



Universaladhäsive – der Weisheit letzter Schluss?

Uwe Blunck

Indizes

Adhäsivsysteme, Universaladhäsive, „Etch-and-rinse“ (E&R)-Technik, selbstätzende (SE) Adhäsive, Haftung an Zahnhartsubstanz

Zusammenfassung

Der aktuellste Stand der Entwicklung von Adhäsivsystemen für die Anwendung der Adhäsivtechnik in der täglichen Praxis sind die sogenannten Universaladhäsive. Sie zeichnen sich aus durch die Anwendung sowohl in der „Etch-and-rinse“ (E&R)-Technik als auch als selbstätzendes („self-etch“, SE) Adhäsiv, wobei dafür die selektive Phosphorsäure-Ätzung im Schmelz empfohlen wird. Über die Haftung an Zahnhartsubstanz hinaus können Universaladhäsive auch chemisch binden an Zirkonoxidkeramik und Nichtedelmetall (NEM), während die Wirksamkeit als Silan zur Haftung an glasbasierter Keramik als kritisch eingeschätzt wird. Die Anwendung als E&R-System ist weniger techniksensibel und die geringe Schichtstärke der Universaladhäsive nach Lichthärtung ist vorteilhaft bei der Eingliederung von adhäsiv befestigten indirekten Restaurationen mit dualhärtenden Befestigungskompositen. Dennoch können sie nicht universell – wie der Name eigentlich suggeriert – eingesetzt werden.

Manuskripteingang: 07.11.2024, Manuskriptannahme: 18.11.2024

Entwicklung der Adhäsivsysteme

Die heute auf dem Dentalmarkt angebotenen Adhäsivsysteme können in 3 Gruppen eingeteilt werden (Abb. 1):

- die „Etch-and-rinse“ (E&R)-Adhäsive – bezeichnet nach der Anwendung in Kombination mit Phosphorsäure, die nach einer Einwirkzeit (auf präpariertem Schmelz ca. 30 Sek., auf Dentin ca. 15 Sek.) abgesprüht wird,
- die selbstätzenden („self-etch“, SE) Adhäsive – die mit ihren sauren Monomerlösungen die Zahnhartsubstanz ätzen und gleichzeitig in die dadurch entstehenden Mikroporositäten eindringen und dort vernetzen, sowie
- die Universaladhäsive.

Was bedeutet der Begriff „Universaladhäsiv“?

Als ca. 2010 die ersten Universaladhäsive angeboten wurden, konnte berechtigt gefragt werden, was an dieser neuen Gruppe universell sei:

- Anwendbar für alle Composite, lichthärtend und Paste-Paste-Composite (häufig auch – nicht ganz korrekt – als chemisch-härtend oder autopolymerisierend bezeichnet)? – Das war mit den bisherigen beiden Adhäsiv-Gruppen bereits möglich. Eine Einschränkung besteht nur in der Kombination von sauren Monomeren in den Ein-Flaschen-E&R-Systemen und bei den SE-Adhäsiven in Kombination mit Pasten-Pasten-Kompositen.

