

6. Diskussion

6.1. Diskussion von Material und Methode

In der vorliegenden Studie sollte der mögliche Einfluss eines Kompositmaterials in Form einer Aufbaufüllung auf die Haftung einer vollkeramischen Keramikrestauration ermittelt und die Werte in Beziehung zur Zahnhartsubstanz gesetzt werden. Zum anderen bestand die Intention im Aufzeigen einer klinisch relevanten Möglichkeit zur Verbesserung der Haftwerte durch Vorbehandlungsmaßnahmen in Form einer tribochemischen Beschichtung (CoJet-System) und der Oberflächenbehandlung mit einer Säure (Fluorwasserstoff).

Die Ermittlung der Haftwerte erfolgte durch einen Druck-Schertest, welcher neben einem Mikroschertest, Zugfestigkeits- und Mikrozugfestigkeitstests und dem 3-Punkt-Biegeversuch das am häufigsten angewendete Testverfahren für derartige Versuche darstellt (Blatz et al. 2003).

6.1.1. Keramik

Die IPS Empress Keramik ist ein seit 1991 auf dem Markt erhältliches System der glas-infiltrierten Silikatkeramik. Die Weiterentwicklung in der Form der Empress 2, einer Lithiumdisilikat-Glasskeramik, wurde 1998 eingeführt. Diese findet bei ästhetischen Restauration vielschichtige Anwendung und ist nach umfangreichen In-Vivo- und In-Vitro-Untersuchungen seit Jahren klinisch und wissenschaftlich anerkannt (Fuzzi et al. 1998; 1999; Spohr et al. 2003).

6.1.2. Vorbehandlungsmaßnahmen der Aufbaumaterialien

6.1.2.1. Fluorwasserstoff

Die Wahl der Vorbehandlung mit Fluorwasserstoff geschah aufgrund der Eigenschaft der aggressiven Säure, Glasspartikel aufzulösen, Lücken und Poren entstehen zulassen und somit ein mikroretentives Relief zu bilden (Lucena-Martin et al. 2001). Barium, Strontium, Silikate, Baroaluminiumsilikate, Glass und Zinkgläser werden sehr stark von der Säure angegriffen, wohingegen Quarz, Silizium und Lithiumaluminosilikate weniger anfällig sind (Kula et al. 1983; Kula et al. 1986).

Beide in dieser Studie verwendeten Aufbaumaterialien beinhalten Glasspartikel, wobei der Füllkörperanteil des MultiCore zum größten Teil aus Bariumglas und Ba-Al-Fluorsilikatglas besteht und höher ist als der des Clearfil, mit hauptsächlich Quarz als Füllstoff und Anteilen von silanisiertem Lanthanum-Glas-Puder. Dieses bildet eine theoretische Grundlage für einen möglicherweise positiven Einflusses der Säure durch ein mikroretentives Relief auf den Haftverbund zur Keramik.

6.1.2.2. Espe CoJet-System

Die Vorbehandlung mit dem CoJet-System, welches für die Reparatur defekter Komposit- oder Keramik-, Edelmetall- und Nichtedelmetallrestaurationen entwickelt wurde, stellt abhängig vom vorbehandelten Material eine wissenschaftlich anerkannte Technik dar (Brosh et al. 1997).

Beim Einsetzen einer Keramikrestauration in eine Kavität mit Kompositanteilen handelt es sich um das Antragen eines neuen Komposits auf ein altes, ähnlich der Reparatur einer Füllung. Daher wurde dieses Vorbehandlungsverfahren ausgewählt.

6.1.3. Auswahl der Befestigungsmaterialien

Bei den Befestigungssystemen wurden zwei Polymerisationstypen ausgewählt (licht- und dualhärtend), welche mit dem vom Hersteller empfohlenen Adhäsivsystem verwendet wurden. Beide Systeme stammen vom gleichen Hersteller der Keramik und werden zum adhäsiven Befestigen speziell von IPS Empress 2 Vollkeramik empfohlen.

6.1.4. Stresssimulation-Wasserlagerung und Thermozyklische Belastung

Wasserlagerung und thermozyklische Belastung sind Verfahren, die meistens kombiniert werden und ein oft angewendeter Versuchsbestandteil von In-vitro-Versuchen sind, den im Mund entstehende thermalen Stress zu simulieren. Intraorale Temperaturwechsel entstehen durch das routinemäßige Essen, Trinken (Longman 1984; Palmer et al. 1992) und Atmen (Boehm 1972). Bei einem Versuchsaufbau mit thermozyklischer Belastung sollten die verwendeten Temperaturen realistisch im Mund auftretende Werte reflektieren, um die Materialien nicht überzustrapazieren und falsch positive Ergebnisse oder, gegenteilig bei zu geringer Beanspruchung, falsch negative zu erzielen (Palmer et al. 1992).

