

Dentin Adhesives Create a Positive Bond to Dental Hard Tissue*

Dentinadhäsive schaffen einen kraftschlüssigen Verbund zur Zahnhartsubstanz

R. Frankenberger/M. Kern

Summary

The development of adhesive systems is briefly presented. The advantages of adhesively bonded ceramic restorations are discussed, as are the steps involved in creating an adhesive bond to ceramic.

Key words: adhesive technique, silicate ceramic restorations.

A natural combination

Restorations made of silicate ceramics have optically outstanding properties because their structure lets the incident light through and transmits the light into the surrounding tissue. This principle, which enhances the esthetics of ceramic restoration, is responsible for the natural color effect and makes it practically "invisible". However, the ceramic is sensitive to tensile stresses; therefore, silicate ceramic restorations must be bonded adhesively to the residual tooth. Adhesive bonding eliminates the need for mechanical retention, in contrast to cast restorations.

Zusammenfassung

Stellungnahme zur Entwicklung der Dentinadhäsive und deren klinischer Anwendung. Die Vorteile adhäsiv befestigter Restaurationen werden diskutiert sowie die Methoden, die zu einem dauerhaften Verbund führen.

Schlüsselwörter: Adhäsivtechnik, Dentinadhäsive, silikatkeramische Restaurationen

Eine natürliche Kombination

Restaurationen aus Silikatkeramik weisen optisch hervorragende Eigenschaften auf, weil sie aufgrund der Gefügestruktur das einfallende Licht passieren lassen und in das umgebende Gewebe weiterleiten. Dieses Prinzip, das die Ästhetik der keramischen Ver-

sorgung unterstützt, ist für die natürliche Farbwirkung verantwortlich und macht sie nahezu „unsichtbar“. Empfindlich ist die Keramik jedoch gegen Zugspannungen; deshalb müssen silikatkeramische Restaurationen adhäsiv mit dem Restzahn verbunden werden. Die adhäsive Befestigung erlaubt, im Gegensatz zu gegossenen Restaurationen, auf die mechanische Retention zu verzichten. Bei der Vorbereitung von Keramikinlays wird kein Federrand präpariert, da dieser keramisch kaum zufriedenstellend zu fertigen ist. Bei geschwächten Höckern kann häufig eine Überkuppelung im Sinne einer konventionellen Teilkronen vermieden werden, da diese Höcker durch die Adhäsivtechnik stabilisiert werden können.

„Versuch und Irrtum“ der Generationen

Die Bedeutung der modernen Adhäsivtechnik in der täglichen Praxis wird daran erkennbar, dass nach Erhebungen der Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. im

* This paper was presented as a lecture at the 10th annual meeting of the DGCZ German Society of Computerized Dentistry on 21 Sept. 02 in Ettlingen, Germany.
Referat, gehalten auf der 10. Jahrestagung der DGCZ am 21.9.02 in Ettlingen

No bevel is prepared when preparing for ceramic inlays, since these can scarcely be produced satisfactorily in ceramic. In the case of weakened cusps, coping in the sense of a conventional partial crown can frequently be avoided, since these cusps can be stabilized by the adhesive technique.

The importance of the modern adhesive technique in daily practice becomes apparent from surveys conducted by the Study Group for Ceramics in Dentistry (Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V.) in the past year in Germany, showing that around 1.1 million all-ceramic restorations have been bonded adhesively.

Trial and error of the generations

The evolution of dentin adhesives began about 40 years ago. In the 1960s, the adhesives of the first generation strove to achieve the bond chemically, but failed because of hydrophobia. Twenty years later, the second generation attempted to avoid removing the smear layer caused by preparation (which was still removed in the first generation), and instead to infiltrate it with monomers in order to stabilize it. However, these efforts were not rewarded by long-term clinical success.

With the third generation of dentin adhesives (from 1989 on), it became apparent that the dentin had to change from hydrophilic to hydrophobic for adhesion to apolar bonding materials. The adhesive process was divided into individual steps. After conditioning the dentin, hydrophilic monomers infiltrated with the primer into exposed dentin

structures, lining them. Thus a functional dentin adhesive was available for the first time.