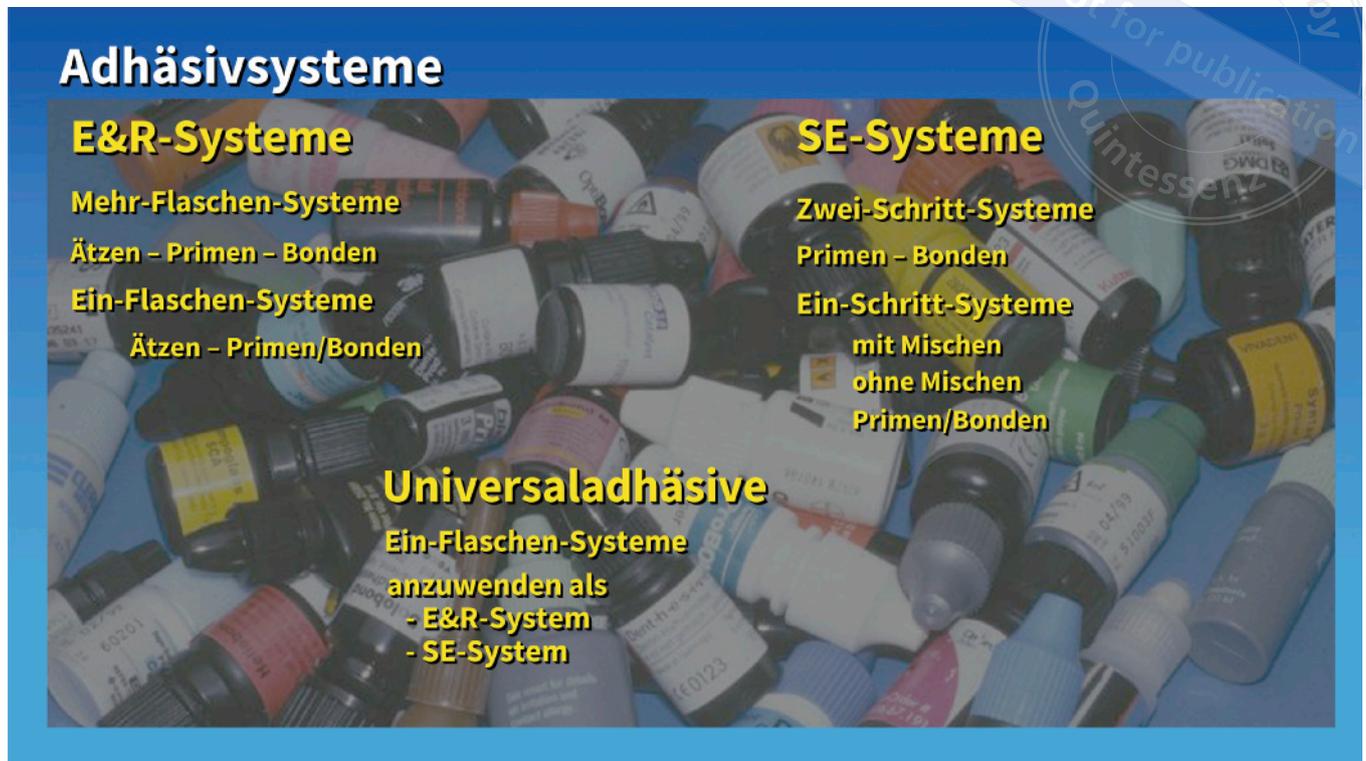


Abb. 1 Darstellung der 3 unterschiedlichen Gruppen von Adhäsivsystemen („Etch-and-rinse“ = E&R; „Self-etch“ = SE).

- Anwendbar für alle Restaurationsarten, direkt und indirekt? – Das war ebenfalls schon mit den bisher angebotenen Adhäsiven möglich.
- Anwendbar sowohl in der E&R-Technik als auch als SE-Adhäsiv? – Das war ein neuer Aspekt, denn die Wirksamkeit der bisher angebotenen SE-Adhäsive im Dentin nimmt nach vorheriger Phosphorsäure-Applikation ab und die E&R-Adhäsive zeigen in Kombination mit einer Phosphorsäure-Anwendung höhere Haftwirkung als ohne diese. Daher wird in der englischsprachigen Literatur auch häufig von „Multi-mode adhesives“ gesprochen – ein Begriff, der sicherlich passender ist.
- Anwendbar für alle Substratoberflächen, also sowohl für Schmelz und Dentin als auch für Restaurationsoberflächen nach entsprechender Vorbehandlung zur Schaffung von mikroretentiven Oberflächen? – Das wäre in der Tat eine willkommene neue Eigenschaft, vor allem bei der intraoralen Korrektur/Reparatur von Restaurationen, bei der auf sehr engem Areal die verschiedenen Substratoberflächen Schmelz, Dentin und Restauration beieinanderliegen und somit durch die Anwendung nur eines Produkts auf allen Oberflächen schneller und einfacher versorgt werden können.

Wirksamkeit der Universaladhäsive auf Zahnhartsubstanz

Auf der Suche nach wirksamen Monomeren für die Haftung im Dentin, die sowohl nach Phosphorsäure-Ätzung als auch in einer sauren Monomerlösung eingesetzt werden können, fand man das 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat (10-MDP)^{22,24}, das stabile chemische Verbindungen mit dem Calcium in Schmelz und Dentin eingehen kann. Die Länge des Monomers (Abb. 2) scheint dabei eine entscheidende Rolle zu spielen, weil durch den Abstand von 10 C-Atomen die beiden funktionellen Gruppen – die Phosphatgruppe auf der einen Seite zur Bindung an Calcium und der Methacrylat-Gruppe auf der anderen Seite zur Vernetzung mit anderen Monomeren – besonders reaktionsfreudig sind.

Das 10-MDP-Monomer bietet aufgrund seiner Länge außerdem die Möglichkeit, sich in Schichten im Nanometerbereich optimal in das Kollagenetzwerk einzufügen, weshalb es eine stabile Haftung zum Dentin aufbauen kann. Da dieses Monomer durch die Phosphatgruppe auch noch sauer ist, besitzt es zudem noch selbstätzende Eigenschaften²², sodass die Universaladhäsive in beiden Anwendungs-Modi gleich gute Wirksamkeit zeigen^{3,16}.