Trotz zahlreicher Studien, die einen optimalen Temperaturbereich zu ermitteln versuchten, gibt es bislang kein standardisiertes Temperaturmaß. In einem Studienüberblick, die mit thermozyklischer Belastung gearbeitet haben, aus dem Jahre 1999, wurden 130 mit ihren Parametern dargestellt (Gale et al. 1999). Die Temperaturbereiche lagen im Minimum bei 0 °C und 100 °C im Maximum, wobei die Durchschnittstiefsttemperatur im Median bei 5 °C und bei 55 °C im Hochtemperaturbereich lag. Eine Studie mit einer Maximaltemperatur von 100 °C bildet die Ausnahme. In diesem Aufbau wurden die Proben für 8 Stunden gekocht (Buonocore et al. 1973).

Während für die Ermittlung des optimalen Bereich durch Temperaturmessungen im Mund zahlreiche Untersuchungen vorliegen (Palmer et al. 1992), gibt es für die Anzahl der Zyklen *in vivo* keine Berichte. Brown postulierte, ohne Quellenangabe, dass in der Regel 10 Zyklen pro Tag auftreten (Brown et al. 1972). Kim berichtete von drei kurzen Phasen à 10 Zyklen, die die drei Mahlzeiten pro Tag simulieren sollen (Kim et al. 1992). Diese Angabe deckt sich in etwa mit der Empfehlung von Gale mit 10.000 Zyklen, die eine Belastung über den Zeitraum von einem Jahr simulieren soll (Gale et al. 1999). Dennoch ist die Wahl der Zyklen in der Literatur scheinbar willkürlich und schwankte von 1 bis 1.000.000, bei einem Median von 500. Bei der Wässerungszeit sind die Informationen noch spärlicher. Gelegentlich wird die Zeit nicht einmal angegeben. Der Median liegt bei 30 s (Gale et al. 1999).

Die für diesen Versuchsaufbau gewählten Temperaturen und Wässerungszeiten entsprechen den Medianwerten aus dem Überblick von Gale et al. 1999. Die Anzahl der Zyklen entspricht mit 2000 einer simulierten initialen Belastung der Restauration von 2,5 Monaten.

6.1.5. Testverfahren

Gründe, warum bis heute noch keine Vereinbarung über eine Prüfmethode für den Haftverbund von keramischen Restaurationen getroffen wurde, sind bestehende Unsicherheiten bei der Interpretation durch die vielen Einflussfaktoren auf die Versuchsergebnisse. Da es nicht möglich ist, in einem In-vitro-Modellversuch alle diese Einflüsse nachzustellen, ist ein direkter Bezug der Ergebnisse zur zahnärztlichen Praxis schwer möglich. Die Studienergebnisse dienen dazu, dem Zahnarzt einen Vergleich der Materialien und ihrer Eigenschaften zu ermöglichen. Auch sind durch diese Untersuchungen Qualitätsunterschiede der einzelnen Fabrikate und Verbesserungen im Laufe der Entwicklung sichtbar.

Keine der bis dato entwickelten Prüfmethode lässt eine direkte Vorhersage darüber zu, ob ein Material klinisch Erfolg hat oder unbrauchbar ist, gibt aber eine verlässliche Tendenz vor. Denn

erst eine In-vivo-Untersuchung kann eine endgültige Aussage über die Qualität des Materials treffen (Eichner et al. 2005). In Untersuchungen zur Haftung von Adhäsiven kommen momentan sowohl Schertests als auch Mikrozugfestigkeitstests zum Einsatz (De Munck et al. 2005).

6.1.5.1. Druck-Schertest und seine Alternativen

Der Druck-Schertest ist die am häufigsten verwendete Testmethode, um die Festigkeit der Bindung zwischen zwei Werkstoffen objektiv und richtig zu bestimmen (Blatz et al. 2003). Dabei wird aber lediglich ein tendenzieller Ansatz dargestellt, der durch Langzeitstudien in der klinischen Anwendung nachgewiesen werden muss. Der hohe Aufwand einer klinischen Studie ist jedoch nicht notwendig, wenn bereits in den In-vitro-Versuchen keine ausreichenden Haftfestigkeitswerte erreichbar sind. Die Problematik bei der Beurteilung der Ergebnisse ist der Mangel an verlässlichen Informationen über die komplexen Belastungsvorgänge innerhalb der Prüfkörper. Generell geht man von einer gleichmäßigen Verteilung der Spannungs- und Kraftverteilung entlang der Verbundfläche aus.

Der in dieser Studie verwendete Schertest auf ebener Fläche wurde mit der Vorrichtung nach Schmitz und Schulmeyer (1975) durchgeführt, welcher ursprünglich für die Prüfung des Metallkeramikverbundes entwickelt worden ist (Schmitz et al. 1975). Im Vergleich zum Originaltest war das Probendesign in der vorliegenden Untersuchung leicht verändert. Dort ist zwischen dem Stempel und Keramik eine Kunststoffschicht zur gleichmäßigen Kraftverteilung vorhanden. Daher kann der von Schmitz-Schulmeyer angegebene maximale Toleranzbereich von 10 % nur als grober Richtwert dienen, zumal dieser in anderen, unabhängigen Studien als höher eingestuft wird (Walther 1994).

