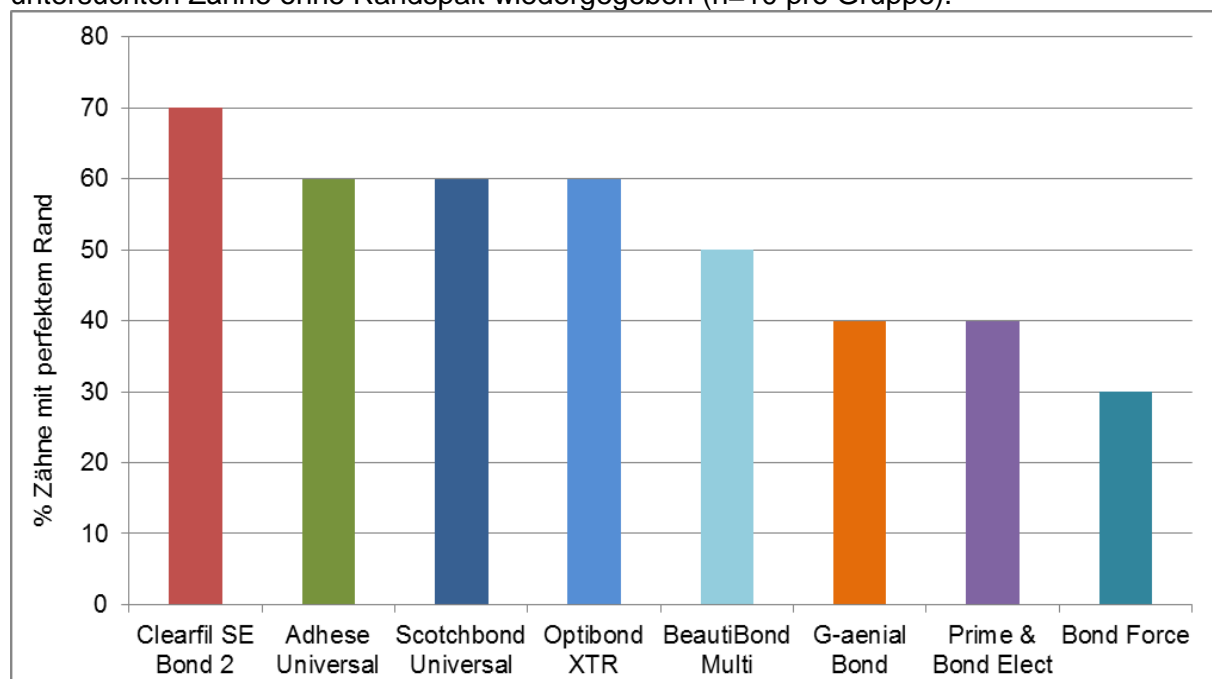


Abb. 25: Prozentsatz der Zähne mit perfekter Randqualität bei Verwendung unterschiedlicher Adhäsive. M.Irie et al. IADR, März 2014

Schlussfolgerung: Von den mit Adhese Universal restaurierten Zähnen wiesen 60% einen perfekten Rand auf. Nur Clearfil SE Bond 2 erreichte in dieser Untersuchung einen höheren Anteil perfekter Ränder (70%).

Randqualität von Universal-Adhäsiven vor und nach Temperaturwechselbelastung

R. Frankenberger, Universität Marburg, Deutschland, 2014

Die Randqualität von Universal-Adhäsiven im Schmelz und Dentin wurde bei direkten Composite-Restaurationen in MOD-Kavitäten beurteilt. Zur Simulation der Alterung wurden die Proben einer thermo-mechanischer Wechselbelastung ausgesetzt.

Methode: In extrahierten Weisheitszähnen wurden 32 MOD-Kavitäten mit je einem proximalen Kasten unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze vorbereitet. Zum Bonding der direkten Composite-Restaurationen (Tetric EvoCeram Bulk Fill) wurde entweder Scotchbond Universal oder Adhese Universal im Self-Etch-Verfahren oder nach Phosphorsäureätzung (Etch & Rinse-Technik) angewendet. Die Proben wurden vor und nach der thermo-mechanischen Wechselbelastung (100'000 × 50 N, 2500 Thermozyklen zwischen 5°C und 55°C) mittels REM-Analyse von Exoxidharz-Replika auf Randspalten hin untersucht. Zur statistischen Auswertung der Ergebnisse kamen Kruskal–Wallis und Mann–Whitney U-Tests zum Einsatz ($p < 0.05$). Nach der thermo-mechanischen Belastung wurden die Proben der Längsachse entlang aufgeschnitten, damit die innere Dentinadaptation durch REM-Analyse von Exoxidharz-Replika untersucht werden konnte (200-fache Vergrößerung).

Ergebnisse:

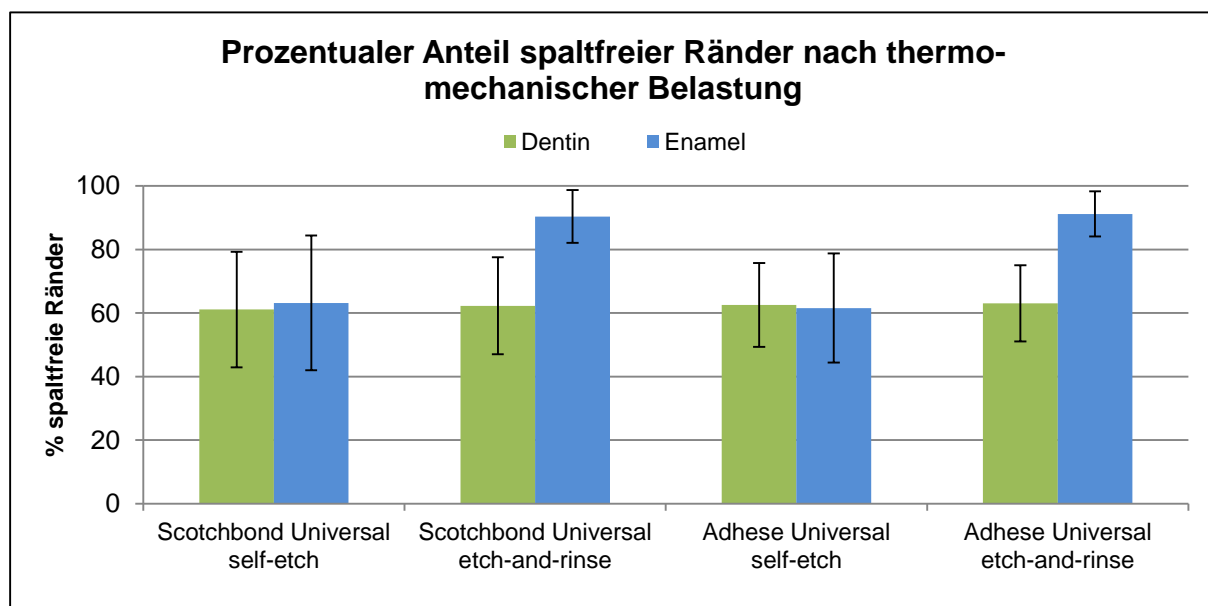


Abb. 26: Prozentualer Anteil spaltfreier Ränder nach thermo-mechanischer Belastung. R. Frankenberger, Universität Marburg, Deutschland, 2014

Zu Studienbeginn wurde bei beiden Adhäsiven unter allen Bedingungen ein hoher prozentualer Anteil spaltfreier Ränder im Schmelz und Dentin festgestellt. Auch nach der thermo-mechanischen Belastung wurde zwischen beiden Adhäsiven im Total-Etch- und Self-Etch-Verfahren kein signifikanter Unterschied beobachtet.

Im Vergleich mit Adhäsiven und Füllungsmaterialien, die bereits zuvor unter gleichen Bedingungen getestet wurden²⁸, zeigte Adhese Universal eine gute Leistung auf Schmelz und Dentin bei der Anwendung im Total-Etch- wie auch im Self-Etch-Verfahren.

In-vitro-Untersuchung adhäsiver Defekte mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) und Rasterelektronenmikroskopie (REM)

R. Haak und H. Schneider, Universität Leipzig, 2015

Ziel dieser Studie war, die Randqualität dreier selbstätzender Universal-Adhäsive mit einem mehr-Komponenten Total-Etch-Adhäsiv als Referenz zu untersuchen. Mittels hochauflösender optischer Kohärenztomographie (SD-OCT) können adhäsive Defekte an der Grenzschicht zwischen Composite und Zahnschmelz zerstörungsfrei festgestellt werden. Durch OCT kann die Verbundqualität über die gesamte Grenzfläche zwischen der Zahnschmelz und der Restauration quantifiziert werden, und nicht nur an Restaurationsoberfläche wie bei der mikroskopischen Analyse von Replikamodellen.

Methode: Bei 40 extrahierten Schneidezähnen wurden mit Diamantbohrern standardisierte Klasse-V-Kavitäten im Schmelz und Dentin präpariert. Die Kavitäten wurden mit den Adhäsiven sowie Tetric EvoCeram gemäss Gebrauchsanweisung behandelt.

Die behandelten Zähne wurden nach Wasserlagerung für 24 Stunden und nach 180 Tagen sowie 2500 Zyklen zwischen 5 bis 55°C (TC) untersucht. Zu jedem Untersuchungszeitpunkt wurden jeweils 8 Zähne mittels OCT auf adhäsive Defekte hin geprüft.

Zusätzlich wurden 2 behandelte Zähne pro Adhäsiv mittels REM vor der Temperaturwechselbelastung (Thermocycling, TC) untersucht. Nach dem Thermocycling und der OCT-Untersuchung wurden alle Zähne mittels REM analysiert. Pro Füllung wurden jeweils 31 der 200 OCT-B-Scans dazu verwendet, die adhäsiven Defekte als Prozentsatz der Grenzfläche zu quantifizieren. Bei den REM-Untersuchungen wurden die adhäsiven Defekte gemäss untenstehender Tabelle bewertet:

| Score | Länge der adhäsiven Defekte in % |
|-------|----------------------------------|
| 1 | 0 - 25 % |
| 2 | >25 - 50 % |
| 3 | >50 - 75 % |
| 4 | > 75 - 100 % |

Tabelle 8: Scoring der Spaltformation (nach REM-Analyse)

Ergebnisse:

a) OCT

Beispiel einer OCT B-Scan-Abbildung mit adhäsiven Defekten an der Grenzfläche zwischen der Zahnsubstanz und dem Composite:

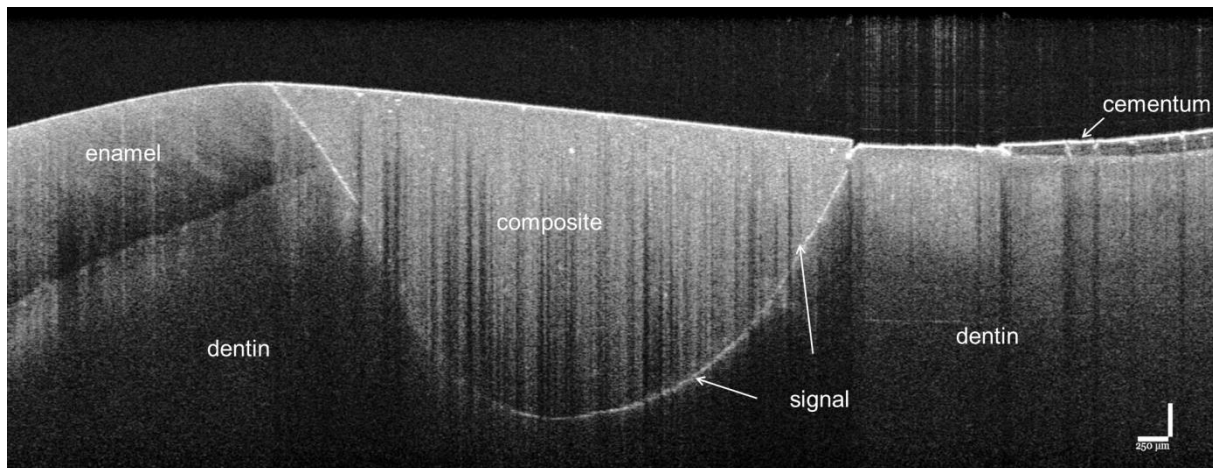


Abb. 27: Beispiel eines OCT B-Scans einer Klasse-V-Füllung. Bei Defekten zwischen dem Composite und der Zahnschicht sind Signale (weisse Linien) sichtbar (Pfeile). R. Haak und H. Schneider, Universität Leipzig, 2015

Adhäsive Defekte an der Grenzfläche zwischen Schmelz und Composite

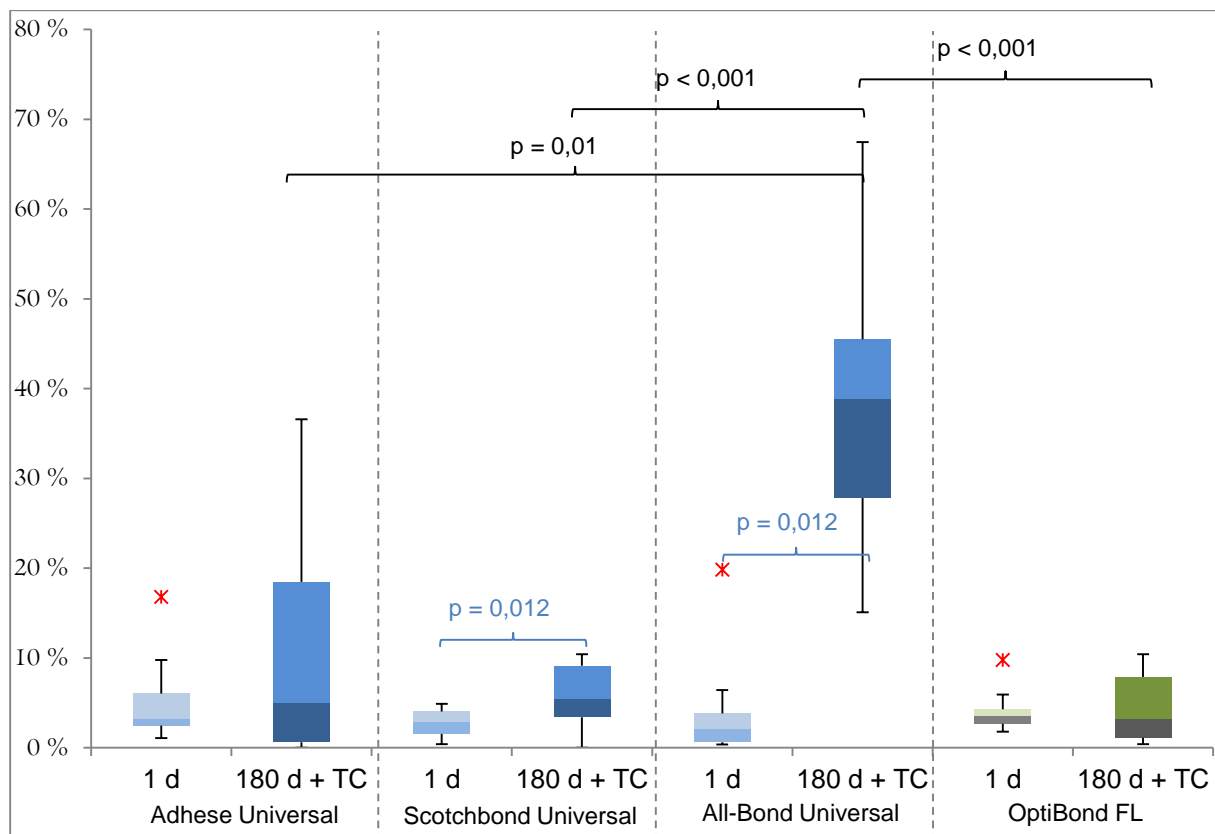


Abb. 28: Quantifizierung der adhäsiven Defekte an der Grenzfläche zwischen Schmelz und Composite mittels OCT vor und nach dem Thermocycling (TC). R. Haak und H. Schneider, Universität Leipzig, 2015

An der Grenzfläche zwischen dem Schmelz und Composite wies All-Bond Universal nach der Alterung am meisten adhäsive Defekte auf. Der Unterschied zu den anderen Adhäsiven war signifikant. Adhese Universal, Scotchbond Universal und das mehr-Komponenten Total-Etch-Adhäsiv OptiBond FL zeigten vergleichbare Durchschnittswerte.

Adhäsive Defekte an der Grenzfläche zwischen Dentin/Zement und Composite

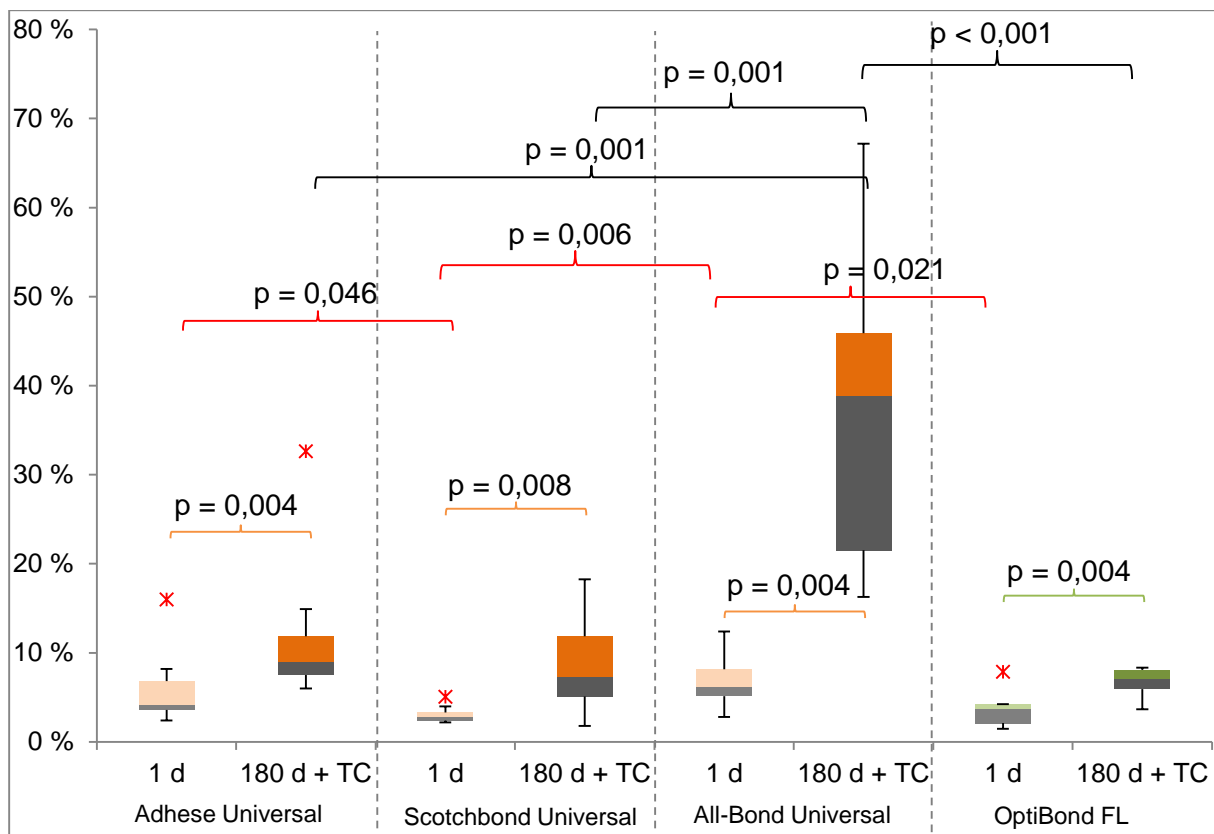


Abb. 29: Quantifizierung der adhäsiven Defekte an der Grenzfläche zwischen Dentin und Composite mittels OCT vor und nach Thermocycling (TC). R. Haak und H. Schneider, Universität Leipzig, 2015

An der Grenzfläche zwischen Dentin und Composite wies All-Bond Universal nach der Alterung ebenfalls am meisten adhäsive Defekte auf; der Unterschied zu den anderen Adhäsiven war signifikant. Bei Adhese Universal und Scotchbond Universal wurden adhäsive Defekte in vergleichbarem Umfang wie beim mehr-Komponenten Total-Etch-Adhäsiv OptiBond FL festgestellt.

b) Rasterelektronenmikroskopie-Untersuchung (REM):

Die Bewertungen der in der REM-Untersuchung festgestellten adhäsiven Defekte gemäss Tabelle 8 wurden einer statistischen Analyse unterzogen. In der untenstehenden Tabelle sind die entsprechenden Ergebnisse dargestellt:

| | Adhese Universal | | Scotchbond Universal | | All-Bond Universal | | OptiBond FL | |
|------------|--------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------------|------------------|
| | Schmelz | Dentin | Schmelz | Dentin | Schmelz | Dentin | Schmelz | Dentin |
| Randspalte | 1.7 ^{a,c} | 1.4 ^e | 1.8 ^b | 1.5 ^f | 3.0 ^{a,b,d} | 2.9 ^{e,f,g} | 1.1 ^{c,d} | 1.4 ^g |

Tabelle 9: Länge der adhäsiven Defekte nach Thermocycling (gleicher hochgestellter Buchstabe bedeutet einen signifikanten Unterschied zwischen zwei Durchschnittswerten, $p < 0.05$).

Im Vergleich mit den anderen getesteten Adhäsiven waren die Werte für die adhäsiven Defekte im Schmelz und Dentin bei All-Bond Universal signifikant erhöht. Bei Adhese Universal und Scotchbond bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede bei den Bewertungen der adhäsiven Defekte im Schmelz und Dentin. Im Dentin unterschieden sich

die Werte für die adhäsiven Defekte nicht signifikant von denen für OptiBond FL. Im Schmelz bestand ein statistisch signifikanter, aber geringfügiger Unterschied.

8.5 Composite-Reparatur – Haftung auf gealtertem Composite

Adhese Universal ist für die Reparatur frakturierter Composite- und Compomerfüllungen indiziert. Zähne und Dentalmaterialien sind Verschleiss durch Speichel, Temperaturänderungen, Nahrungsmittel mit unterschiedlichem Säuregehalt und abrasiven Kräften im Rahmen der Kaubewegung gleichermaßen ausgesetzt.²⁹ Die Grenzfläche zwischen Dentin/Schmelz und Restaurationsmaterial ist dynamisch – die Wärmeausdehnungskoeffizienten der Substanzen sind unterschiedlich und sie reagieren auch unterschiedlich unter denselben Bedingungen. Chipping, Restaurationsbruch und die entsprechende Reparatur gehören daher zur täglichen Praxis.