10-MDP

Methacrylat-Gruppe

hydrophile Phosphat-Gruppe



10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat

Abb. 2 Chemische Strukturformel von 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogenphosphat (10-MDP).



Abb. 3 Selektive Schmelzätzung mit Phosphorsäure.

Sowohl in klinischen Studien als auch in Labortests konnte diese Wirksamkeit an Schmelz und Dentin gezeigt werden^{3,15}. Dabei ist bestätigt worden, dass die Haftung an Schmelz durch eine Vorbehandlung mit Phosphorsäure erhöht wird – eine Tatsache, die schon von den klassischen SE-Adhäsiven bekannt war (Abb. 3). Metaanalysen, in denen die Ergebnisse von vielen Studien zusammengetragen und ausgewertet werden, kommen zu dem Schluss, dass die meisten untersuchten Universaladhäsive als durchaus

gleichwertig mit den Mehr-Flaschen-Adhäsiven einzuschätzen sind, die als sogenannte Goldstandard-Produkte schon seit sehr langer Zeit als Referenzprodukte in Studien eingesetzt werden^{3,16}.

Die Wirksamkeit der verschiedenen Herstellerprodukte ist dabei vom Reinheitsgrad der 10-MDP-Monomere abhängig¹⁵. Dadurch haben die großen Dentalfirmen mit umfangreichen Forschungsabteilungen und langjährigen Erfahrungen in der Monomer-Synthese Vorteile.

copyright by
not for publication
Quintessenz

Universal-Primer

Haftung an Restaurationen



Produktbeispiele:

- Clearfil Ceramic Primer Plus (Fa. Kuraray, Hatterheim a. M.)
- G-Multi Primer (Fa. GC, Bad Homburg)
- Monobond Plus (Fa. Ivoclar Vivadent, Ellwangen)

Haftung an Oberflächen von Restaurationen

Silan für glasbasierte Keramik

10-MDP Bindung an Metall- und Keramikoxide



Abb. 4 Eigenschaften der Universal-Primer.

Abgrenzung gegen Universal-Primer

Die Idee der Anwendbarkeit der Universaladhäsive für alle Substratoberflächen, also außer für Schmelz und Dentin auch für Restaurationsoberflächen, beruht ebenfalls auf der Wirkung von 10-MDP (Abb. 4). Die Phosphat-Gruppe dieses Monomers passt nämlich auch optimal in die Gitterstruktur der Zirkonoxidkeramik, sodass hohe Haftwerte zu mit Pulverstrahlgeräten vorbehandelten Zirkonoxidrestaurationen erzielt werden können. Der Begriff „Universaladhäsiv“ muss daher auch vom Begriff „Universal-Primer“ abgegrenzt werden, also von Produkten, die zur Vorbehandlung für die Haftung an allen Restaurationsoberflächen verwendet werden können. Sie werden eingesetzt zur Vorbehandlung bei der adhäsiven Befestigung von indirekten Metall- oder Keramikrestaurationen sowie bei der Reparatur dieser Restaurationen. Die dabei verwendeten Monomer-Mischungen können sowohl an Nichtedelmetall- (NEM), Edelmetall-, Glaskeramik- und Oxidkeramikoberflächen als auch an aus Komposit-CAD/CAM-Blöcken gefrästen Restaurationen eine wirksame Haftung aufbauen. Dafür enthalten sie zugleich Silane für die Haftung an Glaskeramik, Monomere, die an Metalloxide und somit auch an Zirkonoxidkeramik-

oberflächen andocken können, und Sulfidverbindungen für die Haftung an Edelmetall.

Ein spezielles Monomer in dieser Mischung ist dabei das bereits erwähnte 10-MDP, das von Fa. Kuraray (Hattersheim) patentiert wurde und wie oben dargestellt durch die sterische Anordnung der Phosphatgruppe auch optimal an das Zirkonoxid-Gerüst andocken kann. Daher waren lange Zeit die Kuraray-Produkte wie z. B. Panavia bezüglich der Wirksamkeit im Vergleich zu Mitbewerberprodukten im Vorteil. Kuraray hat auch als erste einen Universal-Primer, Clearfil Ceramic Primer Plus, entwickelt, dem nach Ablauf des Patents weitere Produkte auf dem Dentalmarkt folgten, z. B. Monobond Plus (Fa. Ivoclar Vivadent, Ellwangen) und G-Multi Primer (Fa. GC, Bad Homburg).