Eine Alternative zum Druck-Schertest stellt der axiale Zugversuch dar. Dieser gilt als sensibles In-vitro-Verfahren zur Prüfung der adhäsiven Eigenschaften von Verbundsystemen in der Werkstoffkunde. Doch durch die erzeugten unterschiedlichen Stressmuster lassen sich die gewonnenen Werte nicht direkt vergleichen. Die Arbeit von Marx aus dem Jahre 1992 zeigte, dass ein Zugtest sensibler auf Änderungen der Oberflächenkonditionierung reagiert und ein geeignetes Kriterium zu deren Beurteilung darstellt (Marx et al. 1992). Es ist jedoch zu erwähnen, dass in dieser Arbeit ein Metall-Kunststoffverbund getestet wurde, bei dem besonders die hohe Verformbarkeit des Kunststoffes Auswirkungen auf das Ergebnis hatte.

Es wurde gezeigt, dass ein Schertest abhängig von den Festigkeitseigenschaften des Kunststoffes die Tendenz zur Nivellierung der Verbundfestigkeit bei sich ändernder Adhäsion aufweist. Auch

wurde die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch unterschiedliches Aufsetzen des Stempels nahe der Grenzfläche in Frage gestellt (Marx et al. 1992).

In der vorliegenden Studie fiel die Wahl auf den Druck-Scherversuch, weil Keramik deutlich andere Stabilitätseigenschaften als Kunststoff hinsichtlich der Verformbarkeit zeigt. Die Biegefestigkeit weist mit 215-433 MPa den 2- bis 10fachen Wert und das E-Modul mit 90-100 GPa einen 4- bis 33fachen Wert eine deutlich höhere Steifheit als Komposite auf (Bühler-Zemp 2003; Hellwig et al. 2003), welches das Problem der Wertenivellierung ausgleicht. Die starken Schwankungen der Vervielfachung entstehen aufgrund der unterschiedlichen Komposittypen. Ferner konzentriert sich die Scherbelastung auf die Grenzfläche und verringert so die Wahrscheinlichkeit für Zugbelastungsrisse der Keramik eines Zugschertests (Walther 1994). Durch die standardisierte Auflage des Stempels zur Grenzfläche ergab sich eine exakte Reproduzierbarkeit der Prüfsituation.

Die Wahl der Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm pro Minute erfolgte aufgrund der Empfehlung von Hara aus dem Jahre 2001, der in seiner Arbeit den Einfluss unterschiedlicher Geschwindigkeiten miteinander verglichen hat und für den Druck-Schertest die Werte von 0,5 mm/min oder 0,75 mm/min als optimal erachtet (Hara et al. 2001).

6.2. Diskussion der Ergebnisse

6.2.1. Einfluss der Oberfläche

Die in dieser Studie ermittelten Haftungswerte wurden signifikant von der Oberfläche beeinflusst. Dabei zeigten die Kontrollgruppen mit Schmelz und Dentin signifikant höhere Werte als die Aufbaumaterialien ohne Vorbehandlung. In vorangegangenen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass 24 h nach dem Aushärten Bis-GMA-basierter Komposite ein Grossteil der Methacrylatgruppen, die sich an der Oberfläche befinden, inaktiviert sind (Vankerckhoven et al. 1982). Ferner wurde durch Präparation oder Polieren die Anzahl an freien Doppelbindungen so reduziert, dass die Haftung deutlich vermindert war.

Aus diesem Grund sind zahlreiche Vorbehandlungsmaßnahmen untersucht worden, wie zum Beispiel Ätzen mit Fluorwasserstoff, Sandstrahlen, Silikatisieren oder Einfachbehandlung mit einem Silan (Lucena-Martin et al. 2001; Hisamatsu et al. 2002; Özcan et al. 2005).

6.2.2. Einfluss der Vorbehandlung und REM-Aufnahmen

6.2.2.1. Fluorwasserstoff

Die aggressive Säure, die normalerweise bei der Konditionierung der Keramikoberfläche angewendet wird und ansonsten keine routinemäßige Anwendung in einer klinischen Situation auf Kompositoberflächen findet, zeigte in dieser Untersuchung trotz unterschiedlicher Zusammensetzung der Komposite und Wirkung auf deren Oberfläche keine signifikanten Unterschiede im Bereich der Haftung. Diese Erkenntnis deckt sich mit anderen Arbeiten, die nachweisen konnten, dass der Haftverbund gegenüber den Vorbehandlungen Sandstrahlen oder Silikatisieren reduziert war. Die Wirkung des Fluorwasserstoff zeigte sich abhängig vom prozentualen Anteil, der Größe und Art der anorganischen Füllstoffe. Barium, Strontium, Silikate, Baroaluminiumsilikate und Zinkgläser werden sehr stark von der Säure angegriffen, wohingegen Quarz, Silizium, Lithiumaluminiumsilikate weniger anfällig waren (Kula et al. 1983; Kula et al. 1986).