Composite-Reparatur mit Adhese Universal

F&E Ivoclar Vivadent, FL, Dezember 2013

Adhese Universal wurde im Hinblick auf seine Qualitäten als Haftvermittler in der direkten Reparatur von Composite-Füllungen untersucht.

Methode: Scheibenförmige Probekörper aus den Compositen Tetric EvoCeram Bulk Fill (n=14), Heliomolar (n=15) und Tetric EvoCeram (n=15) (Durchmesser 20 mm, Höhe 2 mm) wurden angefertigt. Zur Simulation der Materialalterung wurden die Scheiben 3 Monate lang bei 37°C in Wasser gelagert und anschliessend in Kunststoff eingebettet. Die Composite-Oberfläche wurde mit P400 SiC-Papier unter Wasserkühlung beschliffen, dann mit Wasser gespült und getrocknet. Anschliessend wurde Adhese Universal auf die Composite-Scheiben aufgetragen. Nach einer Einwirkzeit von 20 Sekunden wurde das Adhäsiv zu einem dünnen Film verblasen. Anschliessend wurde 10 Sekunden lang mit der Bluephase Style lichtgehärtet. Als Reparatur-Composite kam Tetric EvoCeram zum Einsatz. Es wurde in einem Inkrement auf die Klebefläche aufgebracht und 20 Sekunden mit der Bluephase Style lichtgehärtet. Die Proben wurden dann 24 Stunden lang bei 37°C in Wasser gelagert und einer Temperaturwechselbelastung (1000 Zyklen) unterzogen. Die Scherhaftprüfung erfolgte gemäss ISO 29022 (Composite-Oberfläche als Klebefläche anstatt Zahns substrat).

Ergebnisse:

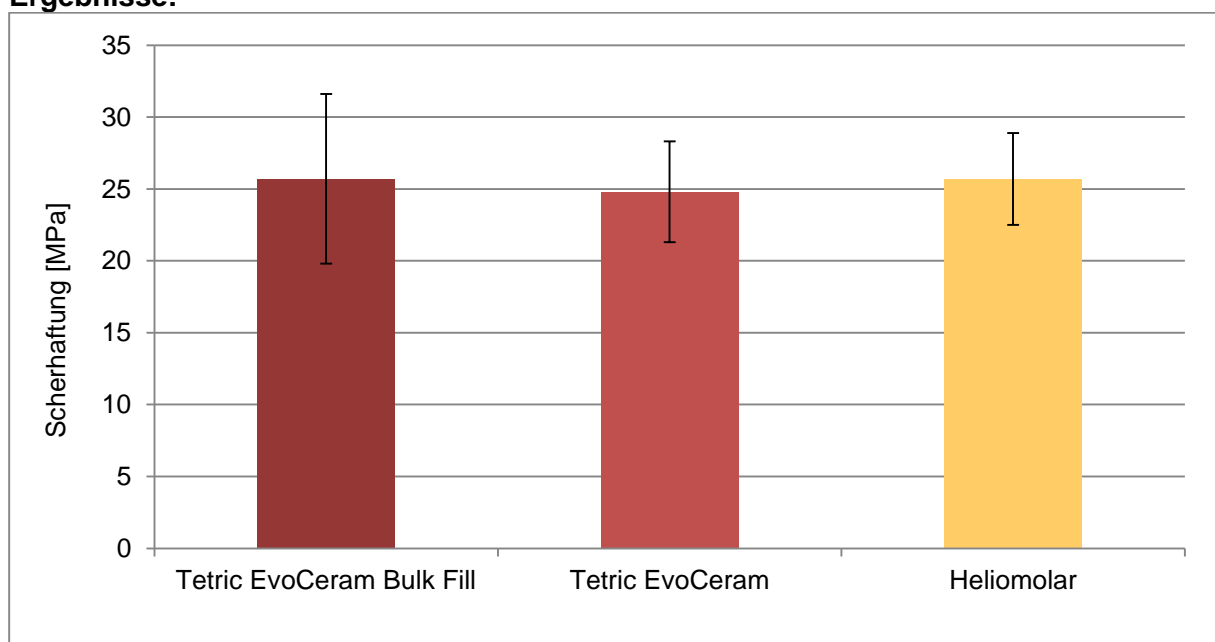


Abb. 30: Scherhaftwerte von Adhese Universal in Kombination mit Tetric EvoCeram auf drei verschiedenen, gealterten Composite-Materialien. F&E Schaen, Dezember 2013

Die Scherhaftung aller geprüften Composite lag im Bereich von 25-26 MPa. Die erzielte Haftkraft überstieg die Kohäsionskraft des Materials, sodass bei 100% der Proben ein Kohäsionsbruch auftrat.

Schlussfolgerung: Es zeigte sich kein statistisch relevanter Unterschied zwischen den Substraten/Composites. Respektable Haftwerte wurden mit Tetric EvoCeram auf allen gealterten Composite-Substraten erzielt, was die Eignung von Adhese Universal für Composite-Reparaturen untermauert.

8.6 Adhese Universal und Stumpfaufbaumaterial

F&E Ivoclar Vivadent, FL, Oktober 2013

Adhese Universal wurde auch in Kombination mit dem Composite-Stumpfaufbaumaterial MultiCore (selbsthärtend mit optionaler Lichthärtung) sowohl selbsthärtend (SC) als auch lichtgehärtet (LC) untersucht. Wie die Grafik unten zeigt, sind die lichtgehärteten Werte zwar durchgängig höher als die selbstgehärteten, der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant. Bei Verwendung der Total-Etch-Technik wurden sowohl auf Dentin als auch auf Schmelz höhere Haftwerte erzielt. Die angegebenen Werte wurden unmittelbar nach dem Bonding ermittelt.

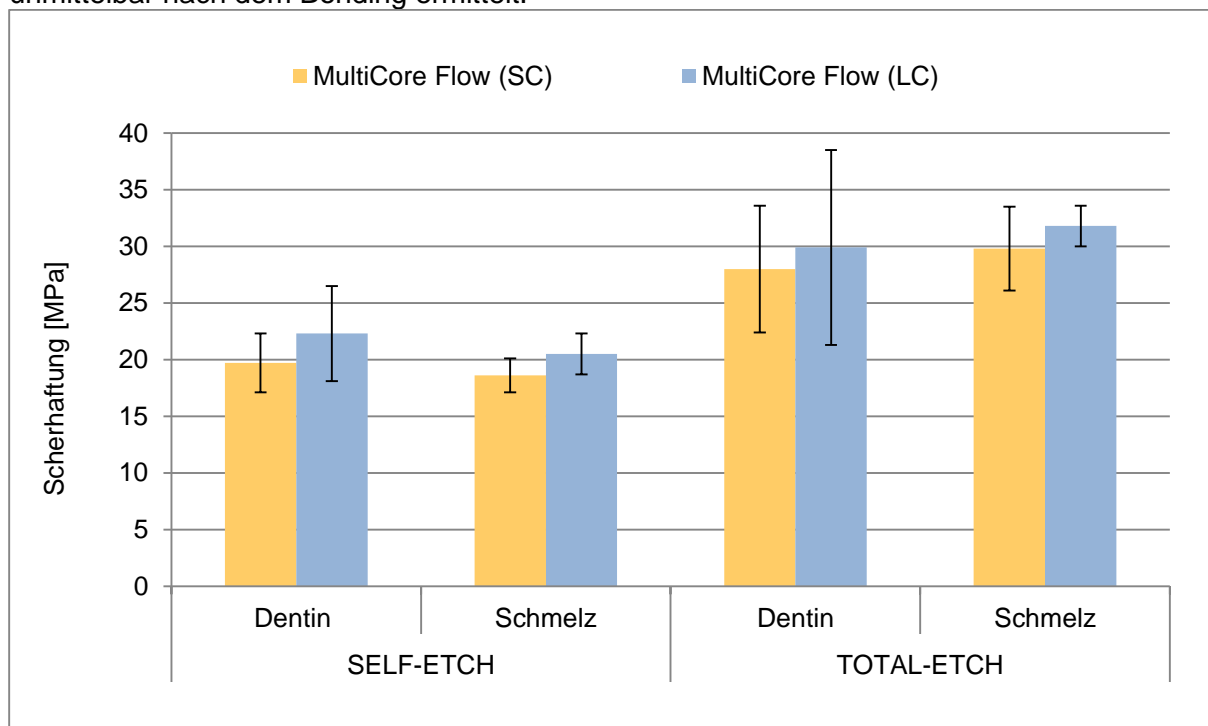


Abb. 31: Scherhaftwerte von Adhese Universal plus MultiCore Flow im Selbsthärte- (SC) und Lichthärtemodus (LC) auf Dentin und Schmelz. F&E Schaen, Oktober 2013

Schlussfolgerung: Adhese Universal ist geeignet für die Verwendung mit MultiCore Stumpfaufbaumaterial in Kombination mit der Self-Etch- und Total-Etch-Technik sowohl bei Selbsthärtung als auch bei optionaler Lichthärtung.

8.7 Adhese Universal und indirekte Restaurationen

8.7.1 Scherhaftung des Adhäsiv/Befestigungscomposite-Systems auf Schmelz und Dentin

F&E Ivoclar Vivadent, FL, Januar 2014

Zur Beurteilung der Eignung für indirekte Restaurationen wurde Adhese Universal zusammen mit Variolink II untersucht. Die Hafttests wurden gemäss ISO 29022 durchgeführt (siehe auch schematische Darstellung in Abbildung 7b). Variolink II kam sowohl dualhärtend (DC, Base und Katalysator), als auch rein lichthärtend (LC, nur Base) zum Einsatz.

Die Grafik zeigt die auf Dentin und Schmelz mit Adhese Universal in der Self-Etch- und Total-Etch-Technik erzielten Werte. Variolink II wurde dabei im Dual- und Lichthärtemodus gemäss Gebrauchsinformation angewendet. Messung der Werte nach 24 Stunden Wasserlagerung bei 37°C. In allen Situationen wurden hohe Scherhaftwerte gemessen.