Damit die Phosphatgruppe im 10-MDP effektiv wirken kann, dürfen die „Andockstationen“ an den Substratoberflächen, mit denen eine chemische Bindung eingegangen werden soll, also Zirkonoxid und NEM, nicht bereits mit Phosphatgruppen besetzt sein. Das ist dann der Fall, wenn diese Oberflächen mit Phosphorsäure in Kontakt kommen. Daher ist eine Reinigung von Zirkonoxidkeramik- oder NEM-Restaurationen mit Phosphorsäure nach dem

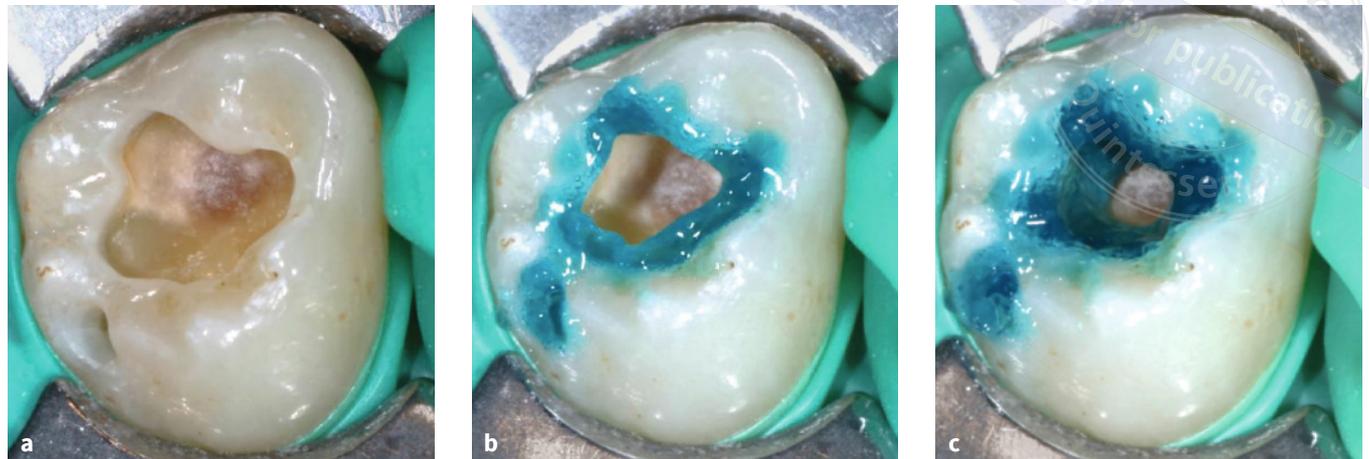


Abb. 5a bis c Aussparen der Phosphorsäure-Ätzung in pulpanahen Bereichen des Kavitätenbodens.

Pulverstrahlen mit Al_2O_3 -Pulver zu vermeiden, was für andere Substratoberflächen durchaus empfohlen wird, wenn eine chemische Haftung an diesen Oberflächen angestrebt wird. Die Kontamination mit Phosphorsäure beeinträchtigt die Haftung des 10-MDP-Monomers an Zirkonoxidkeramik- oder NEM-Restorationen²¹.

Der Begriff „Universaladhäsiv“ suggeriert nun allerdings, dass auch diese Produkte an allen Restaura-tionsoberflächen wirksam andocken können. In einer Meta-analyse¹³ konnte gezeigt werden, dass Universaladhäsive gleichwertig hohe, teilweise sogar höhere Haftwerte an Zirkonoxidkeramik erzielen, auch nach Langzeit-Wasser-lagerung und Temperaturwechselbadbelastung. Das ist durch die 10-MDP-Moleküle in den Universaladhäsiven entsprechend nachvollziehbar. Klinische Langzeitstudien gibt es zu dieser Fragestellung allerdings noch nicht.

Dagegen wird eine wirksame Haftung der Universaladhäsive an Edelmetall sowie an glasbasierten Keramiken kontrovers diskutiert: Viele Studien schätzen die silanisierende Wirkung der Ein-Flaschen-Universaladhäsive als nur eingeschränkt ein¹². Dabei ist es eine besondere Herausforderung, Silanverbindungen der sauren Monomermischung beizufügen, ohne deren silanisierende Wirksamkeit während der Lagerzeit bis zum Einsatz der Produkte zu beeinträchtigen. Zurzeit ist nur für das Produkt Scotchbond Universal Plus (Fa. 3M, Neuss) eine Silanwirkung an glasbasierter Keramik nachgewiesen worden, wobei auch bei diesem Produkt die Kombination mit einem Universal-Primer höhere Haftwerte ergeben hat²³. Daher wird für eine sichere Haftung an glasbasierter Keramik die Applikation eines Silans oder eines Universal-Primers empfohlen^{13,15}. Auch die Haftung an Metalloberflächen ist bei

Anwendung eines Universal-Primers mit spezifischen Monomeren, die eben nicht in den Universaladhäsiven enthalten sind, sicherer.