Die unbehandelten Gruppen in Abbildung 27 zeigen eine homogene Oberfläche mit Schleifspuren vom Poliervorgang. Diese sind bedingt durch das Schleifpapier und den rotierenden Arbeitsvorgang und verlaufen alle in dieselbe Richtung. Der Füllkörperanteil des MultiCore besteht zum größten Teil aus Gläsern, wie Bariumglas und Ba-Al-Fluorsilikatglas, und ist höher als der des Clearfil, welches hauptsächlich Quarz als Füllstoff und Anteile von silanisierendem Lanthanum-Glas-Puder beinhaltet. Trotz nahezu gleicher Haftwerte konnte mit dem REM ein stärkerer Einfluss der Säure auf die Oberfläche des MultiCore und eine geringe Wirkung auf die Oberfläche des Clearfils visualisiert werden, wie in der Abbildung 28 dargestellt. Diese ist an den deutlich abgeflachten, aber immer noch sichtbaren Schleiffrillen sichtbar. Der Versuch, die mit Flusssäure behandelte Kompositfläche analog zur Keramik nachträglich zu silanisieren, zeigte keine Verbesserung. Durch die Wirkung der Säure ist der Füllstoffanteil stark verringert und somit steht dem Silan kein Reaktionspartner mehr zur Verfügung. Zusätzlich kann es durch den Füllerverlust und die Veränderung der chemischen Struktur zu einem oberflächlichen Erweichen des Komposits kommen (Lucena-Martin et al. 2001), das zu Änderungen der mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes führen kann. Dieses würde gegen eine Anwendung von Fluorwasserstoff auf Kompositen sprechen.

6.2.2.2. Espe CoJet-System

Im Gegensatz zum Ätzzvorgang, bei dem keine Unterschiede zwischen den Kompositen bestanden, zeigte die tribochemische Vorbehandlung mit dem CoJet-System signifikant höhere Haftungswerte bei MultiCore als bei Clearfil. Dieses wird durch die elektronenmikroskopischen Aufnahmen deutlich (Abbildung 29 Bild 5 und 6). MultiCore zeigte eine gleichmäßiger aufgeraute Oberfläche. Im Gegensatz dazu waren beim Clearfil viele Irregularitäten zu erkennen. Dieses könnte durch die unterschiedlich großen Füllkörper der beiden Materialien bedingt sein. Clearfil als Makrofüller mit einer Partikelgröße von 5-40 μm zeigte gegenüber dem Feinpartikel-Hybridkomposit MultiCore (0,04-25 μm) eine deutlich unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit. Dabei erzeugen die Makrofüller des Clearfil im Verhältnis zum MultiCore eine relativ große durchgängige Fläche (Abb. 27). Dieses lässt vermuten, dass die Füllergröße eventuell einen Einfluss auf die Effektivität des CoJet hat, welches durch die REM Aufnahmen bestätigt wurde. Beim Clearfil zeigte sich die Oberfläche ungleichmäßiger aufgeraut als beim MultiCore. Die Makrofüller waren nur leicht an der Oberfläche verändert und die Bereiche zwischen diesen stärker herausgelöst. Die Oberfläche der MultiCore-Gruppe (Abb. 29) zeigte sich durch die homogenere Grundstruktur eines Feinpartikel-Hybridkomposits insgesamt gleichmäßiger aufgeraut. Der Effekt der Vorbehandlung beruht auf einer mechanischen Komponente in Form von Mikroretention und einer chemischen Komponente, dem Silanisieren. Die höheren Haftwerte des MultiCore gegenüber dem Clearfil könnten in der mechanischen Komponente begründet sein, da sich insgesamt ein größeres mikroretentives Relief durch das Herauslösen vieler kleiner Partikel ausbilden kann. Eine zweite Ursache für die höheren Werte des MultiCore kann in den differierenden mechanischen Eigenschaften liegen. Die Auswertung der Versagensmodi ergab hier Hinweise. Die Clearfil-Gruppe wies ein höheres kohäsives Versagen auf als MultiCore, welches durch die unterschiedliche Biegebruchfestigkeit bedingt sein könnte. MultiCore hat mit einem Wert von 140 MPa gegenüber 115 MPa beim Clearfil einen Stabilitätsvorteil, so dass ein Versagen erst bei höheren Kräften vermutet werden kann. Es ist aber festzuhalten, dass auch beim MultiCore größtenteils ein kohäsives Versagemuster vorlag. So lässt sich die Überlegung anstellen, dass beide Materialien selbst den Schwachpunkt innerhalb des Verbundsystems darstellten bzw. dass der Haftverbund höher als die Eigenstabilität des Materials war.