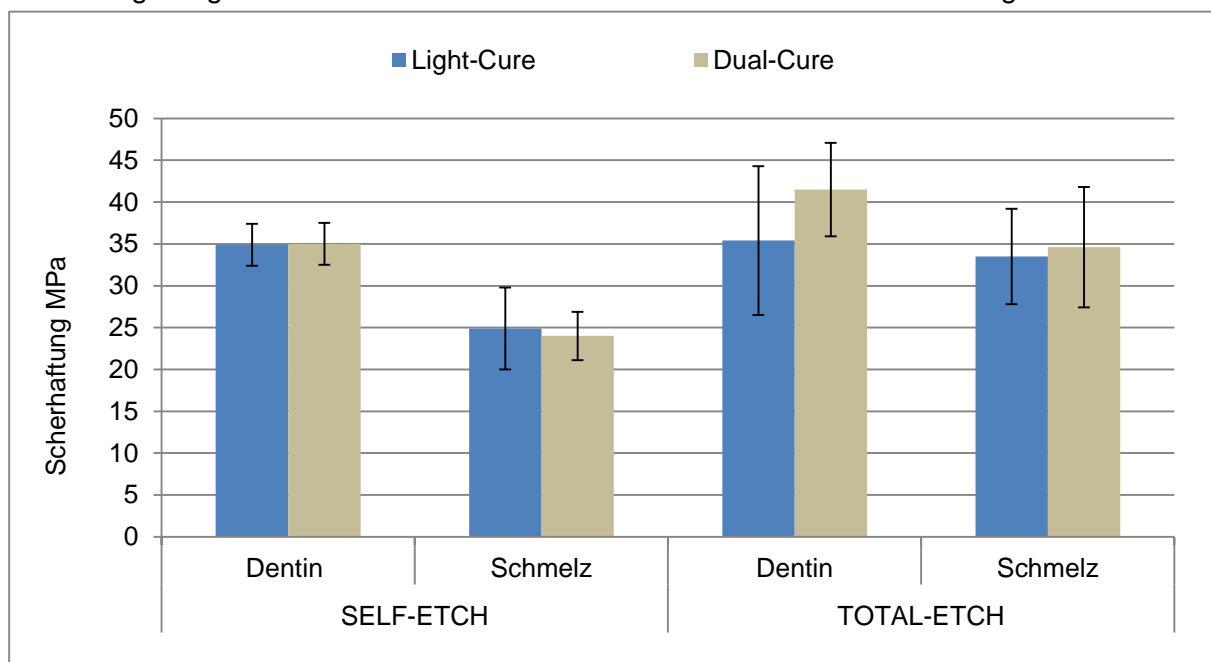


Abb. 32: Scherhaftwerte mit Adhese Universal plus Variolink II auf Dentin und Schmelz in der Self-Etch- und Total-Etch-Technik. Variolink II wurde sowohl lichthärtend (LC) als auch dualhärtend (DC) angewendet. F&E Schaan, Januar 2014

Schlussfolgerung: Gleichbleibende Haftwerte auf Schmelz und Dentin bei der Verwendung von Adhese Universal in Kombination mit Variolink II Befestigungscomposite unabhängig vom Aushärtungsmodus wurden beobachtet.

8.7.2 Scherhaftung des Adhäsiv/Befestigungscomposite-Systems auf Schmelz und Dentin vor und nach dem Thermocycling (TC)

F&E Ivoclar Vivadent, FL, Juli 2014

Für fünf Adhäsive wurde die Haftung auf Schmelz und Dentin bei indirekten Restaurationen zusammen mit dem entsprechenden Befestigungscomposite des gleichen Herstellers geprüft.

Die Adhäsive wurden im Self-Etch-Verfahren auf das Rinderzahnsubstrat appliziert, gefolgt vom Befestigungscomposite des gleichen Herstellers. Alle Materialien wurden gemäss den Herstellerangaben angewendet. Die Vorbereitung und Messung der Proben erfolgte gemäss ISO 29022. Die Scherhaftkraft wurde vor und nach dem Thermocycling mit 10'000 Wechselbelastungen zwischen 5 und 55°C gemessen.

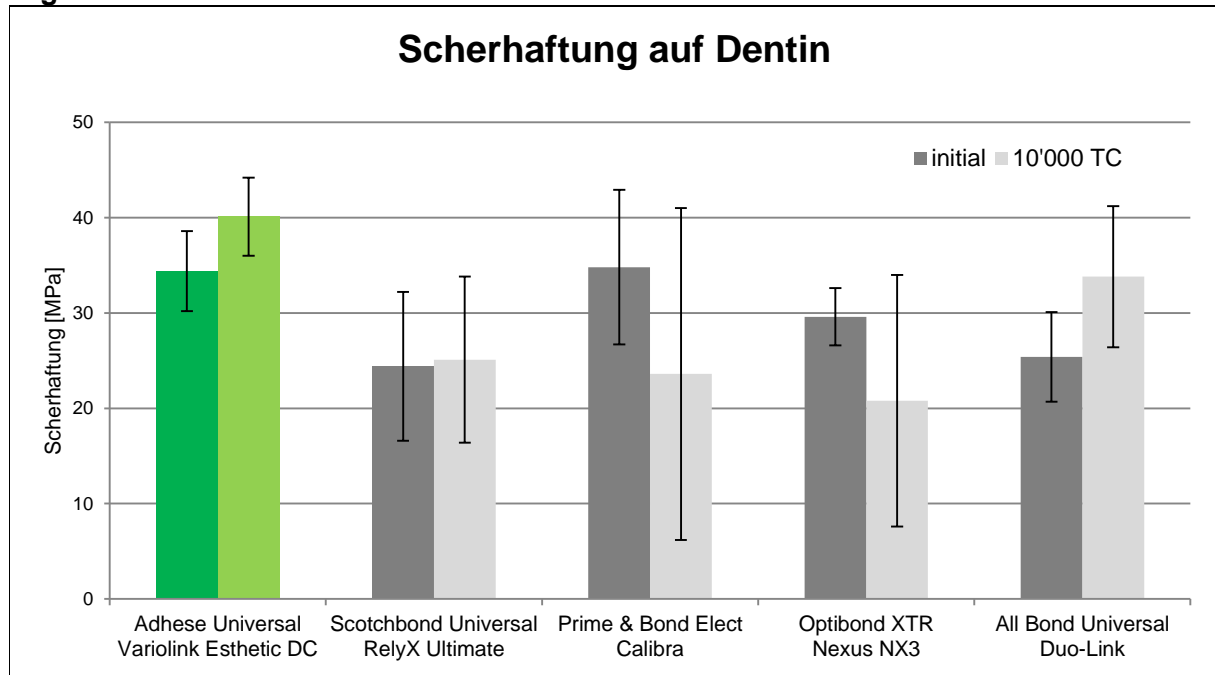
Ergebnisse:

Abb. 33: Scherhaftkraft des Adhäsiv/Befestigungscomposite-Systems (Dualhärtemodus) auf Rinderdentin vor und nach dem Thermocycling. *F&E Ivoclar Vivadent, FL, Juli 2014*

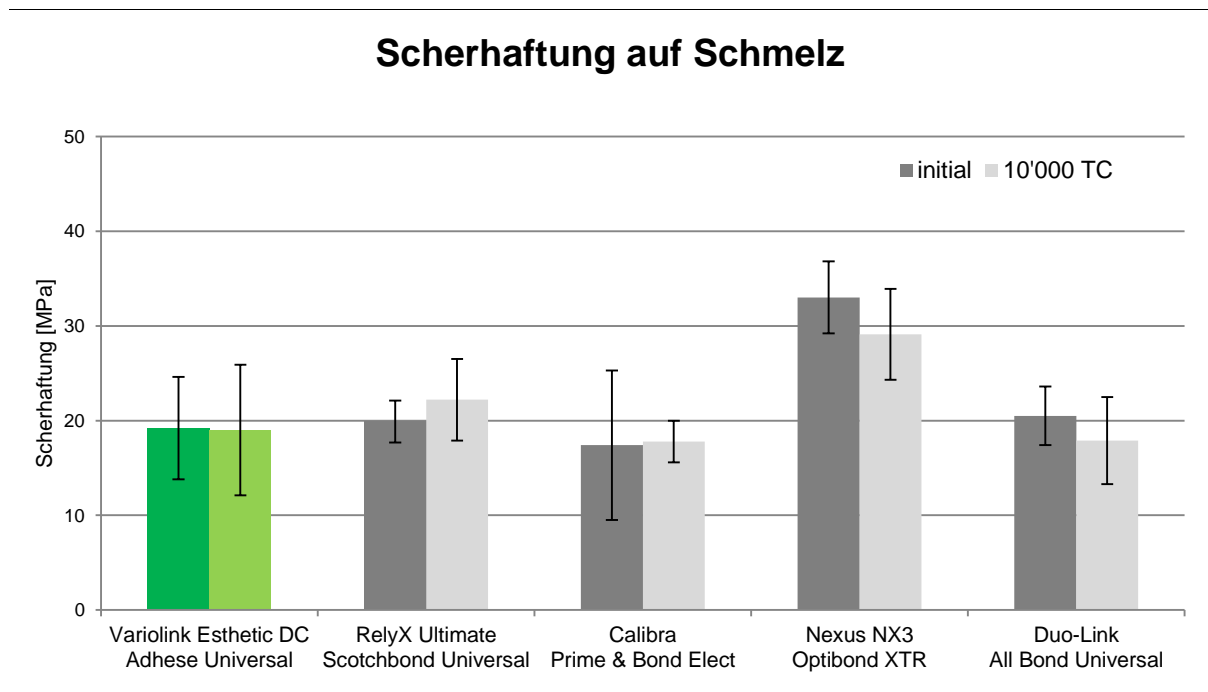


Abb. 34: Scherhaftkraft (Dualhärtemodus) auf Rinderschmelzsubstrat vor und nach dem Thermocycling. *F&E Ivoclar Vivadent AG, Ivoclar Vivadent, FL, Juli 2014*

Spontanes Debonding während der thermischen Wechselbelastung wurde als 0 MPa bewertet, daraus ergab sich eine hohe Standardabweichung bei einigen Konkurrenzmaterialien.

Schlussfolgerung: Die Kombination von Adhese Universal mit Variolink Esthetic DC zeigte auf Schmelz und Dentin durchgehend hohe Haftwerte sowie vor wie auch nach dem Thermocycling.

8.7.3 Immediate dentin sealing (IDS) / Dual-Bonding-Technik und Haftkraft

Als „immediate dentin sealing“ (IDS) wird die Applikation und Polymerisation des Haftvermittlers vor der bei indirekten Restaurationen nötigen Abformung bezeichnet. Da ein weiterer Bondingschritt beim Einsetzen der finalen Restauration erfolgt, spricht man auch von der „Dual-Bonding-Technik“. In einem Review kam Magne 2005 zum Schluss, dass IDS möglicherweise Haftwerte verbessern sowie Randspaltbildung, Bakterienpenetration und Dentinhypersensibilität reduzieren kann.³⁰

Einfluss der provisorischen Befestigung auf die Haftung von Adhese Universal

F&E Ivoclar Vivadent, FL, August 2013

Der Einfluss des Glyzeringels Liquid Strip oder von Vaseline, die als Isoliermaterial beim immediate dentin sealing verwendet werden, auf die Haftung von Adhese Universal wurde untersucht.

Methode: Um eine klinische Situation zu simulieren, wurde Adhese Universal auf Rinderdentin aufgetragen und lichtgehärtet. Zehn Proben wurden mit einer dünnen Schicht Glyzeringel (n=5) bzw. Vaseline (n=5) überzogen. Anschliessend wurde der provisorische Zement Telio CS Link aufgetragen und die Proben 2 Wochen in Wasser bei 37°C gelagert. Dann wurde das provisorische Material entfernt und die Klebefläche mit rotierenden Bürstchen sowie der Prophylaxe-Paste Proxylt fine 15 Sekunden lang gereinigt. Die Paste wurde abgespült und die Oberfläche mit Luft trocken geblasen. Die Befestigung mit Adhese Universal und Variolink II wurde dualhärtend durchgeführt wie bei einer definitiven Restauration. Als Referenzmuster wurden 15 Proben ohne temporäre Befestigung angefertigt.