The fourth generation (as of 1990) etched the dentin with phosphoric acid to detach and remove the smear layer. In the following generation, etching and bonding agents were combined in one preparation. As with every simplification of work, this was a compromise, and the adhesive bond strength decreased. At the beginning of the millennium, dentistry reverted to the proven step-by-step method of adhesive bonding (see Table 1 for overview).

Adhesively bonded ceramic restorations are better anchored

Adhesively bonded ceramic restorations are characterized by a durable and positive bond to the dental hard tissue (Fig 1). In this way, the inside of the restoration no longer represents a mechanical interface at which crack-inducing tensile stresses can become effective. This leads to a considerable increase in load bearing capacity, so that silicate ceramics with their good optical properties can be cemented durably and achieve high survival rates. Prerequisites for the bond are the acid

Table 1 Step-by-step adhesive bonding of all-ceramic restorations

| Working step | Duration (min, s) |
|---|-------------------|
| Removing the temporary filling and cleaning the cavity | 02:00 |
| Fitting the restoration | 01:00–15:00 |
| Rubber-dam | 05:00–10:00 |
| Total etching (enamel 30 s, dentin 15 s) = etching from peripheral to central | 00:30 |
| 30 s spraying off | 00:30 |
| Water-containing primer: drying to visualize the etching pattern | 00:10 |
| Alcohol/acetone-based systems: drying to visualize the etching pattern, moisten dentin again with microbrush and water (re-wetting) | 00:15 |
| Apply primer and let it act or rub it in | 00:30 |
| Water-containing primer: active drying to evaporate the water | 00:15 |
| Alcohol/acetone-based systems: solvent evaporates more easily and does not have to be blown off so strongly | 00:05 |
| Apply bonding agent, rub in briefly, turn away operating light, blow off | 00:15 |
| Dual curing bondings advantageous! | |
| Do not photopolymerize the bonding! | |
| Inlay pretreatment with hydrofluoric acid, adhesive silane and bonding, blow off | 08:00 |
| Application of the bonding composite | 00:15 |
| Bring inlay into final position, remove surpluses and cover adhesive joint with glycerine gel | 03:00 |
| Photopolymerization: Start proximally, total approx 240 s | 04:00 |
| Removal of surplus with scaler | 00:30 |
| Trimming with very fine grain diamond and finishing strips | 05:00 |
| High-gloss polishing for sealing microcracks, acts against fractures | 05:00 |
| Fluoride application | 00:30 |

vergangenen Jahr in Deutschland ca. 1,1 Millionen Restaurationen aus Vollkeramik adhäsiv befestigt worden sind. Die Evolution der Dentinadhäsive begann früh. Die Präparate der ersten Generation versuchten in den 60er Jahren den Verbund chemisch zu erreichen, was aber aufgrund der Hydrophobie scheiterte. Die zweite Generation versuchte 20 Jahre später, die präparationsbedingte Schmierschicht, die in der ersten Generation noch entfernt wurde, zu belassen, sie mit Monomeren zu infiltrieren und somit zu stabilisieren. Ein dauerhafter klinischer Erfolg blieb jedoch versagt. Mit der dritten Generation Dentinadhäsive (ab 1989) reifte die Erkenntnis, dass eine Umstellung des Dentins von hydrophil auf hydrophob zur Anbindung an apolare Bondingmaterialien erfolgen musste. Der Klebevorgang wurde in Einzelschritte aufgeteilt. Nach der Konditionierung des Dentins erfolgte mit dem Primer die Infiltration hydrophiler Monomere, die eine Auskleidung freiliegender Dentinstrukturen erreichten. Damit stand erstmals ein funktionierendes Dentinadhäsiv zur Verfügung.

Die vierte Generation (ab 1990) bot die Ätzung des Dentins mit Phosphorsäure, um die Schmierschicht aufzulösen und zu entfernen. In der nachfolgenden Generation wurden Ätzmittel und Bonding in einem Präparat zusammengefasst. Wie bei jeder Vereinfachung von Arbeitsschritten war dies ein Kompromiss – die Werte für die Haftwirkung sanken wieder. Mit dem Jahrtausendbeginn besinnt sich die Zahnmedizin beim adhäsiven Befestigen wieder auf die Step-by-Step-Methode, um an die vorangegangene, bewährte Fügetechnik anzuknüpfen (Übersicht siehe Tabelle 1).