6.2.2.3. Betrachtung der Vorbehandlung nach klinischen Gesichtspunkten

Fluorwasserstoff

Die Anwendung von Fluorwasserstoff am Patienten ist kritisch zu beurteilen, da aufgrund der großen Ätzkraft der Säure beim Kontakt mit Zahnhartsubstanz ein amorphes Präzipitat entsteht, welches die Haftung und Wirksamkeit des Adhäsivs negativ beeinflusst und so die Gesamthaftung senkt (Blatz et al. 2003). Darüber hinaus handelt es sich bei Fluorwasserstoff um eine hochgiftige Substanz, die in der verwendeten Konzentration (9,5 %) der Giftklasse 1 zugeordnet werden muss. Die toxischen Mechanismen beruhen zum einen auf der Ätzwirkung und zum anderen auf der Toxizität des Fluorids, wobei letztere im Vordergrund steht.

Der Wirkungseintritt bei einer Konzentration unter 20 % liegt bei ca. 24 h und besteht im oralen Bereich in Schleimhautreizungen oder -verätzungen im oberen Gastrointestinaltrakt und Nausea. Zusätzlich sind auch bei geringen Konzentrationen schwere systemische Vergiftungserscheinungen wie Azidose, Hypokalzämie, kardiale Arrhythmien, Gerinnungsstörungen, Nekrosen und Schock bei direktem Kontakt und pulmonaler Resorption möglich (Rauber 2005). Die starke Ätzwirkung und die schweren Vergiftungssymptome legen die Vermutung nahe, dass Fluorwasserstoff hochgradig zahnhartsubstanzschädigend und pulpatoxisch ist.

Espe CoJet-System

Bei dem Espe CoJet-System muss man neben dem Effekt der Haftungssteigerung erwähnen, dass die Verwendung auf konditionierter Zahnhartsubstanz einen drastischen Verlust der Haftungswerte zwischen Zahnhartsubstanz und der Keramik bedeutet (Hannig 2003). Ob eine Phosphorsäurekonditionierung nach der CoJet-Behandlung dem haftschwächenden Effekt dieses Systems auf Schmelz entgegen wirken kann, ist bislang ungeklärt.

Ein weiterer Punkt, der bei der Anwendung beachtet werden sollte, ist das Eingrenzen der Bestrahlung auf die Zielfläche. Hierbei ist zum einen die Kofferdamapplikation unabdingbar und zum anderen muss anschließend eine sorgfältige Reinigung des gesamten Umfeldes erfolgen, was insgesamt einen zeitlichen Mehraufwand bedeuten kann.

6.2.3. Einfluss des Befestigungssystems

Die in dieser Studie verwendeten Befestigungssysteme lassen sich in ein dualhärtendes (Excite DSC/Variolink II) und ein lichthärtendes (Syntac Classic/Tetric Flow) Befestigungssystem

unterteilen. Mit Ausnahme des Dentins zeigten sich keine Unterschiede zwischen beiden Systemen hinsichtlich des Polymerisationstyps. Diese Erkenntnis deckt sich mit denen anderer Autoren (Akgungor et al. 2005). Dieses Thema wird in der Literatur jedoch durchaus kontrovers diskutiert. Chemisch- bzw. lighthärtende Adhäsive zeigten bessere Haftwerte gegenüber dualhärtenden (Stewart et al. 2002). Weitere Arbeiten zeigten, dass ein guter Haftverbund von der Kombination und Abstimmung des Adhäsivsystems auf das Aufbaumaterial abhängt, da nicht alle Materialien kompatibel sind (Oooka et al. 2004; Sen et al. 2005).

Die in den Versuchen der vorliegenden Studie aufgetretenen Unterschiede der Haftwerte in den Dentin-Gruppen, bei denen das Syntac Classic/Tetric Flow bessere Werte erzielt hatte, sind wahrscheinlich auf die Art des Adhäsivs zurückzuführen. Es gilt als wissenschaftlich belegt, dass Mehr-Flaschen-Systeme (Syntac Classic) Vorteile gegenüber den Zwei- und Ein-Flaschen Systemen aufweisen (De Munck et al. 2005). Die Ursache liegt in der Komplexität des Aufbaus eines stabilen Haftverbundes zwischen einem hydrophoben Komposit und dem hydrophilen Zahn. Bei dem Drei-Flaschen-System Syntac Classic penetriert das Monomer (Vernetzer) des Primers gleichzeitig in die von der Säure veränderten Dentintubuli, woraus sich nach der anschließenden Polymerisation der Monomere ein stabiles Netzwerk ergibt, welches zu einer mechanischen Verankerung führt. Syntac Adhäsiv mit dem hydrophilen Monomer wirkt als Vermittler zwischen dem hydrophilen, feuchten Dentin und dem hydrophoben Bonding. Das beigemischte Dialdehyd reagiert mit dem organischen Teil des Dentins (Kollagen) und bewirkt eine Fixierung des Dentins. Diese wirkt sich positiv auf die Langzeithaftung von Syntac Classic aus (De Munck et al. 2005). Das abschließende Heliobond stellt die Verbindung zum Komposit her und ist für eine vollständige Polymerisation (Vernetzung) verantwortlich. Diese komplizierte mehrteilige Abfolge von Arbeitsschritten ist für einen späteren optimalen Haftverbund unerlässlich und stellt nach wie vor den „Goldstandard“ dar. Jede Vereinfachung dieses Applikationsprinzips resultiert in einem Verlust an Effektivität (De Munck et al. 2005). Die Unterschiede sind bei Dentin noch deutlicher sichtbar als beim Schmelz, bei dem nur signifikante Differenzen zwischen Einschnitt- und Dreischrittssystemen bestehen (De Munck et al. 2005). Dieser Effekt liegt an der bereits beschriebenen Tatsache, dass der Haftverbund zum Schmelz leichter herzustellen ist als zum Dentin.