Ergebnisse:

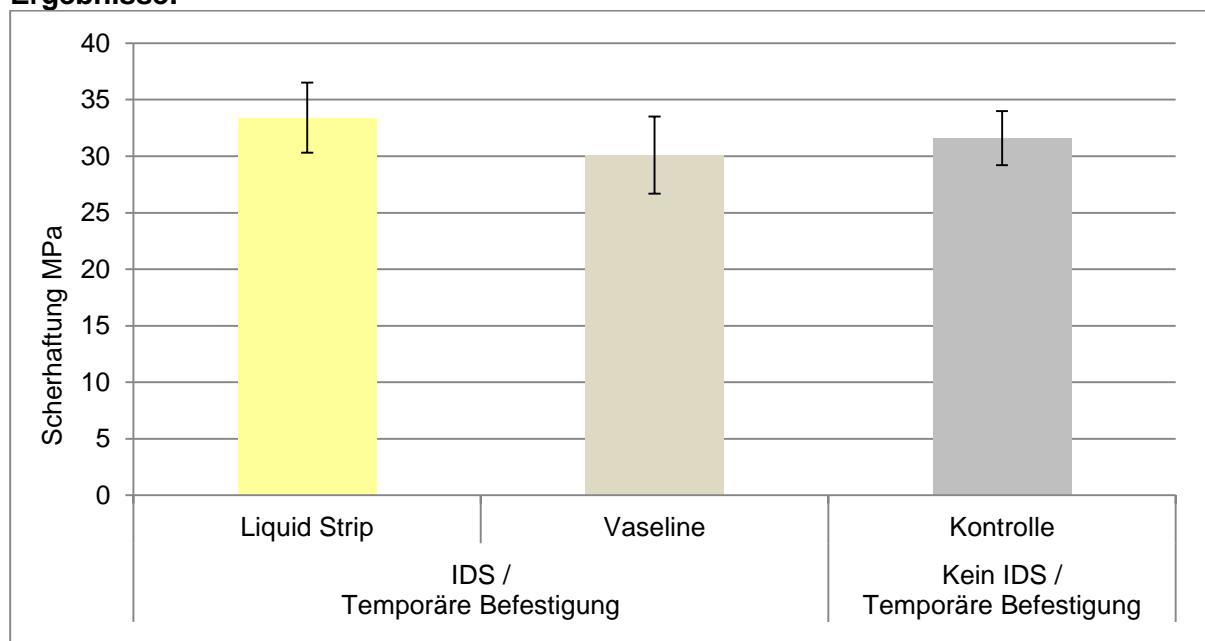


Abb. 35: Scherhaftwerte auf Dentin nach IDS und Applikation von provisorischem Befestigungsmaterial unter Verwendung von Glyzeringel bzw. Vaseline im Vergleich zu einer Kontrolle ohne IDS und provisorischer Befestigung. F&E Schaen, August 2013

Es konnte keine irreversible Kontamination der Klebefläche durch das Glyzeringel bzw. Vaseline oder durch zweiwöchige Wasserlagerung festgestellt werden.

Schlussfolgerung: Adhese Universal eignet sich für die Versiegelung der Kavitätenoberflächen vor der Abformung und der Applikation von provisorischem Zement. Alle gemessenen Haftwerte lagen über 30 MPa. Es wurde kein signifikanter Unterschied

zwischen den Referenzmustern (ohne IDS bzw. temporäre Befestigung) und den Proben mit IDS und temporärer Befestigung festgestellt.

8.7.4 Filmdicke und Passung

Untersuchung der Filmdicke von Adhese Universal mit Weisslichtinterferometrie F&E Ivoclar Vivadent, FL, Mai 2013

Die Dicke der Adhäsivschicht kann bei indirekten Restaurationsverfahren ein Problem darstellen. Adhese Universal wird immer „ausgedünnt“ d.h. mit Luft verblasen (was durch den Gehalt an thixotropem Siliziumdioxid unterstützt wird) und vor dem Einsetzen der indirekten Restaurationen lichtgehärtet. Der Einsatz eines zusätzlichen Aktivators für die Dualhärtung entfällt. Bei der Polymerisation von Adhese Universal werden die Säuremonomere immobilisiert. Dabei wird ohne zusätzlichen Aktivator eine gute Vernetzung entlang der Adhäsiv-Zement-Grenzfläche erzielt. Wie unten dargestellt, weist das ausgehärtete Adhäsiv auf Rinderdentin eine Schichtdicke von $< 10\mu\text{m}$ auf, sodass selbst sehr genau passende indirekte Restaurationen problemlos eingesetzt werden können. Abb. 35 a zeigt eine in Kunststoff eingebettete Zahnoberfläche (von oben aufgenommen), auf die Adhese Universal aufgetragen, mit Luft verblasen und anschliessend lichtgehärtet wurde. Nach der Aushärtung wurde unpolymersiertes Material (Inhibitionsschicht) mit Ethanol entfernt. Ein Filmdickeprofil wurde mittels Weisslichtinterferometrie erstellt. Dies ist eine kontaktlose optische Methode zur Messung der Oberflächenhöhe von dreidimensionalen Strukturen, wobei die Oberflächenprofile zwischen einigen Mikrometern und einigen Zentimetern variieren können. Der blasse, kreisförmige Ring in Abbildung 36a zeigt den Bereich an, in dem die Schichtdicke durch das Verblasen höher ist. In Abb. 35b ist das Profil grafisch dargestellt. Der Wert ganz links ist der Null- Wert, da sich dort kein Adhäsiv befindet. Die Ausschläge links und rechts weisen auf die Verdrängung des Adhäsivs nach zwei Seiten durch das Verblasen hin (vergleichbar mit dem Ring in Abb. 35a). Die Mitte hingegen (die der klinischen Situation entspricht) zeigt eine konstant niedrige Filmdicke von $< 10\mu\text{m}$.

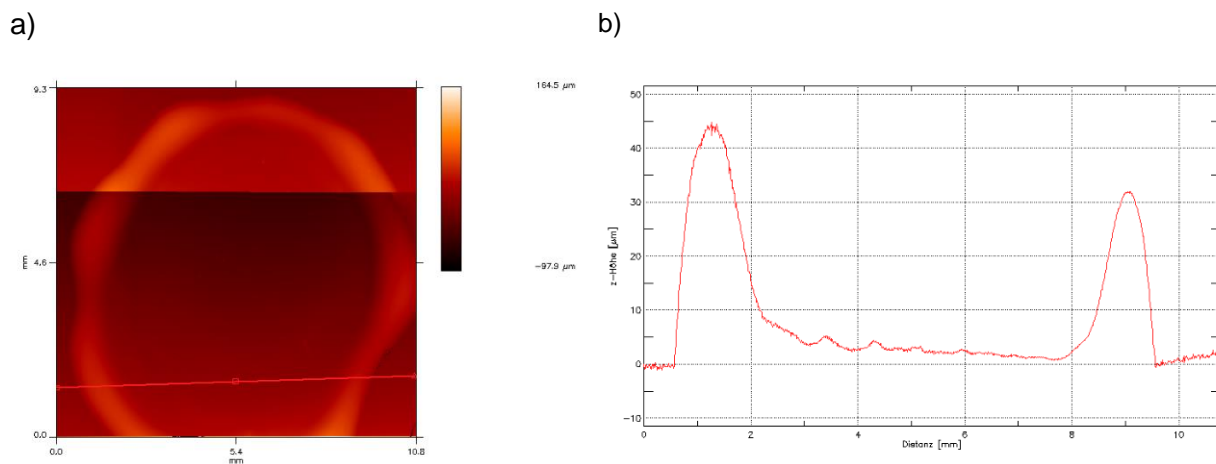


Abb. 36: Adhesive Universal-Schicht auf der Zahnoberfläche von oben (a) und Filmdickeprofil (b). F&E Ivoclar Vivadent, FL, Mai 2013

Schlussfolgerung: Die Untersuchung bestätigt die geringe Filmdicke von Adhese Universal, die für eine gute Passung von indirekten Restaurationen sorgt. Die Grafik zeigt, wie wichtig das Verblasen mit öl- und wasserfreier Luft ist, bis ein bewegungsloser, glänzender Film entsteht – so wie in der Gebrauchsinformation angegeben.

Passgenauigkeit von indirekten Restaurationen

F&E Ivoclar Vivadent, FL, Oktober 2013

Der Einfluss von Adhese Universal auf die Passung bei der Befestigung von indirekten Restaurationen wurde von drei Zahnärzten bei Ivoclar Vivadent untersucht.

Methode: In neun extrahierten, kariesfreien menschlichen Molaren ähnlicher Grösse (3 pro Zahnarzt) wurden gleich grosse Inlay-Kavitäten präpariert. Die Inlays wurden aus IPS e.max Press (LT) gefertigt und in die Kavitäten eingepasst. Dabei wurde ein Spacerlack (Tru Fit Stumpflack/G. Taub Dental) verwendet. Die nicht adhäsiv befestigten Inlays wurden auf dem Zahn abgeformt und jeweils ein Gipsstumpf angefertigt. Dies war das Referenzmuster, um eine Inlayerhöhung nach der adhäsiven Befestigung zu beurteilen. Adhese Universal wurde gemäss Gebrauchsinformation auf die 9 Zähne appliziert und lichtgehärtet. Variolink II wurde auf die vorbereiteten Inlays aufgetragen, die Inlays eingesetzt und mit einer Bluephase Style 20 Sekunden lang lichtgehärtet. Nach der Befestigung wurde zum Vergleich erneut eine Abformung der adhäsiv eingesetzten Inlays vorgenommen und Gipsstümpfe hergestellt. Beide Arten von Gipsstümpfen wurden mit einem 3-D-Scanner gescannt und die Inlayerhöhung berechnet. Wie Tabelle 10 zeigt, kam es bei keinem Zahn zu einer Inlayerhöhung von über 50 µm (bezogen auf die Applikation von Adhäsiv und Zement). Dies wurde zuvor als Akzeptanzkriterium festgelegt, bis zu der die Passung nicht negativ beeinflusst wird.

| Inlay | Zahnarzt 1 | Zahnarzt 2 | Zahnarzt 3 |
|-------|------------|------------|------------|
| 1 | 34 µm | 32 µm | 29 µm |
| 2 | 38 µm | 36 µm | 21 µm |
| 3 | 39 µm | 31 µm | 20 µm |

Tabelle 10: Inlayerhöhung nach der Befestigung von IPS e.max Press-Inlays mit Adhese Universal und Variolink II gemessen von verschiedenen Zahnärzten/an verschiedenen Zähnen. F&E Ivoclar Vivadent, FL, Oktober 2013

In Kombination mit Variolink II wurde keine übermässige Inlayerhöhung nach Befestigungstests festgestellt, d.h. es gab keinen negativen Effekt auf die Passung.

Schlussfolgerung: Die beobachtete minimale Inlayerhöhung bestätigt die Ausformung eines nur dünnen Films durch Adhese Universal und damit die Eignung des Adhäsivs für indirekte Restaurationen.

8.8 Adhese Universal – Dentinpenetration

Eine ultramorphologische Charakterisierung von Dentin nach Applikation von Adhese Universal

M. Lopes. Universität Lissabon, Portugal. August 2013

Manuela Lopes von der Universität Lissabon führte eine ultramorphologische Untersuchung von Adhese Universal auf Dentin mittels Elektronenmikroskopie durch.

Methode: 56 extrahierte menschliche Molaren (bis zu einem Monat nach der Extraktion in einer 0,5%igen Chloraminlösung gekühlt gelagert) wurden für diese Studie verwendet. Die Zähne wurden 24 Stunden lang bei 37°C in destilliertes Wasser eingelegt. Dann wurde der okklusale Schmelz mit einer diamantierten Isomet 1000-Säge (Buehler GmbH) entfernt und 56 Dentinscheiben mit einer Dicke von 800 ± 200 µm bei langsamer Geschwindigkeit herausgeschnitten. Auf der Okklusalfäche wurde durch 60 Sekunden Nassschleifen mit SiC-Papier der Körnung 600 ein Standard-Smear-Layer erzeugt. Für die Total-Etch Gruppe wurden die Oberflächen 15 s mit Phosphorsäure geätzt. Adhese Universal wurde auf die Dentinflächen appliziert und die Proben willkürlich in 4 gleich grosse Gruppen unterteilt (n=14).