Was ist bei der Anwendung von Universaladhäsiven zu beachten?

Geringere Techniksensibilität

Obwohl die Universaladhäsive durchaus einen besonderen Meilenstein in der Entwicklung der Adhäsivsysteme darstellen, darf nicht vergessen werden: Die Wirksamkeit eines Adhäsivs ist weniger von der Auswahl des Produkts abhängig, sondern vielmehr von der korrekten Anwendung⁷. Dabei können die Universaladhäsive helfen, Fehler zu vermeiden.

Bei der Anwendung im Sinne der E&R-Technik können bei der Applikation der Phosphorsäure bewusst tiefere, pulpanahe Areale ausgelassen werden, um die durch den Kariesangriff mit Präzipitaten geschlossenen Dentintubuli nicht wieder zu öffnen. Während des Kariesangriffs werden die Dentintubuli durch Calciumphosphat-Präzipitate verschlossen. Je näher der Kavitätenboden an der Pulpa liegt, desto größer werden die Tubulidurchmesser und desto mehr Primer-Monomere können in die Pulpa diffundieren, wenn die Tubuli offen sind. Daher wird empfohlen, die Phosphorsäureapplikation in pulpanahen Arealen zu vermeiden (Abb. 5). Hier können die Universaladhäsive in beiden Applikations-Modi gezielt eingesetzt werden. Durch die Wirkung als SE-Adhäsiv an diesen Stellen wird die Gefahr vermindert, dass sich kritische Konzentrationen der kleinkettigen Monomere in der Pulpa ansammeln¹⁷.

Ein zu starkes Trocknen des Dentins nach der Phosphorsäure-Ätzung hat bei Universaladhäsiven weniger Auswirkung, da ihr Lösungsmittel zumindest zu einem größeren Teil Wasser sein muss, um auch als saures, also selbstätzendes Adhäsiv eingesetzt zu werden. Nur in Wasser liegen die Säuren in dissoziierter Form vor und können ihre Wirkung entfalten. Universaladhäsive können somit eine „Re-wetting“-Funktion übernehmen, wenn sie längere Zeit – ca. 20 bis 30 Sek. – aktiv in Bewegung auf dem Dentin einwirken können. Studien konnten zeigen, dass Universaladhäsive nach Phosphorsäure-Ätzung sowohl auf leicht feuchtem als auch auf ausgetrocknetem Dentin gleich gute Haftwerte erzielen können²¹.

Der nächste Arbeitsschritt – das Verdunsten des Lösungsmittels, bis sich die aufgetragene Lösung nicht mehr im Luftstrom bewegen lässt – ist auch bei den Universaladhäsiven wichtig und eine gewisse Herausforderung, denn das Wasser im Lösungsmittel verdunstet nicht so leicht wie Alkohol oder gar Aceton⁷.

Geringe Schichtstärke

Die Universaladhäsive sind sehr dünnfließend und bilden Schichten von ca. 8 bis 10 µm Dicke²², während ein sogenanntes Goldstandard-Produkt, OptiBond FL (Fa. Kerr dental/Nobel Biocare, Kloten/Schweiz), bei 50 bis 100 µm liegt¹. Diese dünne Schichtstärke der Universaladhäsive wird für die Eingliederung von indirekten Restaurationen als besonderer Vorteil angesehen, während für die direkte Füllungstherapie eine solche dünne Schicht eher als Problem betrachtet wird.