Adhäsiv verbundene Keramik haftet besser

Adhäsiv befestigte Keramik-Restaurationen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie durch einen dauerhaften und kraftschlüssigen Verbund an der Zahnhartsubstanz verankert werden (Abb. 1). Damit stellt die Restaurations-Innenseite keine mechanische Grenzfläche mehr dar, an der rissauslösende Zugspannungen wirksam werden können. Dies führt zu einer erheblichen Erhöhung der Belastbarkeit, so

dass Silikatkeramiken mit ihren guten optischen Eigenschaften dauerhaft verklebt werden können und hohe Überlebensraten erzielen. Voraussetzung für den Verbund ist die Säure-Ätztechnik am Zahnschmelz (Abb. 2), die Konditionierung der keramischen Fügefläche (Ätzung mit Flussäure, Silanisierung) und die Verwendung eines Komposit als Befestigungswerkstoff. Dentinadhäsive sind bei freigelegtem Dentin für den Verschluss der Dentintubuli zwingend notwendig, um postoperative Be-

Tab. 1 Adhäsives Befestigen vollkeramischer Restaurationen Step-by-Step.

| Arbeitsschritt | Dauer (min, sec) |
|---|------------------|
| Entfernen des Provisoriums und Reinigen der Kavität | 02:00 |
| Einpassen der Restauration | 01:00–15:00 |
| Kofferdam | 05:00–10:00 |
| Total Etching (Schmelz 30 s, Dentin 15 s) = von peripher nach zentral ätzen | 00:30 |
| 30s Absprayen | 00:30 |
| Wasserhaltiger Primer: | |
| Trocknen zur Visualisierung des Ätzmusters | 00:10 |
| Alkohol-/Aceton-basierte Systeme: | |
| Trocknen zur Visualisierung des Ätzmusters, mit Microbrush und Wasser Dentin wieder anfeuchten („Re-Wetting“) | 00:15 |
| Primer auftragen und einwirken lassen oder einmassieren | 00:30 |
| Wasserhaltiger Primer: | |
| Aktives Trocknen zur Verdunstung des Wassers | 00:15 |
| Alkohol-/Aceton-basierte Systeme: | |
| Lösungsmittel verdunstet leichter und muss nicht so stark verblasen werden | 00:05 |
| Bonding Agent applizieren, kurz einmassieren, Op-Leuchte wegrehen, verblasen | 00:15 |
| Dualhärtende Bondings vorteilhaft! | |
| Bonding nicht photopolymerisieren! | |
| Vorbehandlung Inlay mit Flussäure, Haftsilan und Bonding, verblasen | 08:00 |
| Applikation des Befestigungskomposit | 00:15 |
| Inlay in Endposition bringen, Überschüsse entfernen und Klebefuge mit Glycerin-Gel abdecken | 03:00 |
| Photopolymerisation: Beginnen approximal, insges. ca. 240 s | 04:00 |
| Überschussentfernung mit Scaler | 00:30 |
| Ausarbeitung mit Feinstkorndiamanten und Finierstreifen | 05:00 |
| Hochglanzpolitur zur Versiegelung von Mikrorissen, wirkt Frakturen entgegen | 05:00 |
| Fluoridtouchierung | 00:30 |

etching technique on the dental enamel (Fig 2), conditioning the ceramic joint surface (etching with hydrofluoric acid, silanization), and using a composite as bonding material. If the dentin is exposed, dentin adhesives are absolutely necessary to close the dentin tubules and to prevent postoperative complaints (Fig 3). They also contribute to the stability of the bond by the formation of a hybrid zone (Fig 4).

The following apply as general criteria for adhesive ceramic restorations: defect-oriented preparation, preparation borders ending at right angles, rounded inner line and edge angles (mechanical retentions are not required), and adhesive bonding under clean and dry conditions, preferably using a rubber-dam.

Are new adhesive systems necessary?