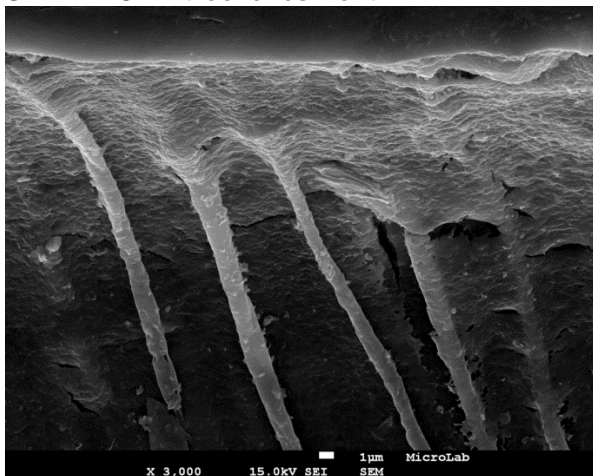
| Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 | Gruppe 4 |
|--|---|--|--|
| Self-Etch | | Total-Etch | |
| trocken | nass | trocken | nass |
| Dentin mit Druckluft 5 s lang trocknen | Überschüssiges Wasser mit Wattepellet auftupfen | Phosphorsäure 15 s lang applizieren und 10 s abspülen 5 s mit Druckluft trocknen | Phosphorsäure 15 s lang applizieren und 10 s abspülen Überschüssiges Wasser mit Wattepellet auftupfen |
| Adhäsiv wurde in die Dentinoberfläche 20 s lang einmassiert und mit Druckluft 10s lang verblasen | | | |

Tabelle 11: Gruppierung der Zähne nach Self-Etch-, Total-Etch-Modus und Nass- bzw. Trockenbearbeitung. M. Lopes, Universität Lissabon, August 2013

Nach der Applikation von Adhese Universal wurde eine 1-mm dicke Schicht Tetric EvoFlow auf das behandelte Dentin appliziert und 40 Sekunden lichtgehärtet. Die Proben wurden anschliessend im Rasterelektronenmikroskop ultramorphologisch untersucht.

Ergebnisse: Beide Self-Etch-Gruppen (trocken und nass) zeigten eine versiegelte, säureresistente Interdiffusionszone. Adhese Universal drang bis zu einer Tiefe von 100 µm in die Dentintubuli aller analysierten Proben ein (siehe Abb. 37). Die Hybridschicht war 0,6 – 0,8 µm dick. In beiden Total-Etch-Gruppen (trocken und nass) war die Hybridschicht mit 3,5 – 5,0 µm dicker und dicht infiltriert (siehe Abb. 38). Die trichterförmigen Resin Tags wiesen im peritubulären Bereich eine trianguläre Hybridisierung auf, wie dies häufig bei der Anwendung von Total-Etch-Systemen beobachtet wird.

SELF-ETCH – trockenes Dentin



SELF-ETCH – nasses Dentin

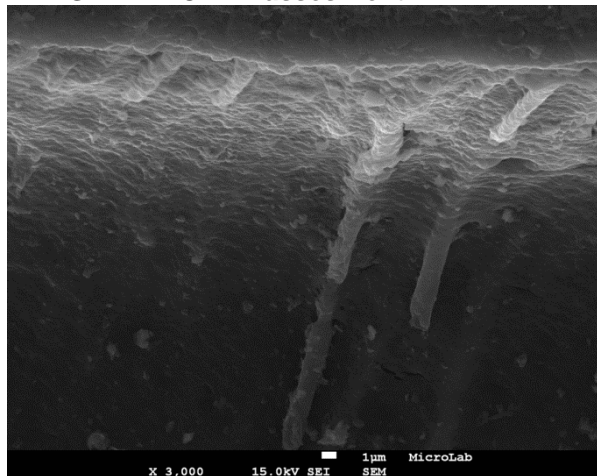
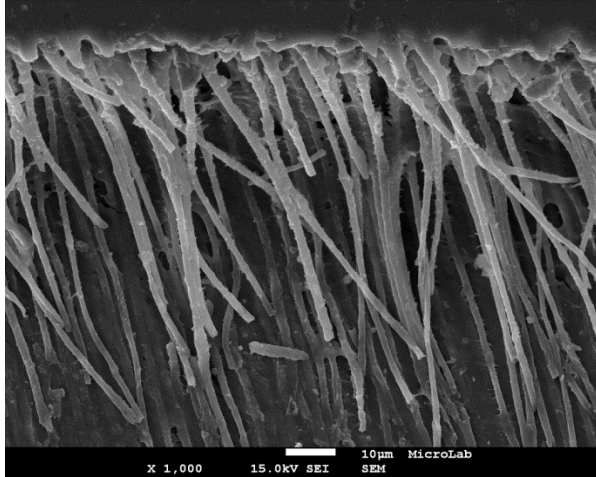


Abb. 37: REM-Aufnahme (x 3000) der Dentintubuli nach Applikation von Adhese Universal in Kombination mit der Self-Etch-Technik unter trockenen (links) und nassen (rechts) Bedingungen. M. Lopes, Universität Lissabon, August 2013

TOTAL-ETCH – trockenes Dentin



TOTAL ETCH – nasses Dentin

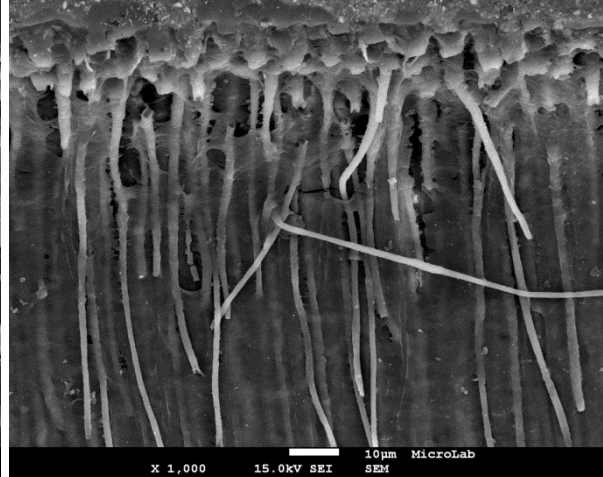


Abb. 38: REM-Aufnahme (x 1000) der Dentintubuli nach Applikation von Adhese Universal in Kombination mit der Total-Etch-Technik unter trockenen (links) und nassen (rechts) Bedingungen. *M. Lopes, Universität Lissabon, August 2013*

Schlussfolgerung: Die REM-Aufnahmen zeigen eine relativ einheitliche mechanische Verankerung und Versiegelung der Dentintubuli unter allen Bedingungen – was die Annahme untermauert, dass Adhese Universal nicht nur einen starken Verbund zu Dentin herstellt, sondern auch vor Hypersensibilität schützt. In Abb. 37 sind mehr Dentintubuli als in Abb. 38 sichtbar (unabhängig von der Vergrößerung) da aufgrund der Anwendung der Total-Etch-Technik der Smear Layer entfernt wurde. Die ähnlichen Ergebnisse bei trockenem und feuchtem Substrat können als Bestätigung der geringen Technikempfindlichkeit von Adhese Universal gesehen werden.

9. Klinische Untersuchungen

Klinische Untersuchungen sind der verlässlichste Weg, um die klinische Wirksamkeit einer restaurativen Behandlung mit Adhäsiven zu prüfen.³¹ Adhese Universal wird seit dem Verkaufsstart in der internen Klinik angewendet und dessen klinische Leistungsfähigkeit beobachtet.

9.1 Klinisches Verhalten von Adhese Universal in Klasse-I- und Klasse-II-Kavitäten

9.1.1 Etch & Rinse-Technik

F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL. Bericht nach 12 Monaten, 2015

Im Rahmen einer Anwendungsbeobachtung wird das klinische Verhalten von Adhese Universal in der Etch & Rinse (Total-Etch) -Technik bei Füllungen in Klasse-I- und Klasse-II-Kavitäten untersucht. Ziel ist, potentielle postoperative Sensibilitäten zu erfassen und die Randqualität der Compositefüllungen zu beurteilen.

Inzwischen stehen Untersuchungsergebnisse 12 Monate nach Behandlung zur Verfügung.

Methode: 40 Füllungen wurden von 4 verschiedenen Zahnärzten der F&E Klinik unter Verwendung von Adhese Universal in Kombination mit der Etch & Rinse (Total-Etch)-Technik in vitalen Zähne eingesetzt. Die Wahl der Darreichungsform – VivaPen oder Flasche – blieb dem Zahnarzt überlassen. Nachuntersuchungen finden nach einer Woche (Baseline) sowie nach 6, 12, 24 und 36 Monaten statt.

Die Schmelzränder wurden 30 Sekunden lang mit Total-Etch geätzt, das Dentin 15 Sekunden lang. Das Ätzgel wurde mit Wasser abgespült und die Kavitäten mit Luft getrocknet, bis das weiße Ätzmuster auf dem Schmelz erkennbar war. Beginnend mit dem Schmelz wurde Adhese Universal in die Kavitätenoberflächen 20 Sekunden lang einmassiert, mit Druckluft verblasen und mit einer Bluephase Style 10 Sekunden lang lichtgehärtet. Optional konnte als initiale Schicht Tetric EvoFlow appliziert und separat lichtgehärtet werden. Alle Füllungen wurden dann mit Tetric EvoCeram Bulk Fill in Inkrementen von maximal 4 mm Dicke ergänzt. Jedes Inkrement wurde 10 Sekunden mit einer Bluephase Style lichtgehärtet.

Die Baseline-Untersuchung erfolgte durch den jeweiligen Zahnarzt ungefähr eine Woche nach dem Legen der Füllung. Eine klinische Untersuchung wurde durchgeführt, die ästhetische Eingliederung und die Randqualität beurteilt. Die Patienten wurden zudem nach ihrem persönlichen Empfinden im Hinblick auf postoperative Sensibilitäten und Okklusion befragt. Die Evaluierungskriterien der FDI³² kamen dabei zum Einsatz: 1 = klinisch ausgezeichnet, 2 = klinisch gut, 3 = klinisch zufriedenstellend, 4 = klinisch nicht zufriedenstellend (aber reparierbar) und 5 = klinische mangelhaft (Ersatz nötig). Die Okklusion wurde überprüft und bei Bedarf korrigiert.

Ergebnisse

Von den 40 gelegten Füllungen waren 16 Klasse-I- und 24 Klasse-II-Füllungen. Bisher konnten 37 Füllungen nach 12 Monaten nachuntersucht werden. Die für das Adhäsiv relevanten Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt (ästhetische Faktoren, die die Füllungen betreffen, werden hier nicht diskutiert).

Applikation von Adhese Universal: Die Applikation des Adhäsivs mit dem VivaPen und beflockter Kanüle war unproblematisch, ebenso wie die Verwendung der Flasche. Die Viskosität des Materials erlaubte eine schnelle Benetzung aller Klebeflächen, nach dem Verblasen mit einem starken Luftstrom verblieb ein sichtbarer, dünner Film, Pfützenbildung wurde nicht beobachtet. Die Lichtempfindlichkeit war unauffällig, es wurde keine vorzeitige Aushärtung festgestellt. Die Composites Tetric EvoFlow und Tetric EvoCeram Bulk Fill

konnten einfach auf die Adhäsivschicht appliziert und gut an die Kavitätenwände adaptiert werden.