6.2.4. Einfluss der Stresssimulation

Der Einfluss der Stresssimulation, die eine Wasserlagerung über 24 h bei 37 °C und thermozyklischen Belastung über 2000 Zyklen umfasste, beschränkt sich auf die MultiCore-

Gruppe nach der Vorbehandlung mit Fluorwasserstoff und Befestigung mit Syntac Classic und Tetric Flow. Alle anderen Gruppen zeigten keine signifikanten Reduzierungen der Haftungswerte. Generell deckt sich dieses Ergebnis des geringen Einflusses der thermozyklischen Belastung mit denen aus anderen Arbeiten, sowohl für Haftwerte an den Zahnhartsubstanzen als auch an Kompositen (Akgungor et al. 2005; Dos Santos et al. 2005).

Wie in der Diskussion der thermozyklischen Belastung bereits erwähnt, gibt es keine einheitlichen Richtlinien für die Parameter einer Temperaturwechselbelastung und die Einstellungen werden in den meisten Untersuchungen frei gewählt (Gale et al. 1999). Darüber hinaus konnte in einigen Untersuchungen festgestellt werden, dass moderne Adhäsivsysteme, die nach Herstellerangaben verarbeitet wurden, selbst bei einer Belastung über 100.000 Zyklen keine Schwächung zeigten (Kato et al. 2001; Akgungor 2005).

Warum die MultiCore-Gruppe nach Säurebehandlung als einzige signifikante Unterschiede aufweist, kann eventuell auf die schwächende Wirkung der Säure auf den Haftverbund zurückgeführt werden, zumal der Einfluss der Säure auf MultiCore aufgrund der anorganischen Füllstoffe größer als bei Clearfil ist, welches zu oberflächlichen Erweichungen des Komposits führen kann (Lucena-Martin et al. 2001).

6.2.5. Bruchmodus

Die Auswertung der Bruchmodi zeigte das vermehrt adhäsive Versagen (Typ 1) im Bereich zwischen Zahn oder Aufbaumaterial und Befestigungskomposit. Hier handelt es sich um einen sehr sensiblen Bereich zwischen Kavität und Restauration, in dem es später durch die Hydrolyse der Verbindungen im Komposit zu einer Randspaltbildung und folgender Sekundärkaries kommen kann (Touati et al. 2001).

Der zweite verstärkt vorkommende Versagenstyp, das kohäsive Versagen innerhalb des Aufbaumaterials (Typ 3), wird durch die sehr hohen Werte in den mit dem CoJet-System vorbehandelten Gruppen hervorgerufen. Diese Werte zeigen, dass die tribochemische Oberflächenbehandlung, also die Kombination aus physikalischer und chemischer Bearbeitung der Oberfläche, einen derart festen Haftverbund erzeugen konnte, dass nicht mehr dieser die Schwachstelle im Gesamtgefüge darstellte, sondern die jeweiligen Materialeigenschaften des Aufbaumaterials.

Die selten aufgetretenen Bruchmodi (2,5 %-8,1 %) vom Versagenstyp 2, das adhäsive Versagen zwischen Befestigungskomposit und Keramik sowie vom Versagenstyp 4 (2,5 %-20 %), kohäsiver Keramikbruch, zeigen, dass es sich bei der modernen Dentalkeramik und der

durchgeführten Konditionierung um ein sehr ausgereiftes System handelt, das einen guten Verbund darstellt.

Variolink II

Die in der Kontrollgruppe aufgetretenen Typen zeigen in ihrer Verteilung keine besonderen Auffälligkeiten. Das vermehrt kohäsive Versagen beim Schmelz deutet auf einen kraftschlüssigen Verbund hin. Beim Dentin wurde zu 80 % ein adhäsives Versagen nachgewiesen. Die Erklärung hierfür ist wahrscheinlich in zwei Dingen zu suchen. Erstens handelt es sich beim Dentin um eine sensiblere Struktur als Schmelz, bei der es schwieriger ist, einen stabilen Haftverbund zu erzeugen und zum Zweiten wurde hier das Excite DSC als Ein-Flaschen-Adhäsivsystem verwendet. Die hohe Prozentzahl steht im Einklang mit den ermittelten Haftwerten, bei denen das Variolink II schlechter abgeschnitten hatte als das Tetric Flow.