The fundamental antagonism between durable adaptation and shrinking materials (eg, bonding composites) on the tooth structure makes adhesive anchoring essential. Since bonding composites have no inherent adhesion to enamel and dentin, gaps would form at the inlay and crown margins immediately after polymerization without the additional use of adhesives. Apart from the risk of fracture, the risk of secondary caries is considered to be the main disadvantage of non-adhesively bonded ceramics.

The foundation of adhesive dentistry was laid in 1955 with the introduction of the enamel etching technique by Buonocore. The integration of logical adhesive concepts finally led to the breakthrough in the clinical use of

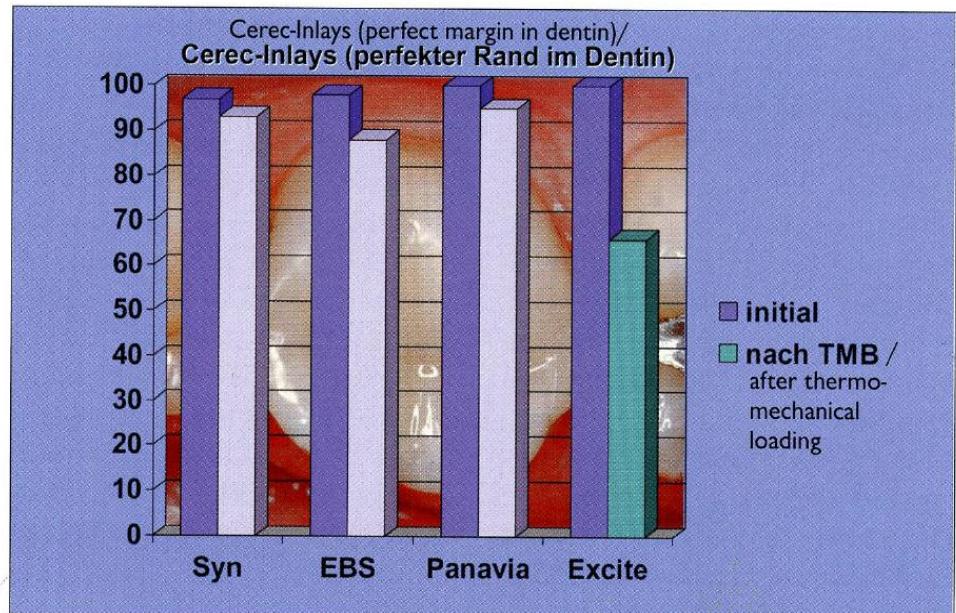


Fig 1 Diagram of Cerec inlays: Percentage with perfect margin in the dentin when using Syntac Classic, EBS Multi, Panavia and Excite DSC before and after 100,000 cycles in the chewing simulator and 2500 thermal cycles.

Abb. 1 Cerec-Inlays: Prozentualer Anteil mit perfektem Rand im Dentin bei Anwendung von Syntac Classic, EBS Multi, Panavia und Excite DSC vor und nach 100.000 Zyklen im Kausimulator und 2500 Thermozyklen.

cemented materials. Adhesive anchoring made it possible to compensate for the polymerization shrinkage and to produce restorations with a lasting bond. Enamel adhesion is today considered to be unproblematic with regard to its clinical suitability. More recent systems without phosphoric acid etching are quite promising, but long-term clinical data are still largely lacking.

The evolution of dentin adhesives has been documented over six generations, so that today, bonding to dentin can be considered to be a scientifically recognized method of dentin sealing, which is necessary to avoid postoperative hypersensitivity and invasion of bacteria. Especially in the adhesive bonding of high-quality ceramic inlays, supposedly "old" adhesive systems with several bottles and working steps are always still the first choice, provid-

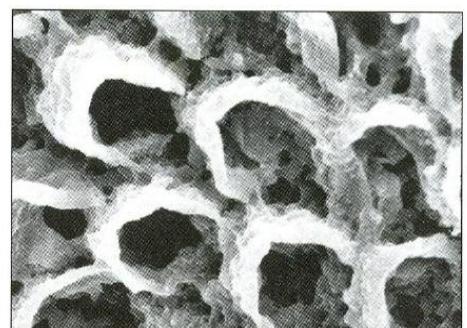


Fig 2 Scanning electron micrograph of adhesively bonded ceramic inlay from below; the tooth was etched away. It can be seen how the bonding material penetrates into the etched dental enamel.