Bei den direkten Füllungen kann die Sauerstoff-Inhibitionsschicht, die durch die höhere Affinität der Radikale

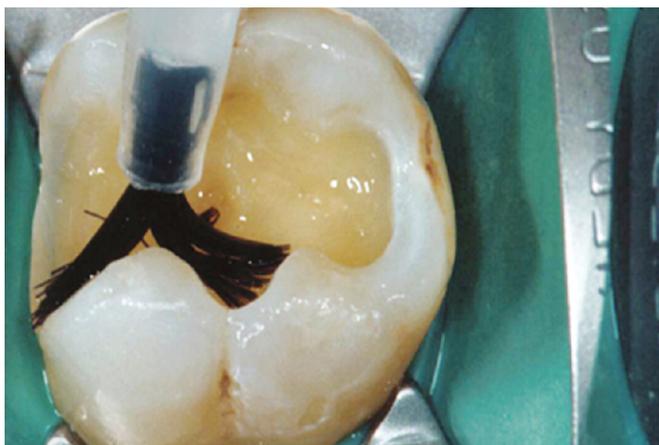


Abb. 6 Applikation eines Universaladhäsivs in einer Kavität zur Eingliederung eines Keramikinlays.

zu den Sauerstoffmolekülen als zu den Monomeren entsteht, so stark sein, dass nur die tiefsten Bereiche der Adhäsivschicht überhaupt ausgehärtet sind. Wenn nun ein Kompositinkrement direkt appliziert und lichtgehärtet wird, kann es zu Polymerisations-Schrumpfungsspannungen kommen, die den Verbund zur Zahnhartsubstanz belasten, während das Adhäsiv gleichzeitig aushärtet, weil ja erst jetzt durch den verdrängten Sauerstoff erneut Radikale gebildet werden, die auch die Adhäsiv-Monomere vernetzen²⁰. Daher wird empfohlen, auf die dünne Schicht der Universaladhäsive ein Flowable aufzutragen, das zwar ebenfalls eine Sauerstoff-Inhibitionsschicht bildet, aber das darunterliegende Adhäsiv vollkommen aushärten lässt und das Flowable gleichzeitig auch noch wegen des günstigen E-Moduls eine sogenannte Stressbrecher-Funktion übernehmen kann¹. Damit wird auch nachvollziehbar, warum die Goldstandard-Produkte so hohe Haftwerte und so gute klinische Ergebnisse zeigen: OptiBond FL und Clearfil SE Bond werden in 2 Schritten appliziert, bei der die zweite Schicht durch Füllstoffe eine gewisse Stärke zeigen, sodass die Verankerung an der Kontaktfläche zur Zahnhartsubstanz nicht durch den Sauerstoff beeinträchtigt wird. Zudem können sie wegen ihrer größeren Schichtstärke den Schrumpfstress der Komposite besser auffangen¹.

Eingliederung von indirekten Restaurationen

Dagegen besteht durch die geringe Schichtstärke der lichtgehärteten Universaladhäsive bei der Eingliederung von indirekten Restaurationen mit dualhärtenden Befestigungskompositen kaum Gefahr für eine Passungenauigkeit des adhäsiv zu befestigenden Objektes (Abb. 6). Die Lichthärtung des Adhäsivs vor dem Einsetzen der Restauration ist bei Anwendung von dualhärtenden Befestigungskompositen nötig, da ja davon ausgegangen wird, nicht in allen Fugenbereichen genügend Bestrahlungsstärke generieren zu können¹¹. Die dem dualhärtenden Befestigungskomposit beigemischten Initiatorsysteme sollen auch in den nicht vom Licht der Polymerisationslampe erreichten Bereichen eine Aushärtung sicherstellen. Dabei gab es bisher Einschränkungen in der Aushärtung an der Kontaktfläche zu sauren Adhäsivsystemen, die die alkalischen Initiatorsysteme deaktivieren. Das würde bei den Universaladhäsiven, die ebenfalls im sauren pH-Bereich – zwischen pH 1 und pH 2,5 – liegen, ebenfalls der Fall sein. Die Hersteller haben allerdings in der Kombination der eigenen Produktkette dieses Problem gelöst. Es ist also da-

rauf zu achten, dass die von den Herstellern angebotenen Kombinationen von Universaladhäsiv und Befestigungskomposit eingehalten wird.

Auch die Aushärtung der Adhäsivschicht ohne vorherige Lichthärtung durch die Initiatorsysteme des applizierten Befestigungskomposits wird von einigen Herstellern angeboten, dann aber natürlich auch nur innerhalb der eigenen Produktkette. Ansonsten bieten einige Hersteller jeweils eine weitere Komponente an, die dann „Self-cure-activator“ oder „Dual-cure-activator“ genannt werden. Sie können dem jeweiligen Universaladhäsiv beigemischt werden und dadurch die Aushärtung auch ohne Lichtpolymerisation unterstützen¹⁴.