Die Aufbaumaterialien, die nicht oder mit Fluorwasserstoff vorbehandelt wurden, zeigten eine annähernd gleichmäßige Verteilung zwischen dem adhäsiven Versagenstyp 1 und kohäsiven Versagenstyp 3 mit Tendenz zum adhäsiven Versagen, bedingt durch die relativ homogene und glatte Oberfläche nach der Politur (siehe Abb. 29), bei der auch Fluorwasserstoff nicht in der Lage war, eine Art retentives Ätzmuster zu erzeugen.

Im Gegensatz dazu stehen die sehr hohen Werte von 80 % und 95 % im kohäsiven Bereich bei den CoJet-Gruppen, die bereits durch die spezielle Oberflächenbehandlung erklärt wurde (Abb. 29).

Tetric Flow

Schmelz zeigte hier ein ähnliches Bild wie beim Variolink II, wobei die Dentin-Gruppe eine Abnahme des adhäsiven Versagens vom Typ 1 auf 50 % verzeichnet. Die Erklärung hierfür ist in dem oben bereits erwähnten Unterschied zwischen Ein- und Mehr-Flaschen-System mit Vorteilen für die Mehr-Flaschen-Systeme zu suchen. Ganz im Gegenteil dazu scheint das Syntac Classic seine Vorteile als Mehr-Flaschen-System am Komposit ohne und mit Fluorwasserstoffbehandlung nicht ausprägen zu können. Hier kam es gegenüber dem Excite DSC zu adhäsiven Versagenhäufigkeiten zwischen 76,2 % und 95 %.

Die bereits festgestellten niedrigen Prozentzahlen beim adhäsiven Versagen (Typ 1) und hohen Werte beim kohäsiven Versagen (Typ 3) innerhalb der CoJet-Gruppen wurden ebenfalls beim Tetric Flow bestätigt. Einzig beim MultiCore kam es zu einer Verschiebung von 20 % vom Typ 3 Versagen zum Typ 4, einem kohäsiven Versagen innerhalb der Keramik. Diese Verschiebung beeinträchtigt aber nicht die Gesamtaussage des stabilen adhäsiven Verbundes. Es handelt sich

hierbei lediglich um eine Schwäche innerhalb der Keramik, die entweder material- oder verarbeitungstechnisch bedingt sein kann, was im Nachhinein nicht eindeutig zu klären ist. Denkbar dabei sind zum Beispiel Mikrorisse, die beim Ausbetten bei einzelnen Proben aufgetreten sein könnten.

6.2.6. Weißlichtinterferometrie

Die Ra-Werte (Tab. 4) als Maß für die Rauheit einer Oberfläche, bestätigen die bereits mit dem REM getroffenen Aussagen. Die unbehandelten Oberflächen sind in ihrer Rauheit sehr gleichmäßig. (Clearfil = 0,3; MultiCore = 0,36). Auch die CoJet-Gruppen sind in ihren Werten sehr ähnlich (Clearfil = 1,47; MultiCore = 1,41). Die Steigerung der Werte um $Ra > 1$ ist durch die physikalische Komponente der tribochemische Oberflächebehandlung bedingt, das Aufrauen der Oberfläche durch den Spezielsand. Die differierenden Werte bei den Fluorwasserstoff-Gruppen (Clearfil $Ra = 0,37$; MultiCore $Ra = 0,65$) entstehen durch die unterschiedliche, bereits erwähnte Anfälligkeit der Füllkörper.

7. Schlussfolgerung

Alle Hypothesen dieser Arbeit konnten mit den vorliegenden Ergebnissen bestätigt werden; die Haftung wurde sowohl durch die Oberfläche, die Vorbehandlung, das Befestigungssystem als auch durch die thermozyklische Belastung beeinflusst. Es lässt sich vermuten, dass die Haftung einer vollkeramischen Restauration durch ein Kompositmaterial in Form einer Aufbaufüllung beeinflusst wird. Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen und deren Auswertung kann angenommen werden, dass eine an der Gesamtkavität beteiligte Aufbaufüllung aus einem Kompositmaterial die Gesamthaftung einer Keramikrestauration vermindert, insbesondere wenn sie einen großen Anteil der Gesamtkavität einnimmt.

Die klinische Relevanz dieses Ergebnisses ist nicht ganz eindeutig, da eine Kavität für eine keramische Versorgung immer ein dreidimensionales Gebilde darstellt und keine flache Ebene wie in diesem Versuchsaufbau. Ferner bestimmen zahlreiche weitere Faktoren den Erfolg einer Restauration, welche bei einem Verlust im Nachhinein nicht immer zu ermitteln sind. In der Literatur angegebene Versagensmodi basieren auf endodontischen Problemen, der Fraktur der Keramik oder des Zahnes, der Extraktion und nicht selten adhäsivem Versagen (Schulte et al. 2005). Aber es gibt keine Hinweise darauf, ob das Vorhandensein einer Aufbaufüllung oder das Befestigungssystem einen Schwachpunkt darstellte.

