



Dentale Adhäsion – Übliche Fehler und wie man sie vermeidet

Die korrekte Adhäsion ist ein Behandlungsschritt, der im täglichen Arbeitsablauf eines Zahnarztes von entscheidender Bedeutung ist. Sie bildet die Grundlage für alle Behandlungen, von einfachen wie einer Klasse-I-Füllung bis hin zu komplexeren wie ästhetische Frontzahnrestaurationen. Ein Fehler im Haftungsprozess kann die Ergebnisse beeinträchtigen und zu postoperativen Problemen wie Überempfindlichkeit, Schmerzen, Infiltrationen und Sekundärkaries führen, wenn diese Fehler nicht umgehend erkannt werden. Es ist daher unerlässlich zu wissen, welche Fehler während des Prozesses gemacht werden können und wie man sie vermeidet.

WAS IST ADHÄSION?

Einfach ausgedrückt: Adhäsion ist die Bindung zweier Oberflächen oder Materialien, die physikalisch, chemisch oder durch beides zusammengefügt werden. Während die Adhäsion in

der Zahnmedizin ursprünglich auf mechanischen Prinzipien basierte, verlagerte sie sich zunehmend auf die chemische Bindung.

Bei der physikalischen Bindungsmethode wird die Haftung von Materialien an die Zahnoberfläche durch mechanische Retention erreicht, z. B. die Box-Retention, wobei zusätzlich (ansonsten gesundes) Gewebe entfernt wird, um eine ausreichende Retention zu erzielen. Ein Beispiel dafür wären Restaurationen mit Silberamalgam. In der adhäsiven oder chemischen Zahnmedizin hingegen beruht die Bindung – wie der Name schon sagt – auf chemischen Adhäsivsystemen, um eine molekulare Bindung zwischen dem Restaurationsmaterial und der Zahnoberfläche zu schaffen, wodurch wir konservativer vorgehen können. Ein Beispiel sind einfache Kompositrestaurationen oder „gebondete“ Porzellanrestaurationen (Veneers).

Es gibt Fälle, in denen sowohl physikalische als auch chemische Bindungen erforderlich

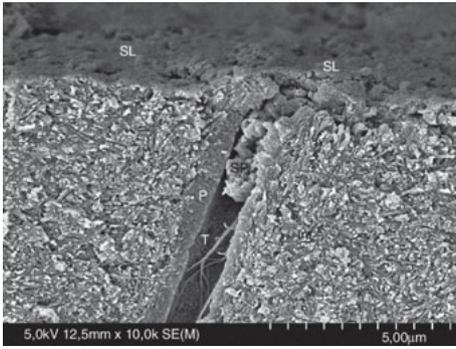


Abb. 1 FESEM-Aufnahme der Schmierschicht und des Schmierstopfens (SL = Schmierschicht, SP = Schmierstopfen, Int = intertubuläres Dentin, P = peritubuläres Dentin, T = Dentintubulus).

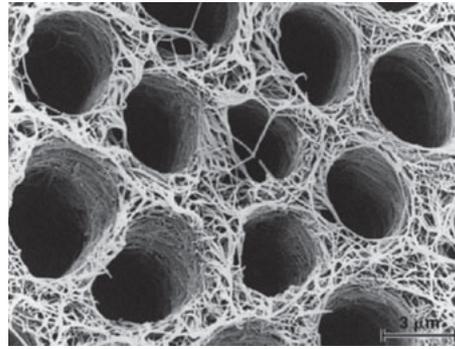


Abb. 2 Rasterelektronenmikroskopie (REM) von geätztem Dentin, das die freigelegten Kollagenfasern zeigt.

sein können. Die Haftvermittlung beider ist beispielsweise während zahnärztlicher Behandlungen mit Kronen (z. B. Metall-Keramik) notwendig, die auf präparierten Zähnen zementiert werden. Die mechanische Bindung wird durch die Metallunterkonstruktion, z. B. durch Abstrahlen des Metalls und Zahnformung während der Präparation, bereitgestellt, während adhäsive Zemente die chemische Bindung liefern. Ionomerbasierte Zemente und Kompositzemente gehören zur letzteren Gruppe.