Vorbehandlung zur Haftung an Restaurationsoberflächen

Universaladhäsive können auch für die Vorbehandlung zur Haftung an Restaurationsoberflächen eingesetzt werden. Entscheidend für die Haftung an sandgestrahlten Zirkonoxidkeramik- und NEM-Oberflächen ist dabei die Phosphatgruppe des 10-MDP. Damit diese Phosphatgruppe aber effektiv wirken kann, dürfen die „Andockstationen“ – wie oben bereits erwähnt – an den Oberflächen nicht bereits mit Phosphatgruppen besetzt sein. Dies kann für die Assistenz durch die ZFA von Bedeutung sein: Eine Reinigung von Zirkonoxidkeramik- oder NEM-Restaurationen mit Phosphorsäure nach dem Pulverstrahlen mit Al_2O_3 -Pulver beeinträchtigt die Haftung des 10-MDP-Monomers²¹.

Bei der intraoralen Reparatur einer Restauration, bei der beispielsweise sowohl eine NEM-Oberfläche als auch Schmelz- und Dentin-Areale freiliegen, kann es dadurch bisweilen schwierig werden, eine Phosphorsäurevorbehandlung für Schmelz und ggf. auch für Dentin durchzuführen, ohne dass es zur Kontamination der Metalloberfläche mit der aufgetragenen Phosphorsäure kommt. In solchen Fällen kann es sinnvoll sein, zunächst in Kombination mit einem Universaladhäsiv die Schmelz- und Dentinbereiche durch ein Flowable abzudecken und erst dann die NEM-Oberfläche mit dem Pulverstrahlgerät vorzubehandeln. Dann kann das Universaladhäsiv auf die aufgerauten Anteile des Metalls und des Flowable appliziert werden und seine volle Wirksamkeit entfalten.

Bei der intraoralen Reparatur/Korrektur von Metalloberflächen wird allgemein die Silikatisierung empfohlen, z. B. das Bestrahlen mit CoJet-Sand, sodass durch eine Silanisierung die Haftwerte generell an Metalloberflächen

erhöht wird⁶. Dann allerdings ist die Anwendung von Universaladhäsiven kritisch zu sehen, da – wie oben erwähnt – die Silanwirkung infrage gestellt wird.

Haftung an kariös verändertem Dentin

Es besteht Konsens darüber, bei tiefen Dentinläsionen von der aggressiven, auf absolute Kariesfreiheit zielende Kariesexkavation abzuweichen und an asymptomatischen, sensiblen Zähnen in Pulpanähe selektiv die Karies zu entfernen, sodass noch kariös verändertes Dentin zurückbleibt¹⁸. Voraussetzung für dieses schonende Vorgehen bei der Kariesentfernung, um die kariöse Läsion vom Substratnachschieben aus der Mundhöhle zu isolieren und damit effektiv zu inaktivieren, ist eine dichte Restauration¹⁰. Es liegen noch nicht allzu viele Studien zur Haftung von Universaladhäsiven an diesen kariös veränderten Dentinstrukturen vor, die gekennzeichnet sind durch geringere Härte, höheren Wassergehalt und dickere, an organischen Bestandteilen reiche Schmierschicht. Letztere Eigenschaft ist es, die für die geringeren Haftwerte von Adhäsivsystemen verantwortlich gemacht werden im Vergleich zu normalem Dentin⁵.

In einer Metaanalyse⁹ wurde herausgearbeitet, dass die Anwendung in der E&R-Technik als wirksamer eingeschätzt werden, während in einer Studie von Hass et al.⁹ keine signifikanten Unterschiede in den Haftwerten von 3 Universaladhäsiven an kariös verändertem Dentin zwischen den beiden Applikations-Modi gefunden wurden. Hier werden sicherlich weitere, vor allem klinische Studien benötigt.

Resümee

Universaladhäsive sind eine interessante neue Gruppe im Angebot der vielen Adhäsiv-Fläschchen und haben bereits einen großen Marktanteil erobert. Sie sind

- anwendbar sowohl in der E&R-Technik als auch als SE-Adhäsiv,
- weniger techniksensibel in der E&R-Technik,
- anwendbar zur Haftung an Zirkonoxidkeramik und NEM und dadurch vorteilhaft bei der intraoralen Reparatur.

Dennoch lassen sich die Universaladhäsive nicht uneingeschränkt universell einsetzen, wie es der Name verspricht. Aber sie werden sicherlich – gemessen an dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Studienlage – in Zukunft immer stärker eingesetzt werden können.