Hinsichtlich der Befestigungssysteme lässt sich jedoch sagen, dass bei einer Verarbeitung nach Herstellerangaben und sauberen Bedingungen moderne aufeinander abgestimmte Adhäsivsysteme einen dauerhaften und stabilen Verbund zur Zahnhartsubstanz und zum geeignet vorbehandelten Komposit herstellen können, welcher auch durch die Stresssimulation in Form der Wasserlagerung und Thermocycling nicht beeinflusst werden kann (Kato et al. 2001; Dos Santos et al. 2005).

Die zweite an diese Arbeit gestellte Aufgabe, das Aufzeigen von Vorbehandlungsmaßnahmen zur Verbesserung der Haftung ergab in Übereinstimmungen mit anderen Studien, dass das CoJet-System in der Lage war, die Haftwerte so zu steigern, dass diese im Bereich der natürlichen Zahnhartsubstanz lagen (Özcan et al. 2005). Fluorwasserstoff wies keine Verbesserung auf. Darüber hinaus ist klinisch gesehen eine Anwendung aus den bereits genannten Gründen durchaus fraglich. Die Anwendung des CoJet-Systems eignet sich für Situationen, bei denen der Zahn zu einem Großteil aus einem Aufbaumaterial besteht und vollkeramisch versorgt werden soll, da bei geringeren Anteilen des Komposits Zahnhartsubstanz durch die Bestrahlung beschädigt werden kann.

8. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie bestand darin die Haftwerte einer Lithiumdisilikat-Keramik an verschiedenen Oberflächen in Form von Aufbaumaterialien (MuliCore; Clearfil) zu ermitteln, welche mit unterschiedlich Methoden vorbehandelt wurden. Schmelz und Dentin dienten als Kontrollgruppen. Die Umsetzung der Thematik erfolgte mit 320 Keramikproben des IPS Empress 2-Systems, welche zum einen mit einem Einschnitt- (Variolink II/Excite DSC) und zum anderen mit einem Mehrschritt-Adhäsivsystem (Tetric Flow/Syntac Classic) befestigt wurden. Innerhalb der Aufbaumaterialien gab es drei Gruppen, bestehend aus einer Kontrollgruppe ohne Vorbehandlung, einer Gruppe, welche für 10 s mit 9,5%igem Fluorwasserstoff (Ultraetch; Ultradent) und einer Gruppe, die mit dem CoJet-System (3M Espe) vorbehandelt wurden.

Mit der Zwick-Universalprüfmaschine (Prüfgeschwindigkeit 0,5 mm/min) wurden die Haftwerte einerseits initial nach 24 h Wasserlagerung (n=10) und andererseits nach einer thermozyklischen Belastung (n=10; 2000 Zyklen, 5-55 °C, 30 s) bestimmt.

Die an der natürlichen Zahnhartsubstanz und den mit dem CoJet-System vorbehandelten Gruppen entstanden Haftwerte waren verglichen mit den unbehandelten und mit Fluorwasserstoff behandelten Gruppen erheblich höher ($p < 0.05$; Tukey-B).

Somit sollten großflächige Aufbaufüllungen zur Gestaltung einer idealen Kavität für die Präparation von vollkeramischen Restaurationen aufgrund der geringeren Haftwerte zur Keramik kritisch hinterfragt werden, sofern eine stabile provisorische Versorgung des Zahnes gewährleistet ist. Sollte eine Aufbaufüllung unverzichtbar sein, kann die Haftung durch die Vorbehandlung mit dem CoJet-Gerät erhöht werden.

9. Summary

The aim of this study was to evaluate the shear bond strengths of pre- and untreated resin core materials to lithium disilicate ceramics. Bond strengths to dental hard tissues served as controls. Ceramic cubes (IPS-Empress 2) were luted either with a one-step (Variolink II/Excite DSC) or multiple-step total etching bonding system (Tetric Flow/Syntac Classic) to ground surfaces of human enamel, dentin, and resin core materials (Clearfil Core, MultiCore). Resin core materials were additionally pretreated with hydrofluoric acid (HF) or were silica-coated (CoJet System). Shear bond strengths were determined after 24-hour water storage (n=10) and thermocycling (TC) (n=10; 2000 cycles, 5–55°C, 30 seconds). Bond strengths to enamel, dentin, and silica-coated composites were significantly higher compared to untreated and HF-pretreated composites ($p<0.05$; Tukey B). Silica coating of the composite resins significantly increased the bond strength to ceramics ($p<0.05$; Tukey B).

Due to the lower bond strength values of ceramics to untreated composite resins (as compared to enamel and dentin), any indication for a resin core build-up prior to the preparation of a ceramic restoration should be considered carefully.