ANGEMESSENE VORBEREITUNG VON SCHMELZ UND DENTIN

Beim Schmelz löst die Säureätzung selektiv die Schmelzprismen auf und erzeugt Mikroporositäten¹. Es ist sehr wichtig, die Säure mit reichlich Wasser zu entfernen (Wasser wird für die gleiche Dauer auf den Zahn aufgetragen, wie die Säure zuvor angewendet wurde), d. h. wenn die Säure 15 Sek. auf den Zahn aufgetragen wird, sollte das Wasser für die gleiche Zeit über den Zahn gegossen werden. Wenn dieser Schritt nicht korrekt durchgeführt wird, kann es zu einem Adhäsionsversagen kommen, da die durch die Ätzung erzeugten mikromechanischen Retentionen mit Hydroxylapatitkris-

tallen und Resten von anorganischem Material bedeckt sind, die das Ausbreiten des Adhäsivs verhindern würden².

WIE WIRD DENTIN RICHTIG VORBEREITET?

Es ist notwendig, die Dentintubuli zu öffnen und sie von der Schmierschicht zu befreien (Abb. 1 und 2). Das erste Adhäsionsprotokoll, das ein klinisch akzeptables Ergebnis zeigte, erfolgte durch die vollständige Entfernung der Schmierschicht durch einen „Total-etch“-Ansatz (jetzt als „Etch-and-rinse“ bezeichnet)³. Die „Etch-and-rinse“-Technik erfordert 2 bis 3 Schritte, je nachdem, ob der Primer und das Bonding getrennt oder in einer Flasche kombiniert sind¹.

Aufgrund der Ergebnisse von Bacelar-Sá et al. haben wir uns für eine bessere Adhäsion und damit weniger Permeabilität entschieden, indem wir ein 3-stufiges Ätzen-und-Spülen-Adhäsivsystem ohne 2-Hydroxyethylmethacrylat (HEMA) verwenden⁴.

Um eine Kontamination der Dentinoberfläche durch Speichel oder Blut und damit zukünftige Misserfolge zu vermeiden, ist es von größter Wichtigkeit, auf einem trockenen Feld mit ausreichender Isolation zu arbeiten.

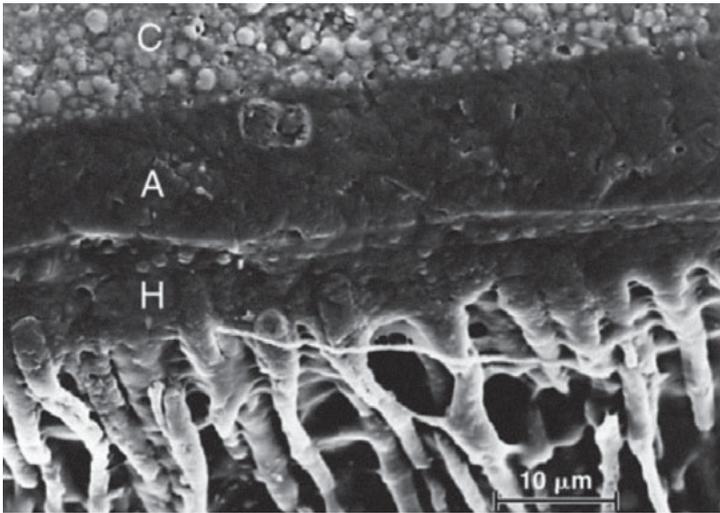


Abb. 3 REM des Übergangs zwischen Kompositharz (C = Komposit, A = adhäsive Hybrid-Schicht, H = Hybrid-Schicht-Dentin).

FEUCHTIGKEITSKONTROLLE

Im nächsten Schritt muss der Schmelz geätzt und getrocknet werden. Aber die eigentliche Herausforderung besteht darin, einen Teil der Feuchtigkeit der Dentinschicht zu erhalten, da Dentin nicht austrocknen darf und eine gewisse Feuchtigkeitsmenge enthalten muss, um ein Kollabieren der Kollagenfasern zu verhindern, was wiederum die zuvor geöffneten Dentintubuli schließen würde.