Postoperative Sensibilität: Beim Baseline-Befund nach einer Woche, sowie nach 6 und 12 Monaten wurden alle Restaurationen bezüglich postoperativen Beschwerden mit 1 (100%) beurteilt, d.h. bei Untersuchung mit Kältespray und Perkussionskontrolle zeigte sich keine Hypersensibilität sowie eine normale Vitalität.

Randqualität der Restauration:

Nach 12 Monaten konnten 37 Restaurationen nachuntersucht werden. Alle Füllungen zeigten FDI-Bewertungen zwischen sehr gut und gut. Bezüglich Randverfärbung konnten durchschnittlich 99.5% der gesamten Füllungsränder als klinisch ausgezeichnet (FDI Wertung 1) und 0.5% als „klinisch gut“ (FDI Wertung 2) beurteilt werden. Minimale Unregelmäßigkeiten in Form von weisslichen Rändern betrafen nur kurze Abschnitte der Füllungsränder. Dabei waren durchschnittlich 10.9% der gesamten Füllungsränder betroffen und wurden als deshalb als „klinisch gut“ bewertet.

| Aesthetic, functional and biological properties after 12 months | | Mean % of total margin length (SQUACE) | | | | | |
|---|------------------------|--|----------------|-------------------|---------------|-------------------------|------------------|
| | | A = aesthetic | B= functional | | | | C= biological |
| FDI Grading | Corresp. USPHS-grading | Marginal Staining | Submargination | Marginal fracture | Marginal gaps | Marginal Irregularities | Secondary Caries |
| 1. Excellent | A | 99.5±2.3 | 99.7±1.6 | 100.0 | 99.9±0.8 | 89.1±13.2 | 100.0 |
| 2. Good | | 0.5±2.3 | 0.3±1.6 | 0 | 0.1±0.8 | 10.9±13.2 | 0 |
| 3. Satisfactory | B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4. unsatisfactory (but repairable) | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5. poor (replacement necessary) | D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 12: FDI-Bewertung der mit Adhese Universal gelegten Füllungen (Etch & Rinse) in Kavitäten der Klassen I und II. *F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL, 2015*

Auf den folgenden Aufnahmen (Abb. 39 a – f) ist eine mit 1 beurteilte Restauration abgebildet, die mit Adhese Universal gelegt worden war:



Abb. 39a: Ausgangssituation – insuffiziente Amalgamfüllung in Zahn 26 (Spiegelbild)



Abb. 39b: Applikation von Adhese Universal



Abb. 39c: Situation nach Legen der Füllung. Adhese Universal und Tetric EvoCeram Bulk Fill wurden verwendet. Die Fissuren wurden charakterisiert und die Ränder poliert.



Abb. 39d: Baseline-Situation nach ca. einer Woche – klinisch problemlos.



Abb. 39e: klinische Situation nach 6 Monaten



Abb. 39f: Klinische Situation nach 12 Monaten mit ausgezeichneter Randqualität der Füllung

F&E Klinik, Ivoclar Vivadent FL, 2014 - 2015

Schlussfolgerung

Bei Verwendung eines Standard-Etch & Rinse-(Total-Etch)-Protokolls zeigte Adhese Universal ausgezeichnete Ergebnisse in Klasse-I- und Klasse-II-Kavitäten. Die Ergebnisse

der klinischen Untersuchung nach 12 Monaten lassen darauf schliessen, dass das Adhäsiv im Hinblick auf postoperative Sensibilitäten unproblematisch ist. Die mit Adhese Universal gelegten Composite- Füllungen zeigten eine sehr gute Randqualität. Die Applikation mittels VivaPen funktionierte reibungslos und ohne Probleme.

9.1.2 Self-Etch-Technik

F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL, Bericht nach 6 Monaten, 2015

Methode: 20 Kavitäten der Klassen I/II wurden von 4 verschiedenen Zahnärzten unter Verwendung von Adhese Universal in der Self-Etch-Technik in Kombination mit Tetric EvoCeram Bulk behandelt. Alle Restaurationen wurden ca. 1 Woche nach Behandlung (Baseline) und nach 6 Monaten untersucht.

Beginnend mit dem Schmelz wurde Adhese Universal in die Kavitätenoberflächen 20 Sekunden lang einmassiert, mit Druckluft verblasen und mit einer Bluephase Style 10 Sekunden lang lichtgehärtet. Optional konnte als initiale Schicht Tetric EvoFlow appliziert und separat lichtgehärtet werden. Alle Füllungen wurden dann mit Tetric EvoCeram Bulk Fill in Inkrementen von maximal 4 mm Dicke ergänzt. Jedes Inkrement wurde 10 Sekunden mit einer Bluephase Style lichtgehärtet.

Alle Restaurationen wurden klinisch auf ästhetische, funktionelle und biologische Funktion untersucht und nach FDI-Kriterien bewertet. Die semiquantitative klinische Beurteilungsmethode (SQUACE) wurde verwendet.

Ergebnisse:

Keine der Füllungen verursachte materialbedingte postoperative Sensibilitäten. Beim 6-Monats-Recall waren alle Restaurationen noch in situ und wurden zwischen 1 (klinisch ausgezeichnet) und 3 (klinisch zufriedenstellend) bewertet (siehe Tabelle 13). Bezüglich Randverfärbungen wurden 99.5% des Randes als ausgezeichnet bewertet. Randunregelmässigkeiten wurden in nur 28% des Randes beobachtet (Bewertung 2). Es wurden keine materialbedingten postoperativen Beschwerden festgestellt.

| Aesthetic, functional and biological properties after 6 months | | Mean % of total margin length (SQUACE) | | | | | |
|--|------------------------|--|----------------|-------------------|---------------|-------------------------|------------------|
| | | A = aesthetic | B= functional | | | | C= biological |
| FDI Grading | Corresp. USPHS-grading | Marginal Staining | Submargination | Marginal fracture | Marginal gaps | Marginal Irregularities | Secondary Caries |
| 1. Excellent | A | 99.5±2.2 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 72.0±27.6 | 100.0 |
| 2. Good | | 0 | 0 | 0 | 0 | 28±27.6 | 0 |
| 3. Satisfactory | B | 0.5±2.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4. unsatisfactory (but repairable) | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5. poor (replacement necessary) | D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 13: FDI-Bewertung der mit Adhese Universal gelegten Füllungen (Self-Etch) in Kavitäten der Klassen I und II. F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL, 2015

Schlussfolgerung

Adhese Universal zeigte in Kombination mit der Self-Etch-Technik ausgezeichnete Ergebnisse bei Füllungen der Kavitätenklassen I und II nach 6 Monaten. Es wurden keine postoperativen Überempfindlichkeiten berichtet.

9.2 Adhese Universal (Self-Etch) bei Klasse-V-Füllungen

F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL, Bericht nach 6 Monaten, 2015

Method: 20 Klasse-V-Füllungen wurden von 4 verschiedenen Zahnärzten unter Verwendung von Adhese Universal in der Self-Etch-Technik mit Tetric EvoCeram, Tetric EvoFlow oder Empress Direct gelegt.

Beginnend mit dem Schmelz (sofern vorhanden) wurde Adhese Universal in die Kavitätenoberflächen 20 Sekunden lang einmassiert, mit Druckluft verblasen und mit einer Bluephase Style 10 Sekunden lang lichtgehärtet. Entsprechend der klinischen Situation wurde Tetric EvoFlow, Tetric EvoCeram oder Empress Direct in Schichttechnik aufgetragen. Jede Schicht wurde 10s mit einer Bluephase Style ausgehärtet (1100mW/cm²).

Nach 6 Monaten wurden 18 Füllungen durch den jeweiligen Zahnarzt nachuntersucht und nach FDI-Kriterien bewertet. Die semiquantitative klinische Beurteilungsmethode (SQUACE) wurde verwendet.

Ergebnisse: Bei keiner Füllung wurden durch das Material verursachte postoperative Sensibilitäten festgestellt. Alle 18 nachuntersuchten Füllungen (2 drop-outs) zeigten ausgezeichnete klinische Ergebnisse. Randunregelmäßigkeiten waren auf kleine Randbereiche beschränkt (siehe Tabelle 14).

| Aesthetic, functional and biological properties after 6 months | | Mean % of total margin length (SQUACE) | | | | | |
|--|---------------------------|--|----------------|-------------------|---------------|-------------------------|------------------|
| | | A = aesthetic | B= functional | | | | C= biological |
| FDI Grading | Corres p. USPH S-gradin g | Marginal Staining | Submargination | Marginal fracture | Marginal gaps | Marginal Irregularities | Secondary Caries |
| 1. Excellent | A | 96.7±11.8 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 84.2 ±19.1 | 100.0 |
| 2. Good | | 3.3±11.8 | 0 | 0 | 0 | 15.0±19.5 | 0 |
| 3. Satisfactory | B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8±3.5 | 0 |
| 4. unsatisfactory (but repairable) | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5. poor (replacement necessary) | D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 14: FDI-Bewertung der mit Adhese Universal gelegten Füllungen (Self-Etch) in Klasse V Kavitäten. F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL, 2015



a) Ausgangssituation, Zahn Nr. 22



b) Applikation von Adhese Universal mit dem VivaPen



c) Situation 1 Woche nach der Behandlung. Die Füllung ist klinisch einwandfrei mit perfekter Randqualität



d) Situation nach 6 Monaten. Die Füllung ist klinisch einwandfrei mit perfekter Randqualität

Abb.40: Klasse-V-Füllung mit Adhese Universal und Empress Direct. F&E Klinik Ivoclar Vivadent, FL, 2014 - 2015

10. Biokompatibilität

Einleitung

Medizinprodukte sind strengen Anforderungen unterworfen, die darauf abzielen, Patienten und Anwender vor möglichen biologischen Risiken zu schützen. Die ISO Norm 10993 „Biologische Beurteilung von Medizinprodukten“ gibt vor, wie die biologische Sicherheit eines Medizinproduktes zu evaluieren ist. Des Weiteren unterstehen Medizinprodukte der ISO Norm 7405 „Beurteilung der Biokompatibilität von in der Zahnheilkunde verwendeten Medizinprodukten“. Die Biokompatibilität von Adhese Universal wurde anhand dieser Normen untersucht.

Zytotoxizität

Zytotoxizität ist die zellschädigende Wirkung einer Substanz oder eines Substanzgemisches. Im sogenannten XTT-Zytotoxizitätstest wird in Zellkultur untersucht, ob eine Substanz Zelltod oder Hemmung der Zellvermehrung auslöst. Der XTT₅₀-Wert ist dabei die Konzentration einer Substanz, die die Zellzahl auf die Hälfte reduziert. Je geringer der XTT₅₀-Wert, desto zellschädigender ist eine Substanz.