Abb. 2 Adhäsiv befestigtes Keramik-inlay von unten; der Zahn wurde weggeätzt. Es ist zu erkennen, wie das Bondingmaterial in den geätzten Zahnschmelz eindringt.

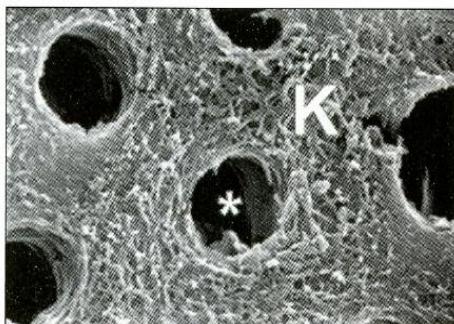


Fig 3 Dentin tubules with collagen fibers after re-wetting. This prevents hypersensitivity from tubule desiccation.

Abb. 3 Dentintubuli mit Kollagenfasern nach dem Re-Wetting (Wiederbefeuhtung). Hypersensitivitäten aufgrund zu trockener Tubuli werden dadurch unterbunden.

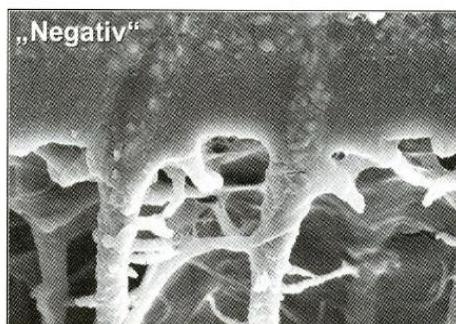


Fig 4 Scanning electron micrograph of hybrid zone between OptiBond FL and etched dentin.

Abb. 4 Interdiffusionszone zwischen OptiBond FL und geätztem Dentin.

schwerden zu verhindern (Abb. 3); sie tragen auch zur Stabilität des Fügeverbundes bei (Abb. 4).

Für adhäsive keramische Restaurierungen gelten als allgemeine Kriterien: Defektbezogene Präparation, rechtwinklig auslaufende Präparationsgrenzen, gerundete innere Linien- und Kantenwinkel (mechanische Retentionen sind nicht erforderlich) und adhäsives Befestigen unter sauberen und trockenen Kautelen, bevorzugt unter Verwendung von Kofferdam.

Sind neue Adhäsivsysteme notwendig?

Der grundlegende Antagonismus zwischen dauerhafter Adaptation mit schrumpfenden Materialien (z.B. Befestigungskomposite) an die Zahnhartsubstanzen macht eine klebende Verankerung zwingend erforderlich. Da Befestigungskomposite keine Eigenadhäsion zu Schmelz und Dentin aufweisen, würden sich ohne zusätzlich herbeigeführte Haftung schon nach der Polymerisation Spalten an den Inlay- und Kronenrändern bilden. Die dadurch drohende Sekundärkaries gilt neben dem Frakturrisiko als hauptsächlicher Nachteil von nicht adhäsiv befestigten Keramiken.

Die Grundsteinlegung der adhäsiven Zahnmedizin erfolgte 1955 mit der Einführung der Schmelz-Ätz-Technik durch Buonocore. Die Integration

schlüssiger adhäsiver Konzepte führte letztlich zum Durchbruch bei der klinischen Anwendung geklebter Werkstoffe. Durch die adhäsive Verankerung gelang es, die Polymerisationsschrumpfung zu kompensieren und dauerhaft randschlüssige Restaurierungen anzu fertigen. Die Schmelzhaftung wird heute hinsichtlich ihrer klinischen Eignung als unproblematisch eingeschätzt. Neuere Systeme ohne Phosphorsäureätzung zeigen vielversprechende Ansätze, jedoch fehlen weitgehend noch klinische Langzeitdaten.