Wenn die Kollagenfasern kollabieren, können Adhäsive nicht ausreichend in die Dentintubuli eindringen, was für die Bildung der Hybridschicht, in der das polymerisierte Adhäsiv mit den „Resin tag“ innerhalb der Dentintubuli eine notwendige mikromechanische Retention der Kompositrestaurationen bildet, wesentlich ist⁵ (Abb. 3).

RICHTIGE PLATZIERUNG VON FLÜCHTIGEN LÖSUNGSMITTELN UND ADHÄSIVEN

Adhäsive enthalten flüchtige Lösungsmittel, die helfen, die Zahnoberfläche richtig zu konditionieren, die Konsistenz des Materials zu kon-

trollieren und die übermäßige Haftung am Zahn zu reduzieren, was die Modellierung der Restauration erleichtert. Darüber hinaus können Lösungsmittel Wasser von der Dentinoberfläche verdrängen und so das Kollagennetzwerk für die anschließende Infiltration des Adhäsivharzes vorbereiten¹. Die 3 Lösungsmittel sind Aceton, Alkohol und Wasser. Die 3 Komponenten müssen homogen gemischt werden, damit wir von ihnen profitieren können, weshalb es notwendig ist, die Flasche zu schütteln und die Tropfen immer vertikal auf die Mikro-Pinsel aufzutragen.

Wie wird Adhäsiv richtig auf Schmelz und Dentin aufgetragen?

- Auf Dentin sollten sanfte Reibebewegungen gemacht werden, um das Adhäsiv einziehen zu lassen².
- Auf Schmelz hingegen sollte es noch sanfter aufgetragen werden, da entkalkte Schmelzprismen aufgrund übermäßiger mechanischer Kraft abreißen könnten².

RANDSPALTBILDUNG

Eine schlechte Randabdichtung führt zu bakteriellen Infiltrationen und Randpigmentierung. Randspaltbildung tritt auf, wenn es zu einer unzureichenden Abdichtung an der Schnittstelle zwischen der Restauration und dem Zahn kommt.

Die Schnittstelle sollte immer geschlossen sein, kann aber geöffnet werden durch

- Material schrumpfung,
- okklusale Überbelastungen,
- thermische Veränderungen,
- Materialauflösung und Ermüdungsfrakturen.

All diese Faktoren würden zu 2 Hauptversagen führen: Adhäsionsversagen (Restaurationsmaterial ist nicht am Zahn gebunden) und Kohäsionsversagen (Versagen innerhalb des Materials, das gut am Zahn haftet).

Laut einer Studie von M. Mathew et al. sollte eine doppelte Schicht von gleichmäßigem Bonding aufgetragen werden, um die Randspaltbildung zu verhindern⁵.

POLYMERISATIONSVERSAGEN

Eines der häufigsten Probleme nach Kompositrestaurationen ist die postoperative Empfindlichkeit⁶. Dies wird nicht nur durch eine falsche Polymerisationstechnik verursacht, sondern auch durch erhöhte Dentinpermeabilität, Flüssigkeitslecks, Schnittstellenversagen und Materialschrumpfung, um nur einige zu nennen. Falsche Polymerisation kann durch mehrere Fehler verursacht werden, z. B. die Wellenlänge der Aushärtungswelle, die Dicke des Komposits, der Abstand von der Lampe zur Restauration und die Intensität des Lichts⁷ usw. All das bedeutet, dass wir die Feinheiten der Lampe, die wir in unseren Verfahren verwenden, und deren Leistung genau kennen müssen, um die richtigen Belichtungszeiten zu verwenden.

Die Zeit, abhängig von der Lampe und dem Material, reicht normalerweise von 10 bis 40 Sek.⁸ Die Intensität der Lampe sollte regelmäßig mit Radiometern überprüft werden⁸.

Die Lampe sollte senkrecht zur okklusalen Oberfläche so nah wie möglich an der Restauration platziert werden, damit

- das Licht alle Kompositschichten durchdringen und sie gleichmäßig polymerisieren kann,
- keine Bereiche im Schatten verbleiben.

Eine korrekte Polymerisation ist wesentlich, um eine freie oder effektive Schrumpfung des Materials zu vermeiden⁷.