Ungehärtetes Adhese Universal wurde in vitro auf Zytotoxizität getestet (I). Wie aufgrund seiner Monomer-Zusammensetzung zu erwarten, war Adhese Universal im XTT Assay mässig zytotoxisch. Der XTT₅₀-Wert betrug 138.1µg/ml. Im Verlauf der Polymerisation des Adhäsivs reagieren die zytotoxischen Stoffe (Monomere) und werden immobilisiert; d.h. der zytotoxische Effekt des ungehärteten Adhäsivs ist zeitlich begrenzt. Um das Risiko eines zytotoxischen Effektes auf die Pulpa in sehr tiefen Kavitäten zu reduzieren, muss die Pulpa punktförmig mit einem Calciumhydroxidpräparat abgedeckt werden (z.B. ApexCal) und anschliessend mit einem druckstabilen Zement überschichtet werden (z.B. Glasionomierzement wie Vivaglass Liner). Die meisten Dentaladhäsive im klinischen Einsatz weisen ein vergleichbares initiales zytotoxisches Potential auf, negative Auswirkungen sind jedoch bisher nicht beobachtet worden. Wird Adhese Universal gemäss Gebrauchsinformation angewendet, so ist das Risiko für den Patienten und Anwender gegenüber dem Gesamtnutzen vernachlässigbar.

Genotoxizität

Genotoxizität ist die genschädigende Wirkung einer Substanz oder eines Substanzgemisches.

Mit Adhese Universal wurde ein Ames Mutagenitätstest zur Beurteilung einer möglichen genschädigenden Wirkung durchgeführt (II). Es zeigte sich, dass Adhese Universal keine Genmutationen durch Veränderungen der Basenpaare oder Frameshift im Genom der verwendeten Stämme induziert. Adhese Universal kann daher als nicht genotoxisch betrachtet werden.

Reizung und Sensibilisierung

Wie alle Composite-basierten Materialien enthält Adhese Universal Methacrylat- und Acrylat-Derivate. Diese Materialien können reizend wirken und zu Sensibilisierungen führen. Dies kann zu allergischer Kontaktdermatitis führen. Allergische Reaktionen sind äusserst selten bei Patienten, kommen jedoch häufiger beim Dentalpersonal vor, das täglich mit unausgehärtetem Composite arbeitet. Diese Reaktionen können durch saubere Arbeitsbedingungen und das Vermeiden von Hautkontakt mit unpolymerisiertem Material reduziert werden. Handelsübliche Handschuhe wie z.B. Latex- oder Vinylhandschuhe bieten keinen wirksamen Schutz gegen den sensibilisierenden Effekt solcher Bestandteile.

Schlussfolgerung

Aus den durchgeführten Tests auf Toxizität und Mutagenität von Adhese Universal lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Ungehärtetes Adhese Universal ist aufgrund seiner Monomer-Zusammensetzung zytotoxisch. Nach der Polymerisation sind die Monomere im Polymernetzwerk immobilisiert, sodass der zytotoxische Effekt kurz nach der Applikation des Adhäsivs minimiert wird.
- Adhese Universal kann speziell in ungehärtetem Zustand zu einer Sensibilisierung gegenüber Methacrylaten führen. Das ist typisch für alle Composite-basierten Dentalmaterialien.
- Aufgrund der vorliegenden Informationen kann Adhese Universal als nicht genotoxisch betrachtet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass Adhese Universal für die Anwendung an Menschen sicher ist, sofern das Produkt gemäss Gebrauchsinformation angewendet wird. Mögliche Nebenwirkungen wie eine Sensibilisierung gegenüber Methacrylaten treten eher selten bei Patienten auf und das Risiko ist gegenüber dem Gesamtnutzen, den das Produkt bietet, vernachlässigbar.

Toxikologische Daten

- (I). Heppenheimer A. Cytotoxicity assay in vitro (XTT-Test). Harlan Report Nr. 1543002. 2013.
- (II). Sokolowski A. Salmonella typhimurium and Escherichia coli reverse mutation assay. Harlan CCR Report Nr. 1543001. 2013.

11. Referenzen

1. Kugel G. J Am Dent Assoc 131, No suppl 1 20S-25S
2. Bowen R L. Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of Bis phenol and glycidyl acrylate. 1962; Patent No: 3,066,112.
3. Eisenmann D R (1998). Enamel structure. In: Oral Histology Development, Structure and Function. A R Ten Cate editor. St. Louis: Mosby, pp. 218-235.
4. Schroeder H E. Oral Structural Biology. Thieme; New York 1991
5. Alhadainy H A, Abdalla Al. 2-year clinical evaluation of dentin bonding systems. Am J Dent 1996; 9: 77-79.
6. Van Meerbeek B, Peumans M, Verschueren M, Gladys S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Clinical status of ten dentin adhesive systems. J Dent Res 1994; 73: 1690-1702.
7. Gwinnett A J. Quantitative contribution of resin infiltration/hybridization to dentin bonding. Am J Dent 1993; 6:7-9.
8. Gwinnett AJ. Dentin bond strength after air drying and rewetting. Am J Dent 1994; 7: 144-148.
9. Buonocore M G. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 1955; 34: 849-853.
10. Silverstone L M, Saxton C A, Dogon I L, Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. Caries Res 1975; 9 (5): 373-387
11. Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Tome A R, Vanherle G, Lopes A B. Morphological field emission-SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentin. Dent Mater 1996; 12: 262-71
12. Pashley D H, Ciucci B, Sano H, Horner J A. Permeability of dentin to adhesive agents. Quintessence Int. 1993; 24: 618-631
13. Van Meerbeek B, Vargas S, Inoue S, Yoshida Y, Peumans M, Lambrechts P, Vanherle G. Adhesives and cements to promote preservation dentistry. Operative Dentistry 2001. (Supplement 6) 119-144
14. Hashimoto M, Tay F R, Svizero N R, de Gee A J, Feilzer A J, Sano H, Kaga M, Pashley D H. The effects of common errors on sealing ability of total-etch adhesives. Dent Mater 2006; 22: 560-568.
15. van Dijken J W, Sunnegardh-Gronberg K. A four-year clinical evaluation of a highly filled hybrid resin composite in posterior cavities. J Adhes Dent 2005; 7: 343-349.
16. Knitter K, Lösche GM, Blunck U. Effectiveness of Excite/Tetric Ceram in Class-II-restorations after three years. J Dent Res 2005; 84 (Spec Is B):Abstract# 0333.
17. Buonocore M G. Principles of adhesive retention and adhesive restorative materials. J. Am Dent Assoc. 1963 Sep; 67: 382-91.
18. Huget E F, Denniston J C, Vilca J M. Dentin adhesives: a perspective. Military Medicine 1979; 144: 619-620
19. Crim G A, Swartz M L Phillips R W. An evaluation of cavosurface design and microleakage. Gen Dent 1984; 32: 56-58
20. Frankenberger R, Schipper H M, Roggendorf M J. Adhäsivtechnik 2010 – Etch and Rinse oder Self Etch Systeme? Quintessenz 2010; 61 (5): 537-542
21. Ozer F, Blatz MB. Self-etch and etch-and-rinse adhesive systems in clinical dentistry. Compend Contin Educ Dent. 2013 Jan;34 (1):12-4, 16, 18
22. Cardoso M V, Yoshida Yasuhiro, Van Meerbeek B. Adhesion to tooth enamel and dentin – a view on the latest technology and future perspectives. Chapter 3 from: Roulet J-F, Kappert H F. Statements – Diagnostics and therapy in dental medicine today and in the future. Quintessenz Publishing 2009

23. Frankenberger R. Adhäsivtechnik 2009 – Neuigkeiten Tipps und Trends. Quintessenz 2009; 60 (4) 415-423
24. The Dental Advisor. Understanding the newest generation of adhesives : Universal Bonding Agents. March 2013 Vol. 30, No.2.
25. Lehmann F, Kern M. Beständigkeit des Klebeverbundes zu Lithiumdisilikatkeramik bei Verwendung verschiedener Primer/Klebersysteme. Endbericht.
26. Haller B, Blunck U. Übersicht und Wertung der aktuellen Bonding-systeme. ZM 2003; 93 (7): 48-58
27. Brännström M, Linden LÅ, Åstrom A: The hydrodynamics of the dental tubule and of pulp fluid. A discussion of its significance in relation to dentinal sensitivity. Caries Res. 1967; 1: 310-317.
28. Roggendorf, M. J., Kramer, N., Appelt, A., Naumann, M. & Frankenberger, R. Marginal quality of flowable 4-mm base vs. conventionally layered resin composite. Journal of Dentistry 39, 643-647 (2011).
29. Croll T P, Donly KJ. Resin-based Composite Margin Repair. Inside Dentistry. 2008, 4, 6
30. Magne P. Immediate dentin sealing: A fundamental procedure for indirect bonded restorations. J of Esthetic and Restorative Dentistry. 2005. 17;3:144-154
31. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. Dent Mater 2005; 21: 864-881.
32. Hickel R, Peschke A, Tyas M, Mjör I, Bayne S, Peters M, Hiller KA, Randall R, Vanherle G, Heintze SD. FDI World Dental Federation - clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations. Update and clinical examples. J Adhes Dent. 2010 Aug;12 (4):259-72.
33. Geurtsen W. Biocompatibility of resin-modified filling materials. Crit Rev Oral Biol Med 2000; 11: 333-335.
34. Munksgaard EC, Hansen EK, Engen T, Holm U. Self-reported occupational dermatological reactions among Danish dentists. Eur J Oral Sci 1996; 104: 396-402.
35. Sasseville D. Acrylates in contact dermatitis. Dermatitis 2012;23:6-16.
36. Geukens S, Goosens A. Occupational contact allergy to (meth)acrylates. Contact Dermatitis 2001;44:153-159.
37. Kiec-Swierczynska M. Occupational allergic contact dermatitis due to acrylates in Lodz. Contact Dermatitis 1996;34:419-422.
38. Aalto-Korte K, Alanko K, Kuuliala O, Jolanki R. Methacrylate and acrylate allergy in dental personnel. Contact Dermatitis 2007;57:324-330.
39. Kallus T, Mjor IA. Incidence of adverse effects of dental materials. Scand Journal of Dental Research 1991;99:236-240.

Wir stehen nicht für die Genauigkeit, den Wahrheitsgehalt oder die Zuverlässigkeit der von Dritten stammenden Informationen ein. Für den Gebrauch der Informationen wird keine Haftung übernommen, auch wenn wir gegenteilige Informationen erhalten. Der Gebrauch der Informationen geschieht auf eigenes Risiko. Sie werden Ihnen "wie erhalten" zur Verfügung gestellt, ohne explizite oder implizite Garantie betreffend Brauchbarkeit oder Eignung (ohne Einschränkung) für einen bestimmten Zweck.

Die Informationen werden kostenlos zur Verfügung gestellt und weder wir, noch eine mit uns verbundene Partei, können für etwaige direkte, indirekte, mittelbare oder spezifische Schäden (inklusive aber nicht ausschliesslich Schäden auf Grund von abhanden gekommener Information, Nutzungsausfall oder Kosten, welche aus dem Beschaffen von vergleichbaren Informationen entstehen) noch für pönale Schadenersätze haftbar gemacht werden, welche auf Grund des Gebrauchs oder Nichtgebrauchs der Informationen entstehen, selbst wenn wir oder unsere Vertreter über die Möglichkeit solcher Schäden informiert sind.

Ivoclar Vivadent AG
Forschung und Entwicklung
Wissenschaftlicher Dienst
Bendererstrasse 2
FL - 9494 Schaan
Liechtenstein

Inhalt: Joanna-C. Todd / Dr Erik Braziulis
Ausgabe: Juni 2015
Ersetzt Ausgabe vom: Februar 2014