Die Evolution der Dentinadhäsive wird mittlerweile über sechs Generationen dokumentiert, so dass heute das Kleben an das Dentin als wissenschaftlich anerkannte Methode zur Dentin-Ver siegelung gelten kann, um postoperative Hypersensitivitäten und eine Bakterieninvasion zu vermeiden. Vor allem beim adhäsiven Befestigen hochwertiger Keramikinlays sind vermeintlich „alte“ Adhäsivsysteme mit mehreren Flaschen und Arbeitsschritten immer noch die erste Wahl (Abb. 5). Systeme mit „Total Etching“ erreichen die höchsten Verbundfestigkeiten, wenn wichtige Grundregeln wie z.B. die Primer-Anwendung beachtet werden. Nach wie vor sind Komposite als Befestigungsmaterialien den Kompomeren vorzuziehen.

Vielversprechend ist ein neues, selbst adhäsives Befestigungsmaterial für Schmelz und Dentin, das keine Vorbe handlung der Zahnhartsubstanz erfor derlich macht. Kürzlich angekündigt, laufen bereits erste klinische Studien (Abb. 6), und man kann gespannt sein, ob die angestrebte Vereinfachung der Adhäsiv-Prozedur Wirklichkeit wird.

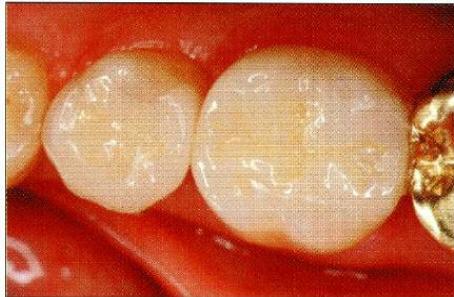


Fig 5 Empress 1 inlay after being worn for 10 years, bonded with Tetric.

Abb. 5 Empress 1-Inlays nach 10 Jahren Tragedauer, mit Tetric befestigt.



Fig 6 Empress 1 inlay, bonded with RelyX Unicem after 4 weeks wearing time.

Abb. 6 Empress 1-Inlay, befestigt mit RelyX Unicem nach 4 Wochen Tragezeit.

ing good clinical longevity (Fig 5). Systems with total etching achieve the highest bond strengths, if important ground rules such as primer application are observed. Composites continue to be preferable to polyacid modified composite resins as bonding materials. A new, self-adhering bonding material for enamel and dentin requiring no pretreatment of the dental hard tissue seems highly promising. Announced recently, the first clinical studies are already running (Fig 6); it remains to be seen whether the simplification of the adhesive procedure aimed for will achieve good results.



Photos/ Fotos:

Dr. Frankenberger/AG Keramik

Address/Adresse:

Manfred Kern

Arbeitsgemeinschaft für Keramik
in der Zahnheilkunde e.V.

Postfach 10 01 17

D-76255 Ettlingen, Germany

Phone: +49-611-401278

Fax: +49-611-405150

E-Mail: kern.ag-keramik@t-online.de



Priv.-Doz.
Dr. Roland Frankenberger

Year of birth 1967, Study of Dentistry. Staff dentist in German Army. Research assistant, Clinic for Restorative Dentistry and Periodontology, University of Erlangen, Germany. Visiting Assistant University of North Carolina, Chapel Hill (USA), Department Operative Dentistry. Habilitation (venia legendi), 2000. Assistant Professor, University of Erlangen, Germany.

Jahrgang 1967, Studium der Zahnheilkunde, Stabsarzt bei der Bundeswehr, Assistent an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie an der Universität Erlangen-Nürnberg Visiting Assistant an der Universität von North Carolina, Chapel Hill (USA). Habilitation (venia legendi), 2000. Privatdozent an der Universität Erlangen-Nürnberg.

Manfred Kern

Year of birth 1939, study of microeconomics and marketing, marketing and sales manager in industry. Business consultant, medical journalist. Secretary of the Study Group for Ceramics in Dentistry.

Jahrgang 1939, Studium der Betriebswirtschaft und des Marketing Marketing- und Vertriebsleiter in der Industrie, Unternehmensberater, Medizin-Journalist, Schriftführer der Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V.