DIE ZUKUNFT DER ADHÄSION – DAS PRINZIP DER BIOAKTIVEN MATERIALIEN UND DIE BEDEUTUNG DER REMINERALISIERUNG DER ZAHNSTRUKTUR

Bioaktive Materialien sind Substanzen, die mit biologischen Systemen interagieren, um spezifische biologische Reaktionen wie z. B. Geweberegeneration oder -reparatur zu fördern. Im Kontext der Zahnmedizin und dentaler Materialien sind bioaktive Materialien so konzipiert, dass sie die Heilung und Regeneration von Zahngewebe fördern, die Stabilität und Langlebigkeit von Zahnrestaurationen verbessern und die allgemeine Mundgesundheit unterstützen. Bioaktive Restaurationsmaterialien könnten das Wachstum kariogener Biofilme auf ihrer Oberfläche modulieren und massive bakterielle Säureproduktion verhindern, die zu einer Degradation der Zahn-Adhäsiv-Schnittstelle führen könnte. In diesem Zusammenhang müsste ein bioaktives Restaurationsmaterial eine zufriedenstellende mechanische Leistung beibehalten, um die Zahnform wiederherzustellen, eine angemessene Farbe und Transparenz zu bieten und ein ästhetisches Erscheinungsbild wiederherzustellen. Zudem sollte das Material Bioaktivität durch die Freisetzung spezifischer Komponenten ermöglichen, die kariogene Spezies und Biofilmbildung modulieren und spezifische Interaktionen zur Kontrolle oder Wiederherstellung des Mineralverlusts stimulieren oder beides¹².

Hydroxylapatit ist die Mineralverbindung von Zahnschmelz und Dentin und trägt zu deren Festigkeit und Härte bei. Es ermöglicht auch stabile Bindungen zwischen dem Adhäsivmaterial und der Zahnoberfläche und spielt daher eine entscheidende Rolle in der Zahnadhäsion. Aber was passiert im Falle von Erosion und Karies? Unter dem Einfluss dieser Faktoren hören die Hydroxylapatitkristalle auf zu wachsen, was zu einer Schwächung der Zahnstruktur führt.



Der Prozess der Remineralisierung zielt darauf ab, diese fehlenden Mineralien zu ersetzen, indem die Oberfläche des Zahns mit calcium- und phosphathaltigen Ionen angereichert wird, was die Ablagerung neuer Hydroxylapatitkristalle fördert. Dafür ist die Verwendung bioaktiver Materialien notwendig. Ein genauerer Blick in Sauro und Pashleys Paper zur Verwendung bioaktiver Materialien wie bioaktives Glas 45S5 (BAG), Glasionomorzemente (GIC) und modifizierte Glasionomorzemente (RMGIC) zeigt, dass BAG eine remineralisierende Oberfläche für die Bindung schafft und die Remineralisierung von Hydroxylapatit fördert, insbesondere in Kombination mit GIC und RMGIC¹³.

WIE FUNKTIONIERT DIE KOMBINATION VON BAG?

VERHINDERUNG VON ABBAU

BAG kann mit Körperflüssigkeiten reagieren, was zur Bildung von hochmolekularen Calciumphosphat (CaP)-MMP-Komplexen führt, die Matrix-Metalloproteinasen (MMP-2 und MMP-9) immobilisieren und somit den Kollagenabbau hemmen¹³.

BILDUNG EINER BIOAKTIVEN SCHMIERSCHICHT

Bioaktives Glas kann in Luftabstrahlungsgeräten verwendet werden, um eine therapeutische „bioaktive Schmierschicht“ auf Zahnhartsubstanzen zu schaffen. Diese Schicht begünstigt die Remineralisierung und den Schutz der gebundenen Schnittstelle. BAG kann Aluminiumabstrahlmittel ersetzen und wurde in der operativen Zahnmedizin für Luftabstrahlungsgeräte als Alternative zu herkömmlichen Handstücken eingeführt¹³.

IONENFREISETZENDES MATERIAL

Bei Kontakt mit Speichel unterliegt bioaktives Glas einer Auflösung, bei der Calcium- und Phosphationen freigesetzt werden. Diese Ionen erzeugen eine Calciumphosphatschicht, die zur Bildung und Erhaltung von amorphem Calciumphosphat beiträgt¹³, was wiederum die Festigkeit und Stabilität der Schnittstellen zwischen Dentin und gebundenen Materialien erhöht.