Literatur

1. Ahmed MH, Yao C, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. Extra bonding layer compensates universal adhesive's thin film thickness. *J Adhes Dent* 2020;22(5):483–501.
2. Azimian F, Klosa K, Kern M. Evaluation of a new universal primer for ceramics and alloys. *J Adhes Dent* 2012;14(3):275–282.
3. Cuevas-Suárez CE, da Rosa WLO, Lund RG, da Silva AF, Piva E. Bonding performance of universal adhesives: An updated systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent* 2019;21(1):7–26.
4. Cuevas-Suárez CE, de Oliveira da Rosa WL, Vitti RP, da Silva AF, Piva E. Bonding strength of universal adhesives to indirect substrates: A meta-analysis of in vitro studies. *J Prosthodont* 2020;29(4):298–308.
5. Erhardt MCG, Toledano M, Osorio R, Pimenta LA. Histomorphologic characterization and bond strength evaluation of caries-affected dentin/resin interfaces: Effects of long-term water exposure. *Dent Mater* 2008;24(6):786–798.
6. Frankenberger R, Krämer N, Sindel J. Repair strength of etched vs silica-coated metal-ceramic and all-ceramic restorations. *Oper Dent* 2000;25(3):209–215.
7. Hardan L, Bourgi R, Cuevas-Suárez CE et al. Effect of different application modalities on the bonding performance of adhesive systems to dentin: A systematic review and meta-analysis. *Cells* 2023;12(1):190.
8. Hass V, Cardenas A, Siqueira F et al. Bonding performance of universal adhesive systems applied in etch-and-rinse and self-etch strategies on natural dentin caries. *Oper Dent* 2019;44(5):510–520.
9. Isolani CP, Sarkis-Onofre R, Lima GS, Moraes RR. Bonding to sound and caries-affected dentin: A systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent* 2018;20(1):7–18.
10. Kidd EAM. How 'clean' must a cavity be before restoration? *Caries Res* 2004;38(3):305–313.
11. Lima AF. Transmission of violet and blue light and current light units through glass-reinforced ceramics with different thicknesses. *J Prosthodont Res* 2021;65(3):387–392.
12. Lima RBW, Muniz IAF, Campos DES et al. Effect of universal adhesives and self-etch ceramic primers on bond strength to glass-ceramics: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Prosthet Dent* 2024;131(3):392–402.
13. Lima RBW, Silva AF, da Rosa WLO, Piva E, Duarte RM, De Souza GM. Bonding efficacy of universal resin adhesives to zirconia substrates: Systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent* 2023;25:51–62.
14. Malaquias P, Gutiérrez MF, Sutil E et al. Universal adhesives and dual-cured core buildup composite material: Adhesive properties. *J Appl Oral Sci* 2020;28:e20200121.
15. Nagarkar S, Theis-Mahon N, Perdigão J. Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing, and clinical performance. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2019;107(6):2121–2131.
16. Rosa WL, Piva E, Silva AF. Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2015;43(7):765–776.
17. Schmalz G, Hiller KA, Nunez LJ, Stoll J, Weis K. Permeability characteristics of bovine and human dentin under different pretreatment conditions. *J Endod* 2001;27(1):23–30.
18. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L et al. Managing carious lesions: Consensus recommendations on carious tissue removal. *Adv Dent Res* 2016;28(2):58–67.
19. Takahashi A, Takagaki T, Wada T et al. The effect of different cleaning agents on saliva contamination for bonding performance of zirconia ceramics. *Dent Mater J* 2018;37(5):734–739.
20. Tang C, Mercelis B, Yoshihara K, Peumans M, Van Meerbeek B. Does the universal adhesive's film thickness affect dentin-bonding effectiveness? *Clin Oral Investig* 2024;28(2):150.
21. Tsujimoto A, Shimatani Y, Nojiri K et al. Influence of surface wetness on bonding effectiveness of universal adhesives in etch-and-rinse mode. *Eur J Oral Sci* 2019;127(2):162–169.
22. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From Buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *J Adhes Dent* 2020;22(1):7–34.
23. Yao C, Ahmed MH, De Grave L et al. Optimizing glass-ceramic bonding incorporating new silane technology in an experimental universal adhesive formulation. *Dent Mater* 2021;37(5):894–904.
24. Yoshihara K, Nagaoka N, Nakamura A et al. Nano-layering adds strength to the adhesive interface. *J Dent Res* 2021;100(5):515–521.
25. Yoshihara K, Nagaoka N, Okihara T et al. Functional monomer impurity affects adhesive performance. *Dent Mater* 2015;31(12):1493–1501.



Uwe Blunck

Dr. med. dent.
 CharitéCentrum 3 für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
 Charité – Universitätsmedizin Berlin
 Aßmannshäuser Straße 4–6
 14197 Berlin
 E-Mail: uwe.blunck@charite.de