FAZIT

Damit unsere Patienten unsere Arbeit so lange wie möglich genießen können, muss der Fachmann wissen, wie er die richtigen Techniken anwendet, und sich der Fehler bewusst sein, die täglich gemacht werden können.

Wie wir gesehen haben, sind einige Präventionstechniken sehr einfach und nehmen nicht viel Zeit in Anspruch. So beispielsweise:

- Verwendung von Kofferdam,
- Vermeidung der Überdörrung von Dentin und – wenn möglich – Schutz des Dentins mit PTFE beim Trocknen des Schmelzes,
- vertikales Auftragen des Adhäsivs auf Mikro-Pinsel,
- regelmäßige Überprüfung der Lichtpolymerisationslampen, um sicherzustellen, dass sie noch mit der gleichen Leistung arbeiten,
- Lichtpolymerisation muss so nah wie möglich an der Restauration positioniert werden.

Sauro und Pashley gewähren uns mit ihrem Paper einen Blick in die Zukunft besserer Zahnadhäsion unter Verwendung einer Kombination bioaktiver Materialien. Obwohl ihre Ergebnisse sehr vielversprechend klingen, müssen dennoch weitere Studien durchgeführt werden¹³.



LITERATUR

1. Cardoso MV, de Almeida Neves A, Mine A et al. Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Aust Dent J* 2011;56(Suppl 1):31–44.
2. Herrera E. Fracasos en la adhesión. *Av Odontoestomatol* 2005;21(2):63–69.
3. Van Meerbeek B, De Munck J, Mattar D et al. Microtensile bond strengths of an etch&rins and self-etch adhesive to enamel and dentin as a function of surface treatment. *Oper Dent* 2003;28(5):647–660.
4. Bacelar-Sá R, Sauro S, Abuna G et al. Adhesion evaluation of dentin sealing, micropermeability, and bond strength of current hema-free adhesives to dentin. *J Adhes Dent* 2017;19(4):357–364.
5. Mathew M, Parameswaran Nair EK, Krishnan V K. Bonding agent is a decisive factor in determining the marginal leakage of dental composites. *J Oral Rehabil* 2001;28(1):68–77.
6. Perdigão J, Van Meerbeek B, Loguercio A. Postoperative sensitivity in adhesive dentistry: mechanisms, risk factors, and management strategies. *J Esthet Dent* 2020;32(4):301–315.
7. Estrada Moradas M, López Álvarez B. Dinámica de polimerización enfocada a reducir o prevenir el estrés de contracción de las resinas compuestas actuales. *Av Odontoestomatol* 2017;33(6):261–272.
8. Angelo DD, Grazioli G. Decálogo de buenas prácticas para el uso y mantenimiento de las Unidades de Fotocurado LEDs. *Odonto* 2023;25(41).
9. Sezinando A. Looking for the ideal adhesive – A review. *Rev Portuguesa Estomatol Med Dent Cirurg Maxilofac* 2014;55(4):194–206.
10. Heymann HO, Swift EJ, Ritter AV. *Sturdevant’s art and science of operative dentistry*. Amsterdam: Elsevier, 5. Aufl. 2006:257 (Fig 1 and 2); 65 (Fig 3)..
11. Barbero JG. *Patología y terapéutica dental*. Amsterdam: Elsevier, 2. Aufl. 2014:368–369..
12. Ferracane JL, Sidhu SK, Melo MAS, Yeo ISL et al. Bioactive dental materials. Developing, promising, confusing. Internet: [https://jadafs.ada.org/article/S2772-414X\(23\)00002-6/fulltext](https://jadafs.ada.org/article/S2772-414X(23)00002-6/fulltext). Abruf: 21.05.2024.
13. Sauro S, Pashley DH. Strategies to stabilise dentine-bonded interfaces through remineralising operative approaches – State of the art. *Int J Adhes Adhes* 2016;69:39–57.



MICHELLE VASCO HIDALGO

9. Fachsemester
Universidad CEU Cardenal Herrera
E-Mail: andreamichelle.vascohidalgo@alumnos.uhceu.es

Kennen Sie schon unsere Podcasts?



QUINTESSENCE PUBLISHING

